



УДК 631.4:634.9

Екогеографічні детермінанти екологічної ніші ваточника сирійського (*Asclepias syriaca*) на основі індексів знімків дистанційного зондування Землі

О.М. Кунах¹, О.С. Папка²

¹Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпропетровськ, Україна

²Полтавська державна аграрна академія, Полтава, Україна

Установлено закономірності варіювання значень вегетаційних індексів, одержаних за допомогою даних дистанційного зондування Землі залежно від геоморфологічних предикторів і розмірів сільськогосподарських полів експериментального полігону в межах Полтавської області. Визначено можливості застосування вегетаційних індексів як екогеографічних детермінантів екологічної ніші ваточника сирійського (*Asclepias syriaca* L.) та інших бур'янів. На основі знімків земної поверхні 23 березня та 27 серпня 2015 р. сенсором Operational Land Imager (OLI), установленим на супутнику Landsat 8, розраховано вегетаційні індекси (AC-Index, Hydrothermal Composite, NDTI, NDVI, VI, MNDW, LSWI, NBR, M15). Одержану інформацію піддано аналізу головних компонент, а встановлені головні компоненти інтерпретовано за допомогою регресійного аналізу, в якому як предиктори виступали геоморфологічні змінні. Тренди мінливості рослинного покриву, формалізовані у вигляді головних компонент, вдалося пояснити за допомогою індексів, які кількісно характеризують особливості рельєфу. Різні аспекти варіювання рослинного покриву характеризуються специфікою впливу рельєфних чинників. Важливим аспектом варіювання рослинного покриву агроecosистем є мінливість у межах поля. Ступінь варіювання умов пропорційна розмірам поля. Більші поля займають плакорні позиції. У свою чергу, в межах малих полів джерело варіювання – зміни екологічних умов, що виникають внаслідок нерівностей рельєфу, які набувають більшого значення при наближенні до балок та ярів. Установлено аспекти варіювання рослинного покриву, що за своєю природою можуть виступати як провайдери розвитку бур'янів у межах агроценозів. Безпосередній ідентифікації угруповання бур'янів на космічних знімках Landsat не підлягають, але можуть бути встановлені комплексні зміни у ландшафтному покриві, які виступають як маркери процесів, пов'язаних із розвитком бур'янистої рослинності. Процедура подальшого дешифрування космічних знімків із метою ідентифікації бур'янів потребує залучення даних польових досліджень.

Ключові слова: вегетаційні індекси; NDVI; аналіз головних компонент; цифрова модель рельєфу

Ecogeographical determinants of the ecological niche of the common milkweed (*Asclepias syriaca*) on the basis of indices of remote sensing of land images

O.M. Kunah¹, O.S. Papka²

¹Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine

²Poltava State Agrarian Academy, Poltava, Ukraine

The patterns of variation in vegetative indices received by means of data of remote land sensing are described as being dependant on geomorphological predictors and the sizes of agricultural fields in an experimental polygon within Poltava region. The possibilities of application of vegetative indices have been explored through ecogeographical determinants of the ecological niche of the common milkweed (*Asclepias syriaca* L.) and other weeds. On the basis of images of the land surface taken on 23 March and 27 August 2015 by the sensor

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, Дніпропетровськ, 49000, Україна
Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Gagarin Ave., 72, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine
Tel.: +38-098-858-23-79. E-mail: olga-kunach@rambler.ru

Полтавська державна аграрна академія, вул. Ворошилова, 1/3, Полтава, 36003, Україна
Poltava State Agrarian Academy, Voroshilov Str., 1/3, Poltava, 36003, Ukraine
E-mail: ksenija_papka@mail.ru

control Operational Land Imager (OLI), installed on the satellite Landsat 8, vegetative indices have been calculated (AC-Index – aerosol/coastal index, Hydrothermal Composite, NDTI – Normalized Difference Tillage Index, NDVI – Normalized Difference Vegetation Index, VI – Vegetation Index, MNDWI – Modified Normalized Difference Water Index, LSWI – Land Surface Water Index, NBR – Normalized Burn Ratio, M15). The data obtained have been subjected to principal component analysis and the revealed principal components have been interpreted with the help of regression analysis, in which geomorphological variables have been applied as predictors. It was possible to explain the trends of variability of the vegetative cover, formalized in the form of the principal component, by means of indices which quantitatively characterise features of relief. The various aspects of variation of vegetative cover have been shown to be characterised by the specificity of the influence of relief factors. A prominent aspect of the variation of the vegetative cover of agroecosystems is variability within a field. The degree of a variation of conditions is proportional to the size of a field. Large fields occupy level plain positions. In turn, within small fields sources of variation are changes in ecological conditions which arise owing to unevenness of relief, which increases in proximity to gullies and ravines. We have identified the aspects of the variation of vegetative cover which by their nature can be considered as contributors to the growth of weeds in agroecosystems. Satellite imaging by Landsat does not allow direct identification of concentrations of weeds, but it can reveal complex changes in the landscape cover, which act as markers of the processes connected with development of weed vegetation. The procedure of further decoding of satellite images for the purpose of identification of weeds requires greater attention in this field of research.

Keywords: vegetative indices; NDVI; principal component analysis; digital model of relief

Вступ

Серед великого різноманіття видів бур'янів найвищий негативний вплив на посіви культурних рослин проявляють багаторічні бур'яни. Крім аборигенних видів потенційне місце серед багаторічників посідає адвентивний вид – ваточник сирійський (*Asclepias syriaca* L.) (Remenyuk, 2013). Ваточник сирійський характеризується здатністю займати порушені місцеперебування, збільшує своє поширення внаслідок перетворення лук і лісів на сільськогосподарські землі у центральній та північно-східній частині США та Південній Канаді (Malcolm, 1989; Brower, 1995). У праці Paukova et al. (2014) проведено картографування просторового розміщення осередків ваточника звичайного. Цей вид переважно зустрічається у закинутих виноградниках і постійних лучних угрупованнях. Установлено проникнення ваточника сирійського у місцеперебування *Triticum aestivum* та *Helianthus annuus*. Часто вид зустрічається у вигляді тонких і подовжених стрічок уздовж доріг. Деякі осередки ваточника сирійського розташовані у зонах значної ерозії та трансформації первинного рослинного покриву. Також вказується на поширення ваточника сирійського уздовж автомобільних доріг і залізниць, а також на звалищах (Valachovič, 1987, 1988). Ваточник трапляється на полях із соєю, кукурудзою, пшеницею, вівсом (Cramer and Burnside, 1982; Hartzler and Buhler, 2000). В Угорщині ваточник – на закинутих сільськогосподарських угіддях (Sarkany et al., 2008; Csontos et al., 2009).

Сучасні сільськогосподарські ландшафти сформовані за впливу системи виробництва, спрямованої на максимізацію врожаю та економічної ефективності (Robertson and Swinton, 2005; Swinton et al., 2006; Moskalets, 2015). Як частина підходу до біологічного контролю шкідників і бур'янів, менеджмент місцеперебувань має на меті збільшити таку екосистемну функцію, як регуляція шкідників завдяки посиленню впливу природних ворогів через маніпулювання рослинними ресурсами в межах ландшафту (Bugg and Pickett, 1998). Звичайно, це виконується за допомогою відбору рослин, які забезпечують лімітуючі ресурси (такі як пилок, нектар, додаткові сховища або притулки) та формування серед сільськогосподарських угідь осередків із цих рослин або рослинних угруповань з їх участю (Landis et al., 2000). На противагу іншим типам менеджменту шкідників, менеджмент місцеперебувань – унікальний для прямого

забезпечення або створення умов для інших екосистемних сервісів. Це включає естетичні аспекти, збереження біорізноманіття, очищення стічних вод, стримування бур'янів, стимулювання контролювальної функції угруповань безхребетних (Fiedler et al., 2008; Kulbachko et al., 2011; Brygadyrenko, 2015).

Економічна значимість бур'янів через їх вплив на продуктивність сільськогосподарського виробництва потребує точної оцінки місцезнаходження у просторі та швидкості поширення бур'янів у часі (Campbell, 1991). Проведення робіт із вивчення засміченості, ботанічного обстеження, картування полів дозволяє раціонально використовувати асортимент препаратів відповідно до характеру засміченості полів і тим самим оптимізувати строки внесення гербіцидів, норми їх витрат, мінімізувати забруднення навколишнього середовища (Saskevych, 2008; Remenyuk, 2013).

Моніторингові програми оцінки стану бур'янів потребують значного часу та є дуже витратними (Pitt and Miller, 1988; Auld, 1995). Висока вартість спостережень не сприяє повторюваності для визначення змін інвазії в часі. Труднощі у точній ідентифікації місць спалахів інвазій можливі без використання системи глобального позиціонування (Global Positioning Systems – GPS) (Lass and Callihan, 1993). Стрімкий розвиток технологій обробки просторово-координованих даних із концептуально нових позицій дозволив підійти до вирішення актуальних теоретичних проблем агроекології та виконання практичних завдань сільськогосподарського виробництва (Kopovalova et al., 2010; Demydov et al., 2013; Zhukov et al., 2013, 2015; Zhukov, 2015; Dychenko et al., 2015). Дані дистанційного зондування Землі звичайно застосовуються для картографування широких класів рослинності або типів земель, або загалом типів сільськогосподарських земель чи пасовищ. Картографування окремих видів рослин здійснити важко, оскільки рослини рідко мають унікальні та незмінні спектральні характеристики (Fitzpatrick et al., 1990; Price, 1994). Навіть якщо бур'ян має спектральні характеристики, які сильно відрізняються від інших рослин, зміни можуть відбуватися залежно від родючості ґрунту, кількості поживних речовин або вологи, впливу захворювань або тварин та застосування гербіцидів. Все це значно ускладнює застосування даних дистанційного зондування, особливо для картографування інвазій на значних територіях. Але відмінності у розмірах рослин, швидкості росту, швидкості настання

зрілості, структури та забарвлення у певні періоди часу можуть сприяти дискримінації. Наприклад, багато спектральних особливостей виникають, коли рослини, які викликають інтерес, квітнуть (Lass et al., 1996). Найважливіший аспект у вивченні за допомогою дистанційного зондування бур'янів – це ідентифікація ключових стадій росту бур'янів для визначення того моменту, коли вони найкращим чином можуть бути диференційовані від інших рослин (Everitt et al., 1992; Gardiner et al., 1998). Тенденція серед багатьох бур'янів зростати в окремих осередках із декількома рослинами може спричинити дискримінацію (Cardina et al., 1997; Rew et al., 1997).

Дистанційне зондування дає приклади успішного картографування деяких бур'янів. Аерофотографію застосовано у багатьох дослідженнях переважно для ідентифікації бур'янів із квітами, які можна чітко розрізнити (наприклад, арктотека *Arctotheca calendula*) (Arnold et al., 1985). Багатоспектральна аерофотографія застосована для картографування значного діапазону бур'янів на сільгоспугіддях (Brown et al., 1994) і на пасовищах. Такі знімки швидко можуть бути опрацьовані та стати основою для локального застосування хімічних засобів контролю відповідно, що дає їх економію (Everitt et al., 1995, 1996; Lass et al., 1996).

Значно менше прикладів картографування бур'янів на регіональному рівні за допомогою супутникових даних. Видатний зразок – картографування помірних і значних інвазій орляка звичайного у межах Шотландії за допомогою знімків мультиспектрального сканера Landsat (Landsat Multispectral Scanner – MSS) у поєднанні з аналізом топографічних даних та даних про властивості ґрунтів. Багато успішних результатів одержано на регіональному рівні під час картографування лісових бур'янів (Everitt et al., 1996; Gardiner et al., 1998).

Головне обмеження сучасних систем дистанційного зондування полягає у розрізненні світла та розсіюванні інвазії бур'янів. Найбільший пріоритет – установлення нових територій, на які поширюється інвазія бур'янів (Moody and Mack, 1988). У багатьох дослідженнях лімітом виявлення бур'янів було проєктивне покриття 20–30%, навіть коли застосовано аеросенсори з метровою та субметровою роздільною здатністю. Але цей ліміт варіює залежно від виду бур'яну та типу сенсора. Така проблема виникає найчастіше, коли розмір осередків бур'янів співрозмірний із розміром пікселя (Lass et al., 1996; Lass and Callihan, 1997). Це обмеження може бути частково вирішене завдяки картографуванню найвірогідніших місць інвазії або тих типів рослинного покриву або асоціацій, у які найвірогідніше можуть проникнути бур'яни (Dewey et al., 1991; Peters et al., 1992).

Дані дистанційного зондування Землі окремо ніколи не зможуть дати необхідної точності у картографуванні просторового розміщення бур'янів. Додаткові відомості від традиційного збирання інформації, кліматичні, топографічні, гідрографічні та ґрунтові особливості повинні бути поєднані з даними дистанційного зондування для одержання найкращих результатів (Pitt and Miller, 1988; Fitzpatrick et al., 1990).

Мета наших досліджень – встановити закономірності варіювання значень вегетаційних індексів, одержаних за допомогою дистанційного зондування Землі, залежно від геоморфологічних предикторів і розмірів сільськогоспо-

дарських полів, визначити можливості застосування вегетаційних індексів як екогеографічних детермінантів екологічної ніші ваточника сирійського (*Asclepias syriaca* L.) та інших бур'янів.

Матеріал і методи досліджень

Розвиток багатоканальної космічної зйомки та технологій побудови тривимірних моделей рельєфу створює нові можливості для дослідження зв'язків видів з умовами середовища та оцінювання якості місцеперебувань (Puzachenko et al., 2006; Zhukov et al., 2011; Demydov et al., 2013). У нашій роботі використано матеріали з набору інструментів Operational Land Imager (OLI), установленого на супутнику Landsat 8 (Geological Survey (U.S.), and EROS Data Center 1900 EarthExplorer [Reston, Va.]: U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, www.purl.access.gpo.gov/GPO/LPS82497). Знімки земної поверхні проведені в рік обліку ваточника сирійського – 23 березня та 27 серпня 2015 року.

Мультиспектральні сканери супутників Landsat 8 дозволяють оцінити величину відбитої радіації у смузі довжин хвиль 0,433–1,390 мкм із просторовою роздільною здатністю 30×30 м на місцевості (знімальні канали 1–7, 9) і панхроматичним каналом із роздільною здатністю 15×15 м (знімальний канал 8), охоплюючи в такий спосіб більшу частину спектра сонячної радіації. Зйомка здійснюється в дев'яти спектральних діапазонах (каналах) (умовні позначки – B1–B9), що відповідають основним вікнам прозорості атмосфери. Це забезпечує оптимальне відображення енергетичних характеристик для хвиль, довжина яких відповідає максимальному сприйняттю діяльною поверхнею. Поряд із прямим призначенням каналів Landsat властивості середовища селективно відбиваються через їх співвідношення (індекси) (Demydov et al., 2013). Множина індексів систематизована у вигляді такої типології (табл.).

Карту дослідженої території, місця розташування осередків ваточника сирійського та межі полів наведено на рисунку 1. За векторним шаром, який містить інформацію про розташування сільськогосподарських полів, встановлено їх площу, яку для аналізу логарифмовано (Log_Area). Як геоморфологічні предиктори обрано перелік показників (Kunakh and Papka, 2016): DEM (висота рельєфу над рівнем моря), TWI (топографічний індекс вологості), ФАР (фотосинтетично активна радіація), LS (фактор ерозії), TPI (індекс топографічного положення).

Для створення цифрової моделі рельєфу інформацію одержано з ресурсу EarthExplorer (www.earthexplorer.usgs.gov). За основу взято інформаційний продукт SRTM 1 Arc-Second Global. Продукт SRTM (Топографічна радарна місія шатлів – Shuttle Radar Topography Mission) надає інформацію про висоту поверхні Землі із заповненими пустотами з роздільною здатністю 1 арксекунда (близько 30 м). Просторові дані оброблено за допомогою програми ArcGis 10.0. Похідні від цифрової моделі рельєфу одержано за допомогою програми SAGA 2.2.2 (www.saga-gis.org). Статистичні розрахунки проведено у програмі Statistica 7.0.

Таблиця

Типологія індексів Landsat 8 OLI* (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor)

Канал	Канал 2 (B2)	Канал 3 (B3)	Канал 4 (B4)	Канал 5 (B5)	Канал 6 (B6)	Канал 7 (B7)
Канал 1 (B1)	AC-Index	–	–	–	–	–
Канал 2 (B2)	–	–	Hydr	–	M15	–
Канал 3 (B3)	–	–	Xanthophil	Green NDVI	MNDW	–
Канал 4 (B4)	–	–	–	NDVI	–	–
Канал 5 (B5)	–	Chlorophyll a		–	LSWI	NBR
Канал 6 (B6)	–	–	–	–	–	STI, VI, NDTI

Примітки: умовні скорочення індексів – див. у тексті.

1. Індекс аерозолів-узбережжя (aerosol/coastal) (AC-Index): $(B1 - B2)/(B1 + B2)$. Індекс названий по імені каналу B1 – канал узбережжя та аерозолів. Цей канал чутливий до концентрації аерозолів в атмосфері. Інша важлива властивість цього каналу – можливість інспекції мілководних прибережних і внутрішніх вод для оцінювання опадів, органічної речовини, коралових рифів, планктону, що містить хлорофіл. Поряд із зазначеними можливостями, цей індекс може застосовуватися для оцінювання щільності деяких типів рослинності, тому що багато рослин мають епікутикулярні воскові покриви, які відбивають шкідливі ультрафіолетові промені (www.surfaceheat.sites.yale.edu/sites/default/files/Coastal%20Aerosol%20Band_1.pdf). У зв'язку з тим, що серед супутників Landsat такий канал з'явився вперше, фактичних даних щодо застосування цього

індексу дуже мало.

- Гідротермальний композит (Hydrothermal Composite), індекс окислів заліза (Iron Oxide) (Hydr): $B4/B2$.
- Глинисті мінерали (Clay Minerals) (Clay), а також простий індекс ріллі (Simple tillage index – STI): $B6/B7$. Через наступне перетворення може бути отриманий нормалізований диференціальний індекс ріллі (Normalized Difference Tillage Index – NDTI) (Van Deventer et al., 1997).
- Нормалізований різницевий індекс рослинності (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI): $(B5 - B4)/(B5 + B4)$. Індекс рослинності урахує варіювання біомаси та особливості типів рослинності (Vegetation Index – VI): $(B6 - B7)/(B7 + B6)$.
- Модифікований нормалізований різницевий водний індекс – чутливий до вмісту води у зеленій біомасі (Modified Normalized Difference Water index – MNDW): $(B3 - B6)/(B3 + B6)$.
- Індекс вологості поверхні Землі (Land Surface Water Index, Normalized Difference Infrared Index – LSWI): $(B5 - B6)/(B5 + B6)$.
- Нормалізоване відношення пожеж (Normalized Burn Ratio – NBR): $(B5 - B7)/(B5 + B7)$.
- Індекс M15 чутливий до технології обробки ґрунту, він може розглядатися як один із варіантів індексів ріллі (Van Deventer et al., 1997): $(B2 - B6)/(B2 + B6)$.

Результати та їх обговорення

Вегетаційні індекси, одержані на основі знімків поверхні Землі із супутника Landsat, віддзеркалюють різні особливості рослинного покриву. Оскільки вони всі або чутливі безпосередньо до вмісту хлорофілу у рослинах, або до інших особливостей рослинного покриву, їх значення певною мірою скорельовані між собою.

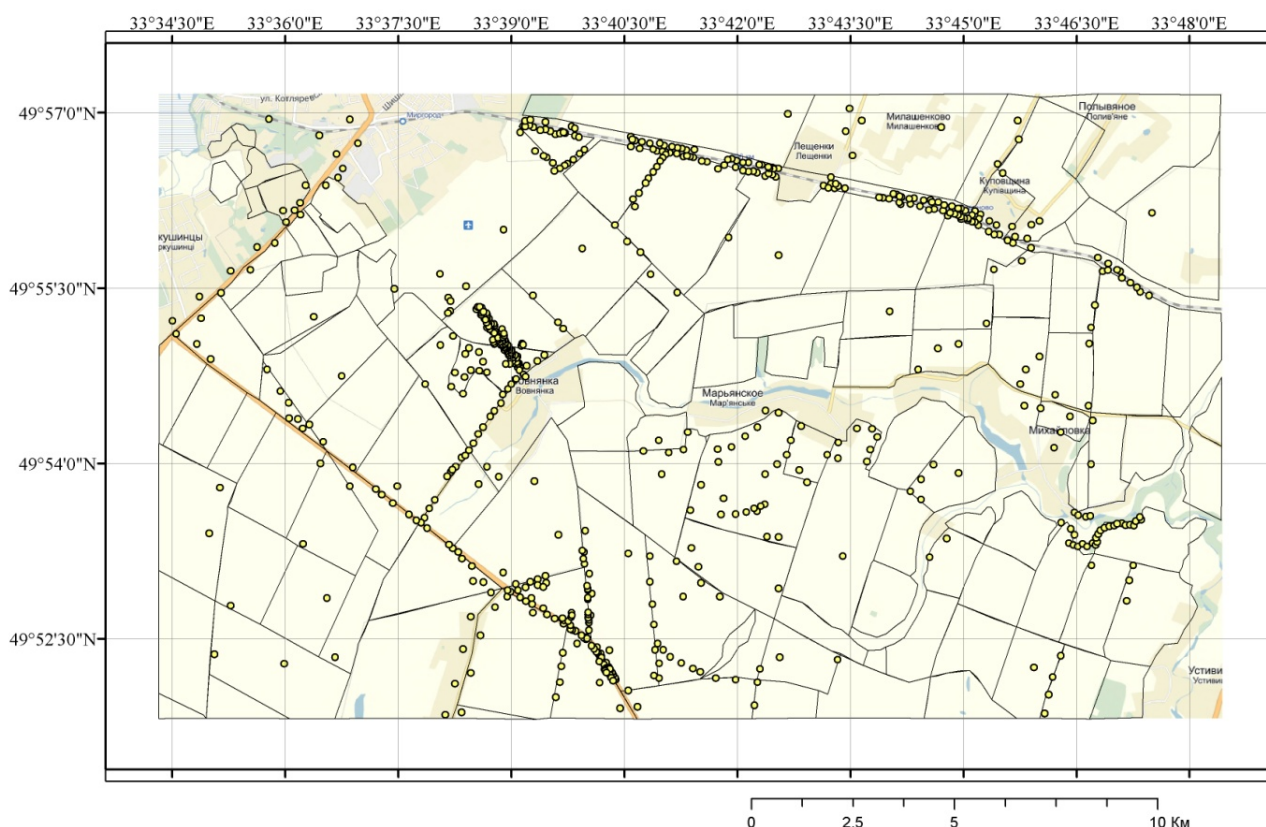


Рис. 1. Карта дослідженої території: точками позначено місця траплення осередків ваточника сирійського, полігонами відмічено межі сільськогосподарських полів

Для виокремлення незалежних інформаційно адитивних трендів мінливості індексів проведено аналіз головних компонент мінливості індексів Landsat у межах сільськогосподарських полів. Поряд з індексами проаналізовано піддані дані про діапазон мінливості індексів у межах окремого поля. Для аналізу сформовано матрицю, що містила 115 рядків, які відповідали сільськогосподарським полям, та 44 стовпчики: 11 індексів за дві дати (23 березня та 27 серпня 2015 р.) та відповідні дані про діапазон варіювання індексів у межах поля.

У результаті аналізу виділено 44 ортогональні головні компоненти. Ортогональність – умова інформаційної незалежності. Кожна головна компонента несе додаткову інформацію, яку не містять інші головні компоненти.

Інформаційну цінність кожної головної компоненти характеризує відповідне власне число, за значенням якого головні компоненти можуть бути ранжовані від найважливішого до останнього за ступенем важливості описання варіювання хмари даних (Kim and Myuler, 1989). Власне число – добуток варіації, яка віддзеркалюється даною головною компонентою до загальної варіації, поділеної на кількість змінних. Тобто власне число вказує на інформаційну перевагу головної компоненти над середньою інформаційною цінністю похідних змінних. Відповідно до такої властивості, для подальшого розгляду слід залишити тільки ті головні компоненти, власні числа яких перевищують одиницю. Проведені розрахунки свідчать, що сім головних компонент характеризуються власними числами, що перевищують одиницю (рис. 2). Ці головні компоненти разом описують 89,3% варіабельності простору ознак.

Головна компонента 1 описує 30,1% загальної варіації ознак. Цю компоненту можна інтерпретувати за значенням коефіцієнтів кореляції з маніфестними змінними (табл. 2). Найвищими за модулем коефіцієнтами кореляції характеризуються показники ступеня мінливості індексів у межах поля. Таким чином, головну компоненту 1 можна визначити як міру варіабельності індексів у межах окремого поля. Загальна лінійна модель дозволила встановити, що геоморфологічні предиктори та площа поля описують 16,0% варіабельності головної компоненти 1 (табл. 3). Статистично вірогідними предикторами є площа поля (стандартизований регресійний коефіцієнт $-0,31 \pm 0,10$) та висота рельєфу (стандартизований регресійний коефіцієнт $0,38 \pm 0,10$). Найбільшою варіабельністю індексів Landsat у межах сільськогосподарських полів, що відображається значеннями головної компоненти 1, характеризуються більш за розміром поля, а також розташовані ближче до депресій рельєфу (балок або ярів).

Головна компонента 2 описує 21,1% загальної дисперсії та характеризується найвищими модулями кореляції таких індексів як greenNDVI, LSWI, MI, NBR та багато інших (табл. 2). Слід зазначити, що особливість цієї головної компоненти – протилежна динаміка значень індексів навесні та влітку. Головна компонента 2 найчутливіша до сезонної компоненти мінливості рослинного покриву. Геоморфологічні змінні та площа полів визначають 30,0% мінливості головної компоненти 2 (табл. 3). Статистично вірогідними предикторами у рамках загальної лінійної моделі є площа поля, висота рельєфу та індекс топографічних передумов ерозії (LS-фактор). Найви-

рогідніше, що головну компоненту 2 змістовно можна інтерпретувати як якісні розбіжності у рослинному покриві, зумовлені вирощуванням ярих або озимих культур. Тоді зрозумілим стає протиставлення рівнів індексів навесні та влітку в межах одного поля. Навесні поля, на яких висіяні озимі культури, характеризуються підвищеними значеннями вегетаційних індексів. До кінця літа вже відбуваються жнива цих культур, тому у серпні вегетаційні індекси на цих полях будуть порівняно меншими. Багато з ярих культур наприкінці літа залишаються ще не зібраними, цим зумовлені зворотні розбіжності: навесні ярі культури ще не поскодили, тому вегетаційні індекси малі за значенням, а наприкінці літа ці поля характеризуються досить високими значеннями вегетаційних індексів.

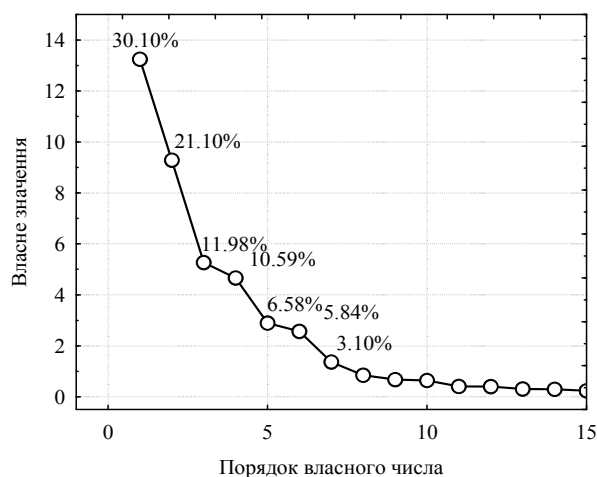


Рис. 2. Ранжування головних компонент за власними значеннями: наведено перші 15 власних чисел; вказано частку варіабельності, яка описується відповідною головною компонентою

Головна компонента 3 описує 11,9% загальної дисперсії (табл. 2). Вона характеризується високими рівнями кореляції з такими показниками як гідротермальний композит, індекс AC, MNDW, NDB3B2 (залежить від активності ксантофілу). Переважна більшість індексів, чутливих до цієї компоненти, змінюється у весняний період. Для розуміння природи цієї компоненти важливі геоморфологічні предиктори. Вони та площа полів у рамках загальної лінійної моделі пояснюють 20,0% мінливості головної компоненти 3. Статистично вірогідними предикторами є площа поля, топографічний індекс вологості, кількість фотосинтетично активної радіації, індекс топографічної позиції (табл. 3). Сукупність цих показників дозволяє інтерпретувати головну компоненту 3 як раньовесняні розбіжності у динаміці зростання рослин, зумовлені особливостями рельєфу.

Очевидно, що особливістю весняного етапу вегетації є збіг достатнього рівня зволоженості ґрунту, який виникає як наслідок танення снігу та умов теплозабезпечення. Саме остання обставина, яка регулюється рельєфними особливостями, виступає як чинник, що впливає на швидкість зростання рослин на локальному рівні. Також як особливості слід відзначити помірні за модулем коефіцієнти кореляції головної компоненти 3 із показниками діапазону мінливості індексів у межах поля. Причому ці коефіцієнти вірогідні для даних, отриманих

улітку. Таким чином, варіабельність рослинного покриття, зумовлена чутливістю до рельєфних особливостей тільки навесні, має своїм наслідком підвищення варіабельності рослинного покриття наприкінці літа, хоч у цей період чутливості до особливостей рельєфу в такому контексті вже не спостерігається.

Головна компонента 4 описує 10,6% загальної дисперсії простору ознак. Статистично вірогідними коефіцієнтами із цією компонентою характеризуються показники варіабельності значень індексів у межах поля. При цьому весняні та літні показники характеризуються протилежними значеннями. З індексів найчутливішим як навесні, так і влітку є NDB3B2, який відображає активність ксантофілу (табл. 2). Геоморфологічні предиктори здатні пояснити 14,0% мінливості головної компоненти 4 (табл. 3). Статистично вірогідним предиктором є LS-фактор, який відображає потенційні можливості розвитку ерозійних процесів. Сукупність ознак, які описують головну компоненту 4, дозволяє не виключати можливість розглядати цю компоненту як пов'язану з розвитком бур'янистої рослинності. Наявність бур'янів пояснює мінливість вегетаційних індексів у межах поля. Високий рівень індексу NDB3B2 може відзеркалювати особливості фенології бур'янів, які відрізняються від динаміки розвитку культурних рослин, що може відбиватися на спектральних особливостях полів залежно від рівня розвитку

бур'янів. Також активність ерозійних процесів слід розглядати як фактор дестабілізації рівномірності перебігу екологічних процесів, що є приводом для проникнення у межі сільськогосподарського поля екологічно активніших в умовах нестабільного середовища шкідливих видів рослин. Але наявних даних недостатньо для перевірки гіпотези про зв'язок головної компоненти 4 з бур'янистою рослинністю. Ця гіпотеза може бути перевірена співставленням результатів польових досліджень просторового розподілу бур'янів, переважно ваточника сирійського, з результатами дистанційного зондування поверхні Землі. Очевидно, що неможливо безпосередньо ідентифікувати рослини бур'янів, аналізуючи дані дистанційного зондування Землі з відповідними рівнями роздільної здатності. Індикаторне значення для ідентифікації можуть мати ландшафтно-екологічні передумови розвитку бур'янів, які власне можуть бути встановлені за допомогою дистанційного зондування. Поряд із передумовами індикаторне значення мають ті трансформаційні процеси у структурі рослинного покриття культурних біогеоценозів, які індуковані бур'янами. Крім відображення на космічних знімках, результати цієї трансформації впливають на загальний рівень функціонування агроєкосистеми, що має своє вираження у рівні врожайності сільськогосподарських культур.

Таблиця 2

Кореляція головних компонент та індексів Landsat (наведено статистично вірогідні коефіцієнти за $P < 0,05$)

Індекси	Головні компоненти													
	PC 1		PC 2		PC 3		PC 4		PC 5		PC 6		PC 7	
	серед-не	діапа-зон	серед-не	діапа-зон	серед-не	діапа-зон	серед-не	діапа-зон	серед-не	діапа-зон	серед-не	діапа-зон	серед-не	діапа-зон
23 березня 2015 р.														
ac_index	-	-0,36	-	0,30	0,81	-0,43	0,47	-	-	-0,44	-	-0,23	-	0,33
chlor_a	-0,61	-0,87	-0,48	-	-0,44	-	-	0,29	0,41	-	-	-	-	-0,27
gr_ndvi	-0,55	-0,83	-0,47	0,28	-0,55	-	-	0,33	0,36	-	-	-	-	-0,23
hydro	-	-0,55	-	0,44	-0,80	-0,24	-0,56	-	-	-0,50	-	-0,22	-	0,24
lswi	-0,78	-0,75	-0,21	0,29	-	-	0,38	0,28	0,21	-	-	-	0,35	-0,31
mi	-0,58	-0,85	-0,42	0,23	-0,58	-	-	0,32	0,35	-	-	-	-	-0,23
mndw	-0,37	-0,53	0,22	0,40	0,44	-	0,52	0,28	-	-0,42	-	-0,21	0,47	-
nbr	-0,79	-0,75	-0,22	0,35	-0,20	-	0,30	0,24	0,22	-	-	-	0,33	-0,34
ndb4b3	-0,26	-0,73	-0,23	0,38	0,63	-0,21	0,62	-	0,19	-0,36	-	-	-	-
ndti	-0,74	-0,52	-0,22	0,41	-0,44	-	-	-	0,22	-	-	-0,19	0,23	-
NDVI	-0,60	-0,88	-0,52	-	-0,39	-	-	0,28	0,40	-	-	-	-	-0,26
27 серпня 2015 р.														
ac_index	-	-0,31	0,20	0,26	-0,20	-	0,20	-0,36	-0,43	0,39	0,71	-0,50	-	-
chlor_a	0,32	-0,44	0,82	0,58	-0,25	0,30	0,21	-0,37	0,25	-	-	0,35	-	-
gr_ndvi	0,36	-0,61	0,82	0,37	-0,22	0,39	0,19	-0,45	0,30	-	-	0,31	-	-
hydro	-	-	-	0,42	0,21	-	-	-0,31	0,40	0,33	-0,78	-0,52	-	-
lswi	0,40	-0,57	0,82	0,35	-0,22	0,40	0,23	-0,52	0,23	-	-	-	-	-
mi	0,35	-0,42	0,82	0,62	-0,22	0,31	-	-0,39	0,32	-	-	0,24	-	-
mndw	0,43	-0,23	0,71	0,42	-0,20	0,20	0,27	-0,38	-	-	-	-	-	-0,28
nbr	0,43	-0,63	0,82	0,25	-0,20	0,39	0,22	-0,52	0,23	-	-	-	-	-
ndb4b3	-0,26	-0,73	-0,23	0,38	0,63	-0,21	0,62	-	0,19	-0,36	-	-	-	-
ndti	0,47	-0,66	0,77	-	-	0,30	0,20	-0,41	0,20	-	-	-	-	-
NDVI	0,35	-0,61	0,82	0,39	-0,27	0,37	0,23	-0,44	0,20	-	-	0,31	-	-

Головна компонента 5 описує 6,6% варіабельності сукупності ознак. Найважливіша особливість цієї компоненти – те, що майже всі вегетаційні індекси характеризуються статистично вірогідними коефіцієнтами кореляції одного знаку (табл. 2). Але найбільшими кореляційни-

ми коефіцієнтами за модулем характеризуються індекси AC та ступінь мінливості цього індексу в межах поля. Тільки спектральні характеристики сенсорів супутника Landsat 8 дозволяють одержувати інформацію, необхідну для розрахунку індексу AC. Назва цього індексу розшиф-

ровується як aerosol/coastal, тобто він чутливий до стану атмосфери, а саме до запиленості атмосфери. У цьому контексті стає зрозумілим протиставлення більшої запиленості атмосфери, з одного боку, та більшої кількості рослин – з іншого. Очевидно, що запиленість атмосфери ініціюється факторами антропогенної природи, а саме наявністю населених пунктів, автодоріг і залізниць. Ці обставини – фактори розповсюдження бур'янів (ваточника сирійського у тому числі). Площа поля та геоморфологічні предиктори у рамках загальної лінійної моделі визначають 19,0% варіабельності головної компоненти 5 (табл. 3). Статистично вірогідні предиктори –

площа поля та кількість фотосинтетично активної радіації. Площа поля – маркер масштабного аспекту варіабельності, яку відображає головна компонента 5. Придорожні насипи формують рельєф, який має такий нахил, що у випадку південної експозиції схилу поверхня одержує значно більшу кількість сонячної радіації, ніж навколишні ділянки. Такі антропогенні деформації рельєфу чітко індикуються на космічних знімках. Таким чином, головна компонента 5 також може відбивати тенденції трансформації рослинного покриву та рельєфу, що можуть провокувати підвищену інтенсивність розселення бур'янів.

Таблиця 3

Загальна лінійна модель впливу геоморфологічних показників і площі поля на значення головних компонент (наведено стандартизований регресійний коефіцієнт \pm стандартна помилка)

Предиктор	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC7
	$R^2 = 0,16,$ $F = 3,45,$ $P = 0,003$	$R^2 = 0,30,$ $F = 7,56,$ $P = 0,000$	$R^2 = 0,20,$ $F = 4,61,$ $P = 0,000$	$R^2 = 0,14,$ $F = 2,82,$ $P = 0,013$	$R^2 = 0,19,$ $F = 4,32,$ $P = 0,001$	$R^2 = 0,30,$ $F = 7,72,$ $P = 0,000$
Log Area	$-0,31 \pm 0,10^*$	$0,54 \pm 0,09^*$	$0,21 \pm 0,09$	$-0,19 \pm 0,10^*$	$-0,40 \pm 0,09^*$	$-0,23 \pm 0,09^*$
DEM	$0,38 \pm 0,10^*$	$-0,22 \pm 0,09^*$	$-0,08 \pm 0,10$	$0,12 \pm 0,10$	$-0,06 \pm 0,10$	$-0,27 \pm 0,09^*$
TWI	$0,14 \pm 0,12$	$-0,05 \pm 0,11$	$0,28 \pm 0,11^*$	$0,02 \pm 0,12$	$0,00 \pm 0,11$	$0,30 \pm 0,11^*$
ФАР	$0,01 \pm 0,09$	$-0,09 \pm 0,08$	$-0,29 \pm 0,09^*$	$0,10 \pm 0,09$	$0,18 \pm 0,09^*$	$-0,26 \pm 0,08^*$
LS	$0,02 \pm 0,10$	$0,27 \pm 0,09^*$	$-0,11 \pm 0,10$	$0,21 \pm 0,10^*$	$-0,06 \pm 0,10$	$0,06 \pm 0,09$
TPI	$0,04 \pm 0,11$	$0,01 \pm 0,10$	$0,25 \pm 0,10^*$	$0,15 \pm 0,11$	$0,05 \pm 0,10$	$0,20 \pm 0,10^*$

Примітка: * – статистично вірогідні коефіцієнти для $P < 0,05$.

Головна компонента 6 пояснює 5,8% загальної дисперсії. Вона характеризується високим рівнем кореляції з такими індексами як АС та гідротермальний композит у кінці літа (табл. 2). Як вже зазначалось, індекс АС чутливий до запиленості атмосфери, а гідротермальний індекс – до властивостей ділянок, не покритих рослинним покривом. Ця компонента не має статистично вірогідного зв'язку з розміром площі полів і геоморфологічними показниками ($R^2 = 0,02$, $F = 0,41$, $P = 0,87$). Очевидно, що головна компонента 6 може відображати хід жнив наприкінці літа, які супроводжуються звільненням поверхні від рослинного покриву та підвищенням запиленості атмосфери.

Головна компонента 7 описує 3,1% варіабельності простору ознак. Вона корелює переважно з тими індексами, які відображають стан вологості рослинного покриву. Цю компоненту можна інтерпретувати як показник функціонального стану вегетуючої рослинності. За результатами загальної лінійної моделі 30% варіабельності головної компоненти 7 можна пояснити за допомогою розмірів поля та геоморфологічних предикторів (табл. 3).

Статистично вірогідними предикторами головної компоненти 7 є площа поля (нормований регресійний коефіцієнт $-0,23 \pm 0,09$), висота рельєфу ($-0,23 \pm 0,09$), топографічний індекс вологості ($0,30 \pm 0,11$), кількість фотосинтетично активної радіації ($-0,26 \pm 0,08$) та індекс топографічної позиції ($0,19 \pm 0,10$). Результати регресійного аналізу дозволяють уточнити інтерпретацію головної компоненти 7. Її можна визначити як показник вологості рослин, яка головною мірою визначається рельєфними чинниками.

Висновки

У ході проведеного дослідження на основі даних дистанційного зондування Землі виділено головні тренди мінливості рослинного покриву. Більшість цих трендів, які формалізовані у вигляді головних компонент, вдалося пояснити за допомогою індексів, які кількісно характеризують особливості рельєфу. Показано, що різні аспекти варіювання рослинного покриву характеризуються специфікою впливу рельєфних чинників.

Важливий аспект варіювання рослинного покриву агрокосистем – мінливість у межах поля. Ступінь варіювання умов пропорційна розмірам поля. Великі поля займають плакорні позиції. У свою чергу, в межах малих полів джерело варіювання – зміни екологічних умов, які виникають через нерівності рельєфу та набувають більшого значення при наближенні до балок і ярів.

Установлено аспекти варіювання рослинного покриву, які за своєю природою можуть виступати як провайдери розвитку бур'янів у межах агроценозів. Безпосередній ідентифікації угруповання бур'янів на космічних знімках Landsat не підлягають, але можуть бути встановлені комплексні зміни у ландшафтному покриві, які виступають як маркери процесів, пов'язаних із розвитком бур'янистої рослинності. Процедура подальшого дешифрування космічних знімків із метою ідентифікації бур'янів потребує залучення даних польових досліджень.

Бібліографічні посилання

- Arnold, G.W., Dandridge, F., 1985. The capeweed content of pastures in south-west Western Australia. *Aust. J. Exp. Agr.* 25(1), 117–123.
- Auld, B.A., 1995. A brief overview of weed survey methods. In: Lemmerle, D., Corey, S. (eds.). *Survey Workshop, Proceedings of a workshop, Wagga Wagga, NSW. Cooperative Research Centre for Weed Management Systems, Adelaide, Australia.* 3–4.
- Brower, L.P., 1995. Understanding and misunderstanding the migration of the monarch butterfly (Nymphalidae) in North America: 1857–1995. *J. Lepid. Soc.* 49, 304–385.
- Brown, R.B., Steckler, J.-P.G.A., Anderson, G.W., 1994. Remote sensing for identification of weeds in no-till corn. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 37(1), 297–302.
- Brygadyrenko, V.V., 2015. Community structure of litter invertebrates of forest belt ecosystems in the Ukrainian steppe zone. *International Journal of Environmental Research* 9(4), 1183–1192.
- Bugg, R.L., Pickett, C.H., 1998. Introduction: Enhancing biological control-habitat management to promote natural enemies of agricultural pests. In: Pickett, C.H., Bugg, R.L. (Eds.). *Enhancing biological control.* University of California Press, Berkeley. 1–23.
- Campbell, M.H., 1991. Weed control in pastures – are we winning? *Plant Protection Quarterly* 6(2), 55–63.
- Cardina, J., Johnson, G.A., Sparrow, D.H., 1997. The nature and consequence of weed spatial distribution. *Weed Sci.* 45(3), 364–373.
- Cramer, G.L., Burnside, O.C., 1982. Distribution and interference of common milkweed (*Asclepias syriaca*) in Nebraska. *Weed Sci.* 30(4), 385–388.
- Csontos, P., Bózsing, E., Cseresnyés, I., Penksza, K., 2009. Reproductive potential of the alien species *Asclepias syriaca* (Asclepiadaceae) in the rural landscape. *Pol. J. Ecol.* 57(2), 383–388.
- Demidov, A.A., Kobets, A.S., Gritsan, Y.I., Zhukov, A.V., 2013. Prostranstvennaya agroekologiya i rekultivatsiya zemel [Spatial agroecology and land reclamation]. «Svidler A.L.», Dnepropetrovsk (in Russian).
- Dewey, S.A., Price, K.P., Ramsey, D., 1991. Satellite remote sensing to predict potential distribution of dyers woad (*Isatis tinctoria*). *Weed Technol.* 5(3), 479–484.
- Dychenko, O.Y., Pysarenko, P.V., Kunakh, O.M., Zhukov, O.V., 2015. Prostorova ahroekologiya yak osnova prohnozu chysel'nosti shkidnykiv [Spatial agroecology as basis of the prognosis of the pest abundance]. Dnepropetrovsk Univ. Press, Dnepropetrovsk (in Ukrainian).
- Everitt, J.H., Anderson, G.L., Escobar, D.E., Davis, M.R., Spenser, N.R., Andrascik, R.J., 1995. Use of remote sensing for detecting and mapping Leafy Spurge (*Euphorbia esula*). *Weed Technol.* 9(3), P. 599–609.
- Everitt, J.H., Escobar, D.E., Alaniz, M.A., Davis, M.R., Richerson, J.V., 1996. Using spatial information technologies to map Chinese Tamarisk (*Tamarix chinensis*) infestations. *Weed Sci.* 44(1), 194–201.
- Everitt, J.H., Escobar, D.E., Alaniz, M.A., Villarreal, R., Davis, M.R., 1992. Distinguishing brush and weeds on rangelands using video remote sensing. *Weed Technol.* 6(4), 913–921.
- Fitzpatrick, B.T., Hill, G.J.E., Kelly, G.D., 1990. Mapping and monitoring of weed infestations using satellite remote sensing data. *Proceedings 5th Australasian Remote Sensing Conference, Perth, Western Australia.* 598–601.
- Gardiner, D.B., Tupper, G.J., Dudgeon, G.S., 1998. A quantitative appraisal of woody shrub encroachment in Western New South Wales. *Rangeland J.* 20(1), 26–40.
- Hartzler, R.G., Buhler, D.D., 2000. Occurrence of common milkweed (*Asclepias syriaca*) in cropland and adjacent areas. *Crop Protection* 19(5), 363–366.
- Kim, D.O., Myuler, U., 1989. Faktornyiy, diskriminantnyiy i klasternyy analiz [Factor, cluster and discriminant analysis]. *Finansyi i Statistika, Moscow* (in Russian).
- Kunakh, O.M., Papka, O.S., 2016. Heomorfolohichni ekoheorafichni zminni, yaki vyznachayut' osoblyvosti ekolohichnoyi nishy vatochnyky syriys'koho (*Asclepias syriaca* L.) [Geomorphological ecogeographical variables defining features of an ecological niche of common milkweed (*Asclepias syriaca* L.)]. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University* 6(1), 63–91 (in Ukrainian).
- Landis, D.A., Wratten, S.D., Gurr, G.M., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45, 175–201.
- Lass, L.W., Callihan, R.H., 1993. GPS and GIS for weed surveys and management. *Weed Technol.* 7(1), 249–254.
- Lass, L.W., Carson, H.W., Callihan, R.H., 1996. Detection of yellow starthistle (*Centaurea solstitialis*) and common St. Johnswort (*Hypericum perforatum*) with multispectral digital imagery. *Weed Technol.* 10(3), 466–474.
- Konovalova, T.M., Zhukov, O.V., Pakhomov, O.Y., 2010. GIS-podkhod dlya otsenki izmenchivosti elektroprovodnosti pochvy pod vliyaniem pedoturbatsionnoy aktivnosti slepysha (*Spalax microphthalmus*) [Gis-approach for variability assessment of soil electric conductivity under pedoturbation activity of mole rat (*Spalax microphthalmus*)]. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol.* 18(1), 58–66.
- Kulbachko, Y., Loza, I., Pakhomov, O., Didur, O., 2011. The zoological remediation of technogen faulted soil in the industrial region of the Ukraine Steppe zone. In: Behnassi, M. et al. (eds.), *Sustainable agricultural development.* Springer Science + Business Media, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 115–123.
- Malcolm, S.B., Cockrell, B.J., Brower, L.P., 1989. The cardenolide fingerprint of monarch butterflies reared on the common milkweed, *Asclepias syriaca*. *J. Chem. Ecol.* 15, 819–853.
- Moody, M.E., Mack, R.N., 1988. Controlling the spread of plant invasions: The importance of nascent foci. *J. Appl. Ecol.* 25, 1009–1021.
- Mosalets, T.Z., 2015. Vplyv mozajichnogo rozmishennja sortiv ozymozi pshenyци na ahroriznomanittja [Effect of planting pattern of winter wheat on agrodiversity]. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University* 5(2), 31–43 (in Ukrainian).
- Paukova, Ž., Knepekova, M., Hauptvolg, M., 2014. Mapping of alien species of *Asclepias syriaca* and *Fallopia japonica* populations in the agricultural landscape. *J. Cent. Eur. Agr.* 15(2), 12–22.
- Peters, A.J., Reed, B.C., Eve, M.D., McDaniel, K.C., 1992. Remote sensing of brome snakeweed (*Gutierrezia sarothrae*) with NOAA-10 spectral image processing. *Weed Technol.* 6(4), 1015–1020.
- Pitt, J.L., Miller, I.L., 1988. A review of survey techniques for the detection of weeds with particular reference to *Mimosa pigra* L. Australia and Thailand. *Plant Protection Quarterly* 3(4), 149–155.
- Price, J.C., 1994. How unique are spectral signatures? *Remote Sens. Environ.* 49(3), 181–186.
- Puzachenko, Y.G., Fedyeva, M.V., Kozlov, D.N., Puzachenko, M.Y., 2006. Metodologicheskie osnovaniya otobrazheniya elementarnykh geosistemnykh protsessov [Methodological basis of the elementar geosystem processes reflection]. *Sovremennyye estestvennyye i antropogennyye protsessy v pochvah geosistem. Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva, Moscow.* 13–52 (in Russian).
- Remenyuk, S.O., 2013. Biolohichni osoblyvosti i rozrobka zakhodiv kontrolyuvannya vatochnyky syriys'koho v umovakh

- livoberezhnoho Lisostepu Ukrayiny [Biological properties and development of the control approaches of the *Asclepias syriaca* in the left bank forest steppe of the Ukraine]. Kyiv (in Ukrainian).
- Rew, L.J., Miller, P.C.H., Paice, M.E.R., 1997. The importance of patch spraying resolution for sprayer control. *Aspects of Applied Biology* 48, 49–55.
- Robertson, G.P., Swinton, S.M., 2005. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: A grand challenge for agriculture. *Front. Ecol. Environ.* 3, 38–46.
- Sarkany, E.S., Lehotzky, E., Tamas, J., Nagy, P., 2008. Spreading, ecology and damages by the Common milkweed (*Asclepias syriaca* L.) in Hungary. *Cereal Res. Commun.* 36(3), 1571–1574.
- Saskevich, P.A., Mirenkov, Y.A., Soroka, S.V., 2008. Agrobiologicheskoe obosnovanie mer borby s mnogoletney sornoy rastitelnostyu v usloviyah Respubliki Belarus [Agrobiological basis of the control approaches of the perennial weeds in Republic Belarus]. Nesvizh. Ukрупn. Tipograf., Nesvizh (in Russian).
- Swinton, S.M., Robertson, G.P., Landis, D.A., Lupi, G.P., 2006. Ecosystem services from agriculture: Looking beyond the usual suspects. *Am. J. Agr. Econ.* 88, 1160–1166.
- Valachovič, M., 1987. On coenology of *Asclepias syriaca* in Záhorská nížina lowland (West Slovakia). *Zpr. Čs. Bot. Společ* 22, 59–60.
- Valachovič, M., 1998. Poznámky k biológii druhu *Asclepias syriaca* na Záhorskej nížine [Notes on the biology of the species *Asclepias syriaca* in the Záhorská nížina Lowland]. Zborník z konferencie mladých vedeckých pracovníkov. Bratislava, CBEV SAV. 58–63 (in Slovakian).
- van Deventer, A.P., Ward, A.D., Gowda, P.H., Lyon, J.G., 1997. Using thematic mapper data to identify contrasting soil plains and tillage practices. *Photogramm. Eng. Rem. S.* 63, 87–93.
- Zhukov, A.V., 2015. Analiz prostorovykh danykh v ekolohiyi ta sil's'komu hospodarstvi [Analysis of spatial data in ecology and agriculture]. Dnipropetrovsk Univ. Press, Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Zhukov, A.V., Kunah, O.N., Konovalova, T.M., 2011. Landshaftnyj aspekt jekologicheskoy nishi slepyshej [Landscape aspect of the mole rats (*Spalax microphthalmus* Guldenstaedt, 1770) ecological niche]. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University* 3, 13–27 (in Russian).
- Zhukov, A.V., Kunah, O.N., Zadorozhnaja, G.A., Andrushevich, E.V., 2013. Landshaftnaja jekologija kak osnova prostranstvennogo analiza produktivnosti agrocenozov [Landscape ecology as a basis of the spatial analysis of the agrocoenosis productivity]. *Ecology and Noospherology* 24(1), 68–80 (in Russian).

Надійшла до редколегії 07.03.2016