

УДК 595.142.3
© 2015

О.В. ЖУКОВ,
доктор біологічних наук

П.В. ПИСАРЕНКО,
доктор сільськогосподарських наук

О.М. КУНАХ,
кандидат біологічних наук

О.Ю. ДИЧЕНКО,
здобувач

Дніпропетровський національний
університет імені Олеся Гончара—
Полтавська державна
аграрна академія, Україна
E-mail: Zhukov_dnepr@rambler.ru

ОЦІНКА ВАРІЮВАННЯ У ПРОСТОРІ ТА ЧАСІ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ ЗАСОБАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Розроблено методичні підходи для застосування результатів дистанційного зондування Землі, одержаних за допомогою спектрорадіометра MODIS. Картографічні дані дозволяють уявити можливості підходу та основні тренди варіювання фітомаси рослинного покриву, оціненого на основі індексу NDVI. Установлено закономірний тренд збільшення фітомаси протягом весняного періоду, а також закономірності просторового розподілу фронту нарощування біомаси рослин.

Ключові слова: вегетаційний індекс NDVI, рослинний покрив, просторова агро-екологія, динаміка екосистем.

Ядром сучасного ландшафтознавства, як природничої науки про землю, є дослідження правил міжкомпонентних відносин у просторі—часі [3, 8]. Концепція про елементарні ґрунтові процеси у своїй основі сформульована І.П. Герасимовим і М.А. Глазовською [1] і найбільш широко розвинена Ф.І. Козловським [6] у вигляді уявлення про ландшафтні або геосистемні елементарні процеси. Цю концепцію можна розглядати як природний для натураліста підхід редукції системи до її незалежних основ або частин [7].

Як відзначають Д.Н. Козлов і його співавтори [5], можливості дослідження істотно розширюються при сполученні наземних польових вимірювань і дистанційної інформації. Остання розглядається не як засіб для дешифрування апіорі існуючих образів стану

земної поверхні, а як система вимірювання її фізичних властивостей через величини відбитої сонячної радіації в різних спектральних зонах [2]. Поряд з дистанційною інформацією природно розглядати цифрові моделі рельєфу, що потенційно відбивають просторовий перерозподіл тепла, твердого й рідкого стоку [2, 3, 5].

Перетворення сонячної енергії, представленої за допомогою спектрозональних дистанційних вимірювань, можна трактувати як інтегральний ландшафтний процес. Завдання дослідження – розчленувати його на елементарні ландшафтні процеси в розумінні їх Ф.І. Козловським [6]. Елементарний процес є методологічним прийомом подання динаміки складної реальної системи, даної спостерігачеві в сукупності спостережуваних

або вимірюваних змінних, а функціональний простір являє собою модель явища в просторі фізично осмислених матеріальних тіл або сил. При цьому ми розраховуємо, що перше включено в остаточний підсумок відображення другого [7].

При дослідженні на цій основі ландшафтові фактори можуть бути два основних підходи [4, 5]. Перший – інтегральний, за якого дистанційним спектроскопічним вимірюванням і властивостям рельєфу ставляться у відповідність деякі класи станів якої-небудь типологічної класифікації компонента (групи асоціацій рослинності, види ґрунтів і под.). Другий – редукціоністський (парціальний), за якого розглядаються елементарні вимірювані властивості кожного компонента (висота лісу, частка участі конкретного виду в рослинному покриві або які-небудь характеристики його багатства, потужність гумусового шару, вологість ґрунту на певній глибині й т.ін.). Ці два підходи не суперечать один одному, і в остаточному підсумку на їх основі необхідно одержати відображення станів у просторі тих самих ландшафтних процесів. Більш того, як гіпотезу можна прийняти: якщо на основі цих двох підходів отримані однакові відображення, то в системі не виявлені емерджентні властивості [5].

Найважливішою особливістю просторової мінливості фітомаси в агроценозах за природної і традиційної систем землеробства є підвищення ролі тренда та локальної автокореляції у разі сезонного збільшення фітомаси, що маркується за допомогою індексу NDVI. У результаті щільніше рослинне угруповання стає більш просторово структурованим. Зі зростанням фітомаси в процесі вегетації фактори різної природи й різного масштабового рівня активніше здійснюють свій обмежувальний вплив [3].

Головною метою Європейської комісії “Глобальний покрив Землі–2000” було створити у 2000 році глобальну гармонізовану базу даних покриття для всієї планети. Результати GLC–2000 класифікації типів поверхні Землі мають просторову точність 1 км. Пізніше були створені продукти, які надають можливість щорічно одержувати інформацію про структуру типів покриття Зем-

лі. Наприклад, продукт MODIS (MCD12Q1) містить щорічну інформацію про структуру покриття Землі та має роздільну здатність 500 м. Первинна схема класифікації земної поверхні, яка міститься в продукті MCD12Q1, це IGBP (International Geosphere Biosphere Programme – Міжнародна геосферно-біосферна програма) [9]. Цей продукт містить також схему класифікації Мерилендського університету [11], біомні класифікації [12, 13] та схему функціональних типів рослинності PFT (Plant functional type) [10].

Метою нашої роботи було розробити процедури для оцінки варіювання у просторі та часі рослинного покриття засобами дистанційного зондування Землі на прикладі Полтавської області, щоб вирішити питання прогнозування урожайності сільськогосподарських культур та динаміки чисельності шкідників агроєкосистем.

Матеріали та методи досліджень. Важливим аспектом дослідження ролі екологічного оточення в динаміці чисельності шкідників є визначення ролі річної мінливості фітомаси рослинного покриття. Характеристика просторово-часової динаміки фітомаси є складною методичною проблемою, яка одержала своє вирішення у рамках технології обробки результатів дистанційного зондування поверхні Землі з космосу.

Нами розроблені методичні підходи для застосування даних дистанційного зондування Землі зі спектрорадіометра MODIS штучного супутника Терра. Зонд MODIS фотографує поверхню Землі у 36 діапазонах спектра з довжиною хвилі від 0,4 до 14,4 мкм та роздільною здатністю від 250 м до 1 км. Призначений для спостереження за глобальною динамікою Землі – мінливістю хмарності, радіаційний баланс та процеси, які відбуваються в океанах, на суходолі, у нижніх шарах атмосфери. На основі первинної інформації від фотографування поверхні Землі у рамках проекту MODIS одержують значний перелік похідних продуктів. Одним з них є продукт MOD13Q1. Він містить інформацію про просторову мінливість вегетаційного індексу NDVI з періодичністю 16 діб і роздільною здатністю 250 м. Дані про вегетаційні індекси застосовуються для моделювання

біогеохімічних та гідрологічних процесів, а також глобального та регіонального клімату. Ці дані також можуть бути використані й для характеристики біофізичних властивостей поверхні Землі, таких процесів, як первина продукція екосистем та трансформація земного покриву. Продукт MOD13Q1 розміщений у колекторі <http://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOTA/> або може бути завантажений за допомогою сервісів *EarthExplorer* (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), або *USGS Global Visualization Viewer* (<http://glovis.usgs.gov/>).

Дані MODIS знаходяться у форматі HDF (*Hierarchical Data Format*) – ієрархічний формат даних, який розроблений для збереження значної кількості цифрової інформації. Конверсія файлів з формату HDF у формат TIFF була зроблена в середовищі R (<http://www.r-project.org/>) за допомогою бібліотеки *gdalUtils* (http://www.gdal.org/gdal_translate.html).

Територія Полтавської області знаходиться в межах двох сцен MODIS – h20v3 та h20v4, унаслідок цього необхідна операція мозаїчного об'єднання сцен в одне зображення. Це було зроблено в програмі ArcMap за допомогою функції Merge. За допомогою алгебри растрів зображення було обрізане за розмірами Полтавської області та створене як векторний полігональний об'єкт. У роботі адміністративні райони Полтавської області позначені так: 1 – Великобагачанський; 2 – Гадяцький; 3 – Глобинський; 4 – Гребінківський; 5 – Диканський; 6 – Зіньківський; 7 – Карлівський; 8 – Кобеляцький; 9 – Козельщинський; 10 – Котелевський; 11 – Кременчуцький; 12 – Лохвицький; 13 – Лубенський; 14 – Машівський; 15 – Миргородський; 16 – Новосанжарський; 17 – Оржицький; 18 – Пирятинський; 19 – Полтавський; 20 – Решетилівський; 21 – Семенівський; 22 – Хорольський; 23 – Чорнухинський; 24 – Чутівський; 25 – Шишацький. Векторну карту Полтавської області з картами адміністративних районів завантажено зі сервісу *DIVA-GIS* (<http://www.diva-gis.org/gdata>).

Для відображення динаміки індексу NDVI нами застосовано два підходи: власне динаміка та похідна, яка одержана внаслідок числового диференціювання попереднього ряду даних,

$$\frac{dNDVI_i}{dt} = \frac{NDVI_{i+1} - NDVI_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}},$$

де $dNDVI/dt$ – швидкість зміни індексу NDVI в момент часу i ; $NDVI_{i+1}$ та $NDVI_{i-1}$ – значення індексу в моменти часу t_{i+1} та t_{i-1} .

Періодичність знімання 16 діб дозволяє одержати 22 сцени на рік. Нами була одержана та опрацьована інформація про динаміку індексу NDVI в межах Полтавської області за 2012–2014 рр. Загалом опрацьовано 44 сцени MODIS.

Результати досліджень та їх обговорення. На рис. 1 показана динаміка мінливості індексу NDVI в 2014 р. протягом перших вісьмох дат зйомки – з 19 січня по 11 травня.

Наведені картографічні дані дозволяють уявити можливості підходу та основні тренди варіювання фітомаси рослинного покриву, оціненого на основі індексу NDVI. Інформацію за інші періоди тільки в ілюстративних цілях ми вважаємо наводити недоцільно. Візуально можна оцінити закономірний тренд зі збільшення фітомаси протягом весняного періоду, а також закономірності просторового розподілення фронту нарощування біомаси рослин. Ми бачимо, що на півдні області активізація росту рослин відбувається раніше, ніж на півночі. Осередками активності рослинного покриву є також долини річок. Наприкінці весни розподіл значення індексу NDVI стає більш вирівняним унаслідок початку вегетації на сільськогосподарських угіддях.

Аналіз наведених даних свідчить про те, що загальний тренд мінливості індексу NDVI подібний у різних типах рослинного покриву (рис. 2). Це мінімум значення індексу в другій половині зими, потім відбувається зростання протягом усієї весни до першої половини літа, після чого – поступове зниження до кінця осені, коли швидкість зниження стає більш інтенсивною. Аналіз похідної дозволяє більш чітко визначити критичні періоди у фенології рослинності. На графіку похідної максимум відповідає найбільшій локальній швидкості нарощування фітомаси, а мінімум – найбільшій швидкості зниження фітомаси. Точка перетину графіка з віссю абсцис відповідає екстремуму: максимуму, мінімуму або перегину.

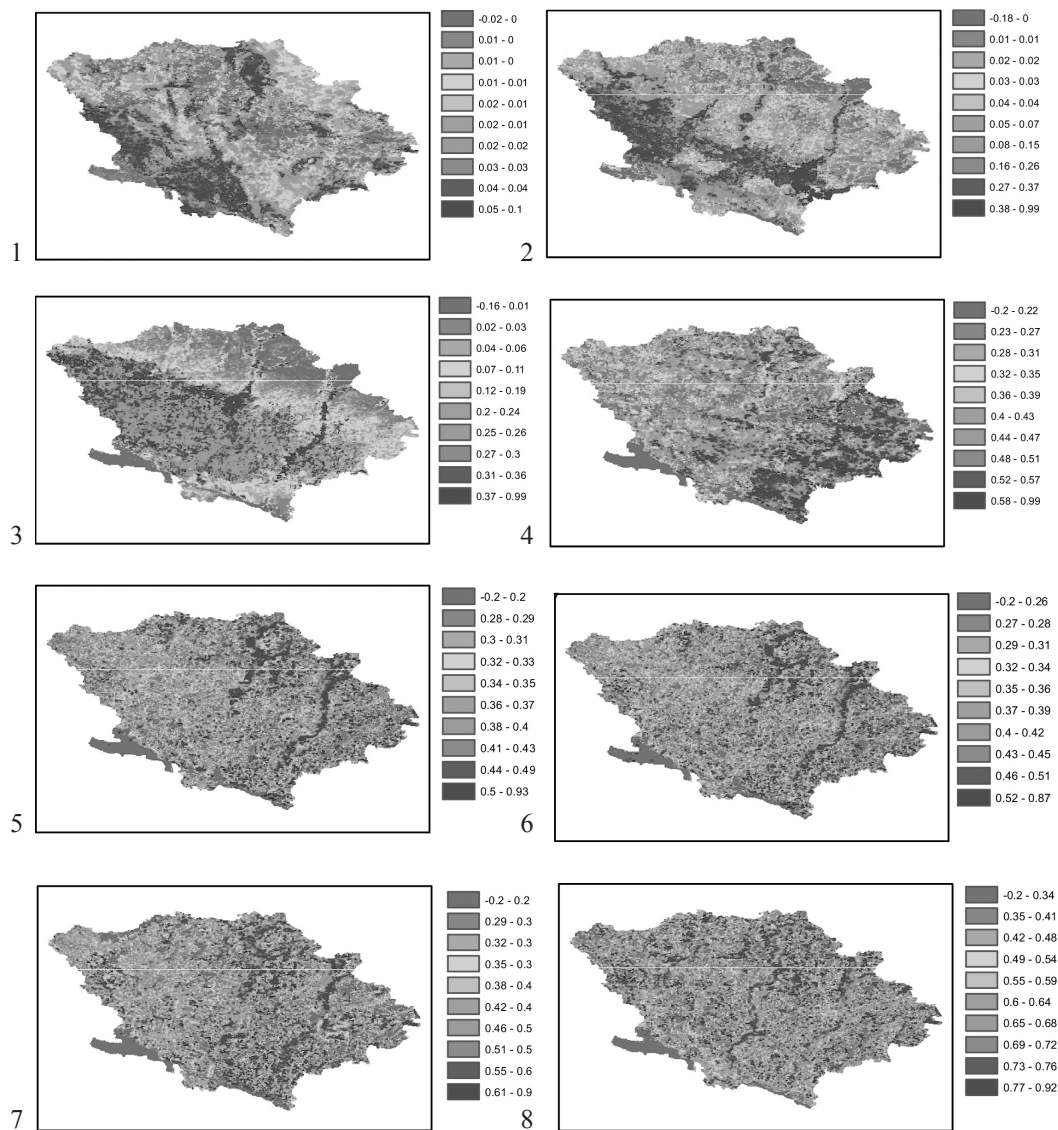


Рис. 1. Просторове варіювання індексу NDVI у межах Полтавської області в 2014 р.:
 1 – 18 доба з початку року (19 січня); 2 – 38 доба (8 лютого); 3 – 50 доба (20 лютого);
 4 – 66 доба (8 березня); 5 – 86 доба (28 березня); 6 – 98 доба (9 квітня);
 7 – 114 доба (28 квітня); 8 – 130 доба (11 травня)

Розбіжності типів покриття стосуються загального рівня індексу, який є специфічним для типів покриття, а також деяких особливостей форми динаміки. Так, водна поверхня та деградовані землі (рис. 3, № 0 та 11) характеризуються найнижчими рівнями індексу NDVI протягом року. За цією особли-

вістю вказані типи покриття принципово відрізняються від інших типів. Серед сукупності інших типів урбанізовані землі (№ 9) мають низький рівень фітомаси, визначений у термінах індексу NDVI. Широколистяні (№ 4) та змішані (№ 2) ліси характеризуються найвищою фітомасою. Вузьколистяні (№ 7) та

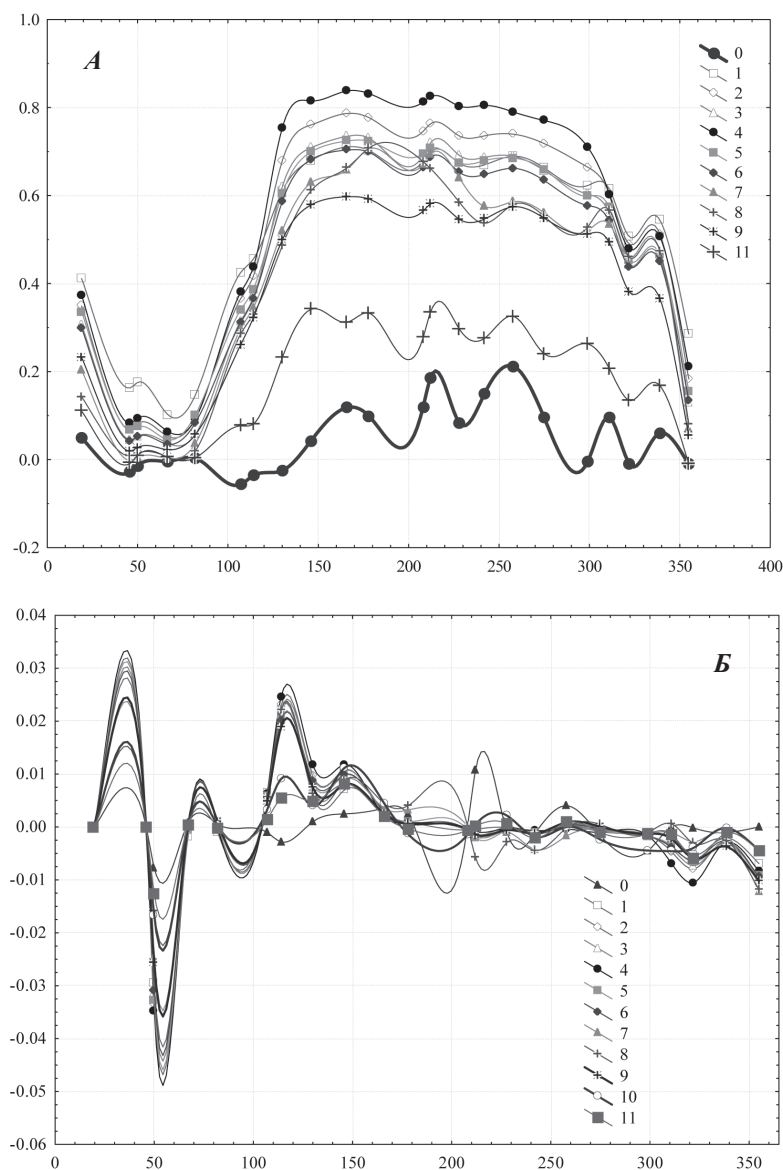


Рис. 2.
Динаміка індексу
NDVI (А)
швидкість його
приросту в одиницю
часу (В) по типах
покриву Землі (PFT)
в межах Полтавської
області у 2012 році:
ось абсцис – порядок
добі з початку року;
1, ..., 11 – тип покриву
землі (рис. 3)

широколистяні (№ 8) культури відрізняються порівняно низьким рівнем індексу NDVI, ніж у природних екосистем протягом всього року, за винятком середньої частини літа, коли відбувається значне зростання індексу NDVI. Динаміка індексу NDVI таких типів сільгоспугідь дуже подібна, але спостерігається розбіжність у часі згаданого максимуму фітомаси. Пік фітомаси широколистяних культур спостерігається дещо раніше, ніж вузьколистяних.

Проведений аналіз свідчить про те, що ландшафтно-екологічне різноманіття території може бути інтерпретоване в термінах динаміки рослинного покриву. Кожен тип ландшафтного покриву формує специфічний часовий патерн динаміки рослинності. Ця фенологічна динаміка при відносно константній ландшафтній обстановці в межах певного часового періоду може відрізнятися по роках. “Дозволений діапазон” відхи-

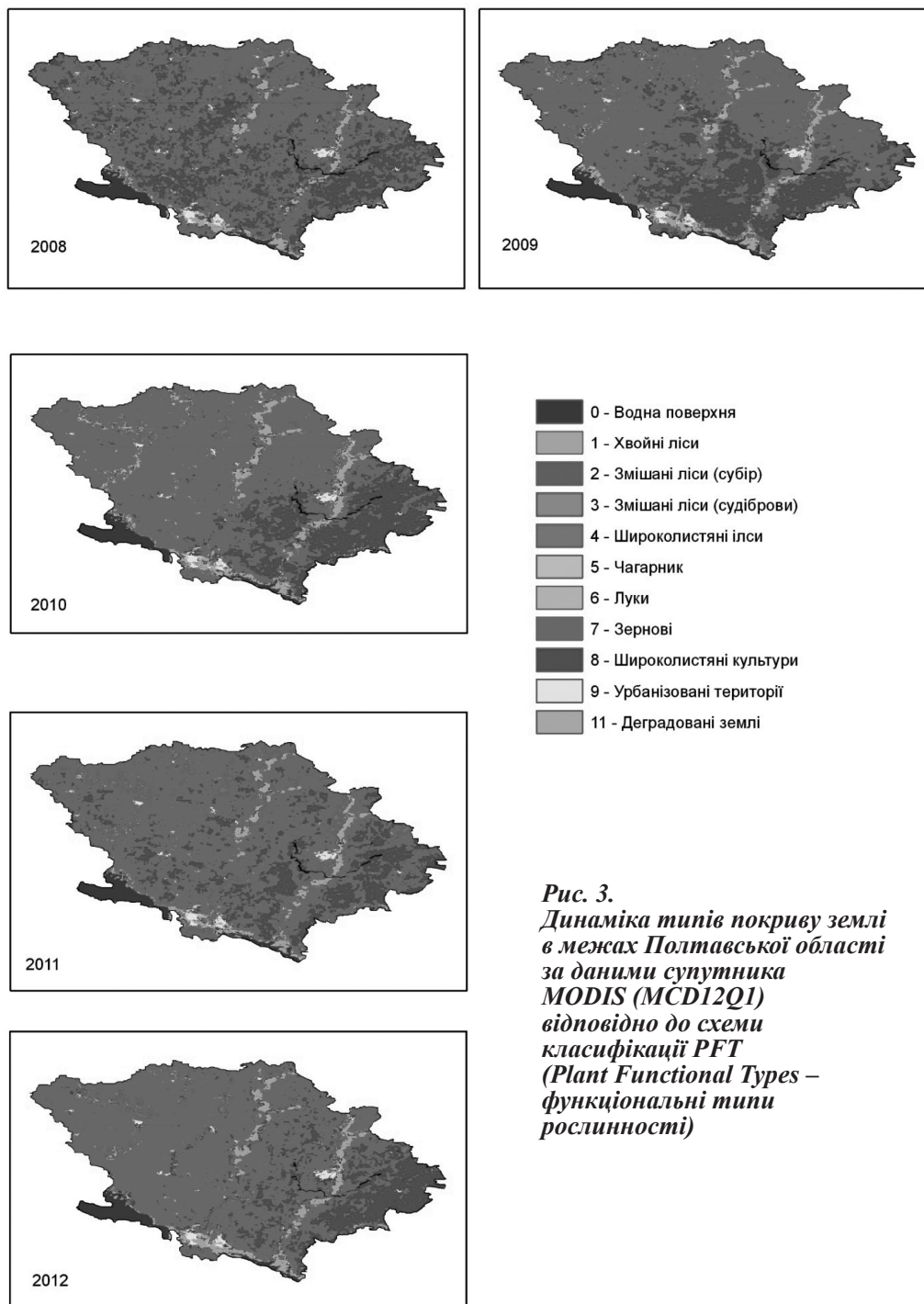


Рис. 3.
*Динаміка типів покриття землі
в межах Полтавської області
за даними супутника
MODIS (MCD12Q1)
відповідно до схеми
класифікації PFT
(Plant Functional Types –
функціональні типи
рослинності)*

лень фенологічної динаміки визначається типом ландшафтно-екологічного покриву. Конкретна реалізація залежить від характеру типологічно визначеного модусу реакції ландшафтної системи на кліматичну обстановку з плином часу протягом даного року. Біогеоценологія постулює наявність функціонального зв'язку зооценозу з фітоценозом та кліматом. Але загальна концепція про всебічний зв'язок усього з усім потребує визначення конкретної форми цього зв'язку.

Аналіз одержаних даних свідчить про те, що на фоні загальної подібності динаміки фітомаси в межах адміністративних районів можна встановити періоди, коли спостерігаються найбільші відмінності між ними (рис. 4). Особливості динаміки найбільш чітко проявляються за графічного відображення швидкості мінливості у часі (похідної) індексу NDVI. Так, швидкість зменшення фітомаси наприкінці зимового періоду суттєво відрізняється по адміністративних районах

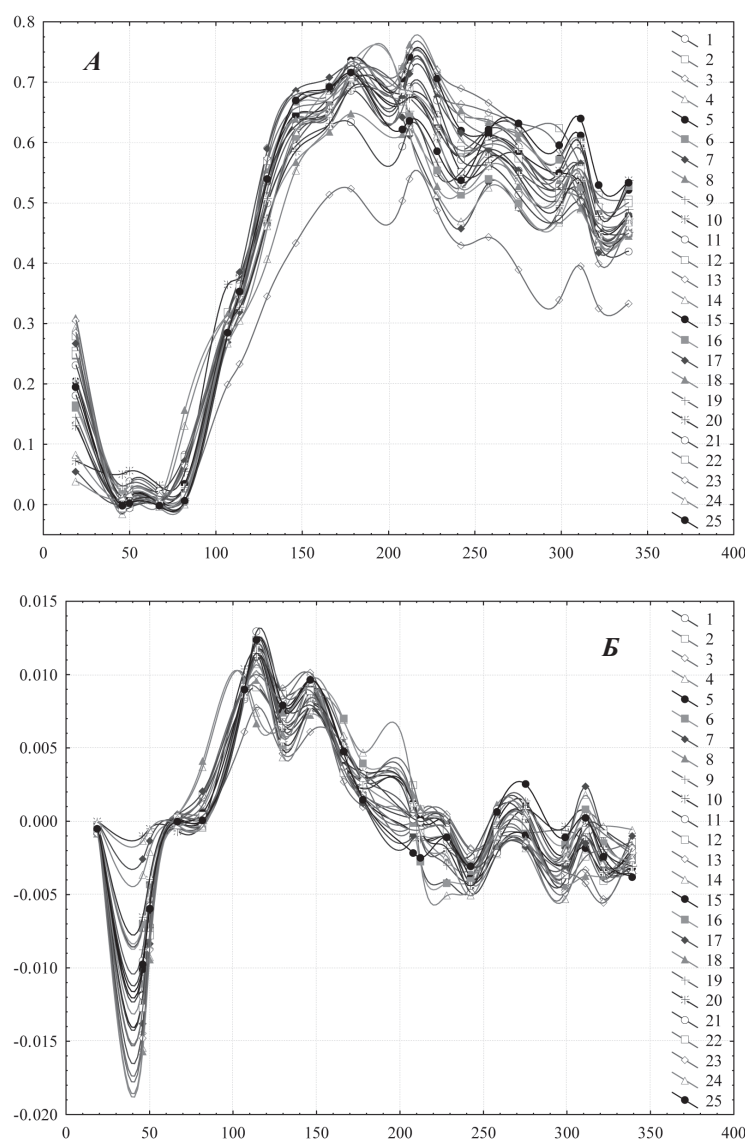


Рис. 4.
Динаміка індексу
NDVI (А),
швидкість його
приросту в одиницю
часу (В) по районах
Полтавської області
у 2012 році:
ось абсцис – порядок
добі з початку року;
1, ..., 25 – райони області

області. Відмінності спостерігаються також за термінами початку весняного періоду, який можна визначити по максимуму швидкості збільшення фітомаси. Цей період чітко маркується піком похідної на 100–120 добу року. Другий пік маркує період “сільськогосподарської весни”, коли активно сходять посіви. Цей період чітко позначений на графіках, але за ним райони мало відрізняються між собою. “Фенологічне літо” настає, коли період активного накопичення фітомаси змінюється періодом її зменшення. На графіку індексу NDVI важко точно визначити цей період, а на графіку похідної точно встановлюється відповідна точка перетину осі абсцис. Цей момент

відбувається в районах у різний період з діапазоном 180–240 діб з початку року. Відповідно, за показником фенологічного літа спостерігаються суттєві відмінності між районами.

Відмінності між районами, які встановлені для динаміки індексу NDVI, можна застосувати в обґрунтуванні особливостей динаміки чисельності шкідливих комах. Вірогідно, різна динаміка фенологічних фаз у різних територіях області може бути маркером кліматичних змін, а власне стан рослинного покриву, який відображається в тому числі фенологічною динамікою, може безпосередньо впливати на популяції шкідників або хижих тварин, які контролюють чисельність фітофагів.

Висновки

1. Дані дистанційного зондування поверхні Землі MODIS надають вичерпну інформацію про динаміку рослинного покриву в часі та просторі на масштабовому рівні регіону та адміністративних районів.

2. Похідна, яка одержана внаслідок числового диференціювання ряду зональних індексів NDVI, дозволяє більш чітко визначити критичні періоди у фенології рослинності.

3. Ландшафтно-екологічне різноманіття тери-

торії можна інтерпретувати в термінах динаміки рослинного покриву. Кожен тип ландшафтного покриву формулює специфічний часовий патерн динаміки рослинності.

4. Фенологічна динаміка за відносно константної ландшафтною обстановки в межах певного часового періоду може відрізнятися по роках. “Дозволений діапазон” відхилення фенологічної динаміки визначається типом ландшафтно-екологічного покриву.

Бібліографія

1. Герасимов И.П. Основы почвоведения и географии почв / И.П. Герасимов, М.А. Глазовская. – М., 1960. – 236 с.

2. Пространственная агроэкология и рекультивация земель: монография / А.А. Демидов, А.С. Кобец, Ю.И. Грицан, А.В. Жуков. – Днепропетровск: Изд-во “Свидлер А.Л.”, 2013. – 560 с.

3. Ландшафтная экология как основа пространственного анализа продуктивности агроценозов / А.В. Жуков, О.Н. Кунах, Г.А. Задорожная, Е.В. Андрусевич // Экология та ноосферология. – 2013. – Т. 24, № 1–2. – С. 68–80.

4. Козлов Д.Н. Инвентаризация ландшафтного покрова методами пространственного анализа для целей ландшафтного планирования / Д.Н. Козлов // Тр. Междунаrodn. шк.-конф. “Ландшафтное планирование. Общие основания. Методология. Технология”. – М.: Геогр. факт. МГУ, 2006. – С. 117–137.

5. Отображение пространственного варьирования свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной информации и цифровой модели рельефа / Д.Н. Козлов, М.Ю. Пузаченко, М.В. Федяева, Ю.Г. Пузаченко // Известия РАН. – 2008. – № 4. – С. 112–124. – (Серия: Географическая).

6. Козловский Ф.И. Теория и методы изучения почвенного покрова / Ф.И. Козловский. – М.: ГЕОС, 2003. – 536 с.

7. Методологические основания отображения элементарных геосистемных процессов / Ю.Г. Пузаченко, М.В. Федяева, Д.Н. Козлов, М.Ю. Пузаченко // Совре-

менные естественные и антропогенные процессы в почвах геосистем. – М.: Изд-во Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 2006. – С. 13–52.

8. Хорошев А.В. Современное состояние ландшафтной экологии / А.В. Хорошев, Ю.Г. Пузаченко, К.Н. Дьяконов // Известия АН. – 2006. – № 5. – С. 12–21. – (Серия: Географическая).

9. Belward A.S. The IGBP-DIS Global 1-km Land-Cover Data Set DISCover: A Project Overview / A.S. Belward, J.E. Estes, K.D. Kline // Photogrammetric, Engineering and Remote Sensing. – 1999. – 65. – P. 1013–1020.

10. The land surface climatology of the community land model coupled to the NCAR community land model / G.B. Bonan, K.W. Oleson, M. Vertenstein, S. Levis, X.B. Zeng, Y. Dai // Journal of Climate. – 2002. – 15. – P. 3123–3149.

11. Global land cover classification at the 1km spatial resolution using a classification tree approach / M.C. Hansen, R.S. DeFries, J.R.G. Townshend, R. Sohlberg // International Journal of Remote Sensing. – 2000. – 21. – P. 1331–1364.

12. Myneni R.B. Estimation of global leaf area index and absorbed PAR using radiative transfer model / R.B. Myneni, R.R. Nemani, S.W. Running // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 1997. – 35. – P. 1380–1393.

13. Running S.W. A vegetation classification logic based on remote sensing for use in global scale biogeochemical models / S.W. Running, T.R. Loveland, L.L. Pierce // Ambio – 1994. – 23. – P. 77–81.

Рецензент – доктор біологічних наук, професор І.Х. Узбек