

УДК 528.8.04:574.4 (477)

Вивчення динаміки середньорічних показників валової первинної продуктивності території України впродовж 2000–2010 років

В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак*, О. А. Апостолов

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

За даними продукту MOD17 розраховано середньорічні показники валової первинної продуктивності (GPP) для кожної адміністративної області України та АПК і проаналізовано їх варіабельність впродовж 2000–2010 рр. Встановлено амплітуду коливання дослідженого параметра (від 0.5 до 1.25 кг С/м² за рік) та виділено три відмінні за продуктивністю частини території України. Описано міжрічну динаміку GPP різних регіонів держави.

Ключові слова: дистанційне зондування, валова первинна продуктивність, MOD17, супутниковий моніторинг

© В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак, О. А. Апостолов. 2016

Вступ

Одними з ефективних індикаторів агровиробництва та екологічного стану територій для безпечного використання продовольчих та водних ресурсів є показники валової первинної продуктивності (GPP) та чистої первинної продуктивності (NPP) рослинного покриву. З метою опрацювання цього питання у ЦАКДЗ ІГН НАНУ розпочато дистанційні дослідження динаміки та загальної суми поглинання CO₂ в межах різних класів рослинного покриву, зокрема, посівів основних сільськогосподарських культур в окремих областях України [6]. Джерелом супутникових даних були знімки стандартного продукту MOD17 (проект MODIS), який спеціально розроблено для постійного відстежування росту рослинності на всій наземній поверхні планети. Показники GPP та NPP постачаються з борту супутників Terra і Aqua практично в режимі реального часу ще з початку 2000 року і нині знайшли широке застосування в різних напрямках ландшафтно-екологічного аналізу та моделювання динаміки стану наземної рослинності в мінливих умовах довкілля [8, 10]. В Україні ці продукти крім агроорієнтованого аспекту використовувались також при оцінюванні кореляційних зв'язків між GPP і NPP та різними вегетаційними параметрами лісових формацій Західного Полісся і кліматичними чинниками [5] та для оцінки невизначеностей розрахунків продуктивності рослинного покриву і формування вуглецевого балансу на прикладі Львівської, Волинської, Рівненської та Житомирської областей [3]. Оскільки Україна за своєю площею займає друге місце в Європі і характеризується високим природно-ресурсним потенціалом, то, маючи в розпорядженні сучасні супутникові знімки MOD17 A3 з річни-

ми оцінками GPP та NPP, важливо дослідити, яким чином простежується вплив розмаїття природних умов на загальну продуктивність рослинного покриву нашої держави.

Метою цієї статті є оцінка просторово-часової варіабельності середньорічних показників GPP за супутниковими даними MOD17 впродовж 2000–2010 рр. в межах всіх адміністративних областей території України.

Методика

Дані продукту MOD17 є у вільному доступі і нами отримані через сайт Numerical Terradynamic Simulation Group. Для підрахунків GPP та NPP в межах адміністративних областей пікселі продукту MOD17 A3 були трансформовані в координатну систему WGS 84 та суміщені з контурами областей, які формують один з шарів цифрової топографічної карти України. Це дозволило виділити для розрахунків GPP та NPP тільки ті пікселі (розрізненістю 1×1 км), які приурочені до території кожної окремої області. Більше того, пікселі, на які була накладена маска продукту MOD17 A3 (населені пункти, водні об'єкти), не враховувались для визначення сумарної площі рослинного покриву при оцінках питомого значення GPP та NPP області. Зокрема, на рис. 1, як приклад, різними кольорами показано розподіл сумарних річних значень GPP для центральних, південних та східних областей України за 2010 рік за даними продукту MOD17 A3. Праворуч, на рис. 1 наведено виділений фрагмент для Дніпропетровської області. Білі пікселі фактично відображають маску продукту MOD17 A3 і ці пікселі відкидалися при розрахунках.

На основі цих супутникових даних для розрахункової площі кожної області обчислені середньорічні показники валової первинної продуктивності,

* E-mail: zhgm@casre.kiev.ua

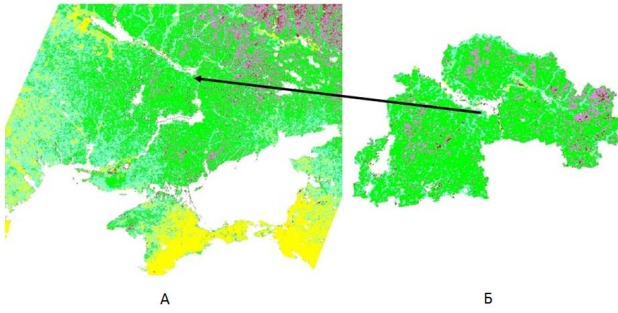


Рис. 1. Розподіл сумарних річних значень GPP рослинного покриву для центральних, південних та східних областей України за 2010 рік за даними продукту MOD17 A3 (А). Виділений фрагмент праворуч — територія Дніпропетровської області (Б): річні значення GPP у $C\text{ кг}/M^2$: коричневий колір — менше 0.4; фіолетовий: 0.4–0.55; зелений: 0.55–0.7; аквамариновий — 0.7–0.9, жовтий — понад 0.9; білий колір — маска продукту MOD17 A3 (вода, населені пункти)

сформованої внаслідок поглинання вуглецю всім рослинним покривом в межах досліджуваної обласної адміністративної одиниці.

Результати

Для зручності аналізу спочатку виконана спроба зіставлення географічно близьких між собою областей. Зокрема, для цього використано поділ України на 5 регіонів: захід, північ, схід, південь та центр (рис. 2), здійснений фахівцями Українського гідрометеорологічного інституту з метою виявлення та врахування можливих територіальних відмінностей у змінах кліматичних характеристик [2].

Як зазначають автори [2], під час цього районування враховувались такі параметри: подібність фізико-географічних умов, однотипність прояву кліматоутворюючих чинників, відносна однорідність кліматичних полів температури та опадів та адміністративно-територіальний поділ держави. Останній чинник враховувався, щоб адаптувати дані досліджень для стратегічного планування ведення господарства та розвитку регіонів. Розраховані за да-

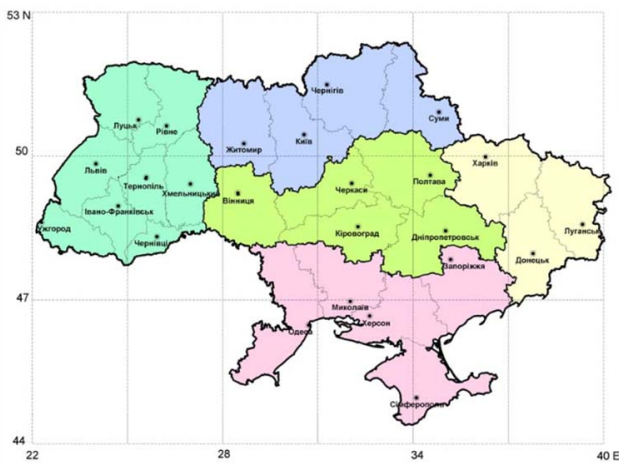


Рис. 2. Поділ території України на 5 регіонів із зазначенням обласних центрів [2]

ними MOD 17 середньорічні показники GPP в межах кожної області були об'єднані в групи згідно з картою, поданою на рис. 2, і для зручності аналізу побудовані графіки їх міжрічних коливань (рис. 3, 4).

На рис. 3 (А), який відображає міжрічні коливання середньорічних значень GPP для західного регіону України, чітко помітно дві пари областей, які мають майже тотожну динаміку питомої величини GPP за рік впродовж всього періоду спостережень (2000–2010 рр.). Це Тернопільська та Хмельницька області зі значеннями GPP від 0.081 до 0.917 $кг\ C/M^2$ та Рівненська і Волинська зі значеннями GPP від 0.926 до 1.038 $кг\ C/M^2$.

Інші чотири західні області характеризуються щорічною питомою величиною GPP більше 1 $кг\ C/M^2$ і порівняно незначними відмінностями. Зокрема, Буковина, Львівщина, Прикарпаття та Закарпаття в порядку зростання параметрів річної валової первинної продуктивності відрізняються між собою так: кожна наступна область має значення GPP приблизно на 0.05 $кг\ C/M^2$ вищі від попередньої. Як видно з графіків на рис. 3 А, середньорічні значення GPP західних областей мають вигляд злегка хвилястих ліній, тобто їм не властиві значні міжрічні коливання.

Подібна форма ліній динаміки властива й середньорічним значенням GPP північних областей (рис. 3, Б). Варто звернути увагу, що серед областей півночі України найвищими показниками відрізняється Житомирщина. В той же час Київська, Чернігівська та Сумська області подібні між собою як за середньорічними значеннями GPP, так і за траєкторіями ліній їх міжрічних змін.

На відміну від північних та західних областей динаміка середньорічних значень GPP інших обласних адміністративних одиниць України має вигляд ломаних ліній із западинами та підняттями, а за величиною показники валової первинної продуктивності в жодній області впродовж одинадцяти проаналізованих років не перевищують 0.887 $кг\ C/M^2$ (рис. 4). Серед центральних областей найвищими показниками GPP відзначається Вінниччина, яка не зазнала суттєвого зниження валової продуктивності у посушливому 2002 р. Всі решта області цієї частини України мають як мінімум дві западини — періоди виразного зменшення валової продуктивності — у 2002 та у 2007 роках. Особливо чітко ці западини простежуються на графіках зміни GPP східних областей, де між окремими областями практично немає відмінностей: всі три адміністративні одиниці сходу України демонструють майже тотожну конфігурацію ліній динаміки середньорічних значень GPP за період 2000–2010 рр. (рис. 4, Б). Все ж зменшення GPP було суттєвішим для всіх областей у 2007 році, коли природа України потерпала від сильної посухи. Тоді найнижчі показники середньорічних значень GPP були характерні для Миколаївської, Херсонської, Запорізької та Дніпропетровської областей і коливались в межах 0.476–0.491 $кг\ C/M^2$,

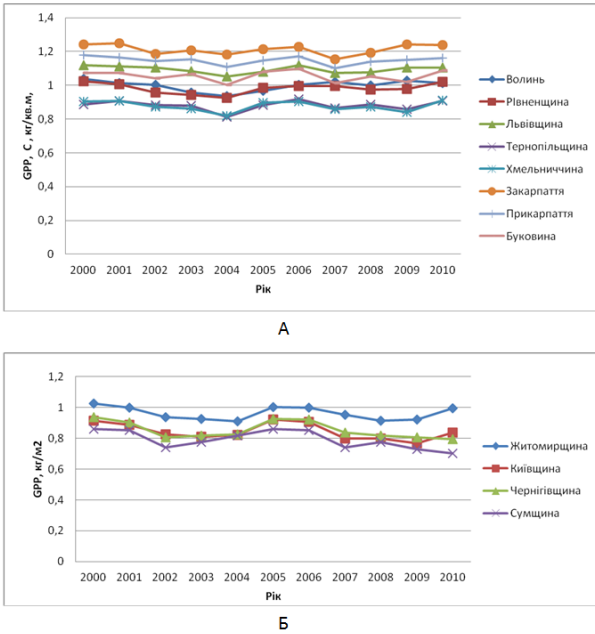


Рис. 3. Середньорічні значення GPP західних (А) та північних (Б) областей України

тобто вони були практично вдвічі менші від аналогічних показників цього року, одержаних для західних областей України (без Тернопільщини та Хмельницьчини). Для центральних та південних областей було виявлено певне зниження показників GPP ще й у 2009 році, якщо порівнювати цей рік з 2008 та 2010, але воно не досягало таких низьких значень як у 2007 році (коливання між 0.554 та 0.668 кг С/м²).

Найбільше виразних “зигзагів” можна помітити на лініях динаміки середньорічних значень GPP південних областей (рис. 4, В). У роки з достатнім водозабезпеченням адміністративні одиниці цієї частини України формують непогані показники валової первинної продуктивності (наприклад, Одещина у 2004 і 2010 роках сягала значень GPP відповідно 0.821 та 0.859 кг С/м²), але при нестачі вологи цей показник різко падає. Власне саме південні області відреагували зниженням GPP також і в 2003 році, коли там спостерігались посушливі явища.

Якщо ж всі області України за динамікою їх валової первинної продуктивності звести воедино, то отримаємо зведений графік міжрічних коливань середньорічних значень GPP (рис. 5). На ньому можна виокремити такі три групи областей.

Перша група об’єднує області, лінії динаміки яких розташувались вгорі малюнка, що свідчить про досить високі значення GPP (понад 0.9 кг С/м², тобто близько 1 кг С/м² або більші за цю величину). Водночас коливання їх GPP з року в рік порівняно невеликі. Сюди належать більшість західних областей (Закарпаття, Прикарпаття, Буковина, Львівщина, Волинь, Рівненщина) та північна Житомирська область.

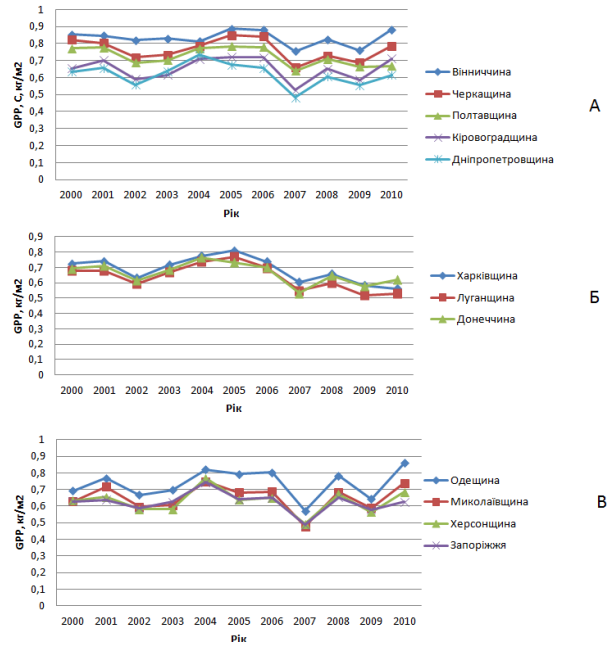


Рис. 4. Середньорічні значення GPP центральних (А), східних (Б) та південних (Б) областей України

Другу групу утворюють області зі середніми значеннями річного GPP, які варіюють в межах від 0.659 кг С/м² на Черкащині 2007 р. до 0.927 кг С/м² на Чернігівщині у 2005 р. Це так звана збірна група, бо вона охоплює дві західні області — Тернопільську та Хмельницьку, дві центральні — Вінницьку та Черкаську, та три північні — Київську, Чернігівську та Сумську. З 2000 до 2004 року середньорічні значення GPP областей цієї групи не зазнають значних коливань, хіба що на Сумщині у 2002 році спостерігається певне зниження цього показника. Після 2004 року різку варіабельність крім Сумщини можна побачити ще й на лініях динаміки річного GPP Київщини та Вінниччини. У 2004 р. практично всі ці області демонструють майже однаковий показник GPP

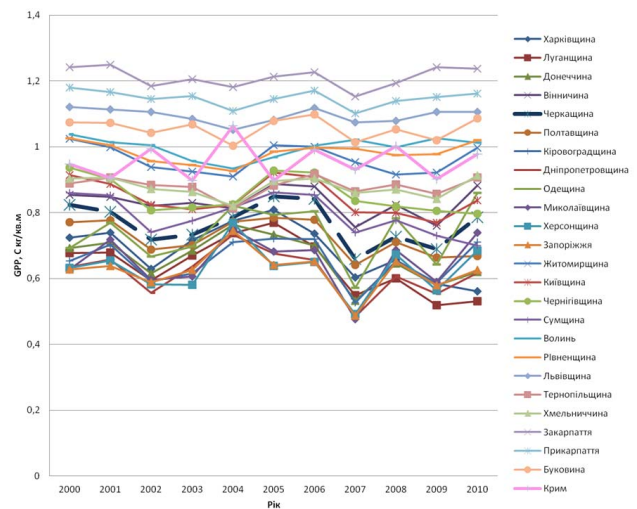


Рис. 5. Середньорічні значення GPP областей України та АР Крим

($0.816\text{--}0.824\text{ кг С/м}^2$). Так на зведеному графіку формується своєрідний “вузол”, трохи нижче якого знаходиться Черкаська область зі своїм показником середньорічного GPP за 2004 р., що становить 0.785 кг С/м^2 . Лінія динаміки GPP цієї області є свого роду межею, кордоном, що відділяє другу групу областей від решти адміністративних одиниць із порівняно нижчим значенням GPP.

Третя група, графіки якої розташовуються нижче лінії GPP Черкащини, має помірні значення GPP, які, як правило, не перевищують 0.8 кг С/м^2 і коливаються від 0.487 кг С/м^2 на Запоріжжі у 2007 р. до 0.808 кг С/м^2 на Харківщині у 2005 р. Це найчисленніша за кількістю областей група, до якої належать крім південних та східних ще й три центральні: Дніпропетровська, Кіровоградська та Полтавська (всього десять адміністративних одиниць). Лінії динаміки GPP цих областей мають виразну ламану форму впродовж всього періоду спостережень, що свідчить про чітку залежність валової продуктивності цієї частини України від рівня забезпечення водними ресурсами під час періоду вегетації рослинності. При нестачі вологи показники GPP падають (посушливі 2002, 2003, 2007 рр.), а у сприятливі роки (2001, 2004, 2008 рр.) — зростають. Найбільший діапазон коливань GPP спостерігається для Одеської області (від 0.571 кг С/м^2 у 2007 р. до 0.859 кг С/м^2 у 2010 р.), причому на графіку добре помітно, що у 2004–2006, 2008 та 2010 рр. параметри GPP Одещини перевищують значення, властиві іншим областям цієї групи, і навіть пересікають лінію динаміки GPP Черкащини.

Особливої уваги заслуговує поведінка середньорічних значень GPP в межах АР Крим. Тільки у 2003 та 2005 рр. показники GPP тут опускались ненабагато нижче від 0.9 кг С/м^2 (відповідно 0.897 та 0.898 кг С/м^2). В інші роки значення GPP знаходяться в тій же частині малонка, де розташовані лінії динаміки переважної кількості західних областей.

Проте, хоча за більшістю значень GPP ця територія і належить до першої групи областей, але через наявність степових екосистем вона є досить чутливою до погодних умов і лінія динаміки її середньорічних значень GPP є зигзагоподібною.

Вище описані відмінності параметрів GPP показано на карті України (рис. 6).

При зіставленні рисунків 2 і 6 слід відзначити незбіжність географічно-адміністративного поділу України з її різними за продуктивністю частинами. Зокрема, високопродуктивна частина формується за рахунок західних областей (за винятком Тернопільської та Хмельницької) та північної Житомирської області. Практично більша частина Поділля (Тернопільська, Хмельницька та Вінницька області) разом з рештою північних областей та центральною Черкаською областю складають нормально продуктивну частину території України. А інші адміністративні області (три центральні —



Рис. 6. Поділ території України на частини згідно з середньорічними обласними показниками GPP за 2000–2010 рр. 1 — високопродуктивна, 2 — нормально продуктивна, 3 — АР Крим, високо варіабельна, високопродуктивна, біле тло — помірно продуктивна частина території України

Полтавська, Кіровоградська та Дніпропетровська, східні та південні без АРК) належать до помірно продуктивної частини території держави. Окремо виділено територію АР Крим, що зумовлено особливостями поведінки її середньорічних значень GPP, про які вже йшлося вище.

Обговорення

Отже, нами було встановлено, що за даними MOD 17 значення GPP на території України впродовж 11 років коливаються в діапазоні від 0.487 кг С/м^2 на Запоріжжі у 2007 р. до 1.25 кг С/м^2 на Закарпатті у 2001 р. Для порівняння ці цифри зіставлені з отриманими за допомогою цього ж продукту і усередненими за три роки (2001–2003 рр.) річними показниками валової первинної продуктивності для різних типів земної поверхні планети [9]. В цій публікації Zhao M. [et al.] повідомляють, що сільськогосподарським землям та зімкнутим чагарникам властиві значення GPP відповідно 721 і 868 г С/м^2 , мішаним лісам — $1\,125\text{ г С/м}^2$, а листопадним широколистяним лісам — $1\,366\text{ г С/м}^2$. Для неущільнених чагарників та пасовищ характерні показники GPP нижче 400 г С/м^2 . Оскільки більша частина території України має середньорічні значення GPP між $0.6\text{--}1\text{ кг С/м}^2$, то це свідчить про переважання тут агроландшафтів та зімкнутих чагарникових насаджень. Отримані значення узгоджуються з дійсністю, бо відомо, що сільськогосподарські угіддя України становлять 69% усієї земельної площі [1]. Ділянки, де середньорічні значення GPP перевищують 1 кг С/м^2 , відповідають лісовкритим площам країни.

Отримана нами карта (рис. 6) має ознаки схожості з картою розподілу середньої тривалості вегетаційного періоду за період 1961–1990 рр. (рис. 7), складеною фахівцями Інституту економіки та прогнозування НАНУ у співпраці з Міжнародним Інститутом прикладного системного аналізу (IIASA) [4]. Зокрема ними було виконано дослідження земель-

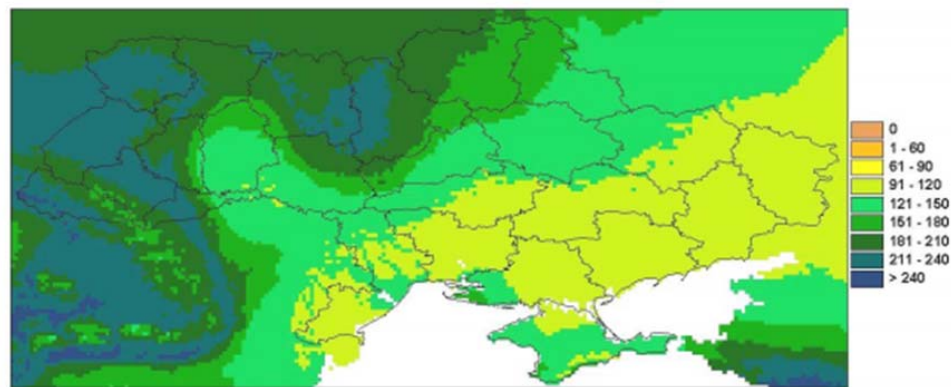


Рис. 7. Карта розподілу середньої тривалості вегетаційного періоду (днів) за період 1961–1990 рр. [4]

ного потенціалу України за методологією агроекологічного зонування (АЕЗ), яка дозволяє кількісно оцінити продуктивність різних типів землі для різних сільськогосподарських культур і систем організації виробництва. В рамках цього дослідження на основі середніх кліматичних даних територіального розподілу опадів та суми активних температур за період 1961–1990 рр. було створено карту просторового розподілу тривалості доступного періоду вирощування для всієї території України (рис. 7).

Як зазначають автори, західні і північно-західні регіони, практично вся Житомирська і Київська області характеризуються у середньому найбільш тривалим вегетаційним періодом, сприятливим для землеробства — 210–240 і більше днів. Водночас, більшість території країни характеризується вегетаційним періодом, який триває близько 120–150 днів. Починаючи з південного сходу Одеської області, через Миколаївську і Херсонську області і далі на схід простягається широка смуга територій з найменшим вегетаційним періодом довжиною 90–120 днів. На крайньому сході вона охоплює всю Донецьку і Луганську області.

Як бачимо, регіони з тривалим вегетаційним періодом майже відповідають високопродуктивній частині території, за винятком Київської та Тернопільської областей. Ці дві області в XXI ст. за даними середньорічних показників GPP формують перелік областей з нормальною продуктивністю, що відповідає тривалості вегетаційного періоду 120–150 днів. В той же час Полтавська та Харківська області на підставі GPP за MOD 17 демонструють більшу схожість зі степовими регіонами держави, де довжина вегетаційного періоду становить 90–120 днів. Отже, при зіставленні рис. 6 та 7 простежується як схожість між загальною конфігурацією частин України стосовно поділу території на три частини за показниками валової первинної продуктивності та за тривалістю вегетаційного періоду, так і деякі відмінності в розмірах окремих з цих частин. Отриману подібність можна обґрунтувати спираючись

на відомий факт про те, що основними екологічними чинниками, які пояснюють різницю між екосистемами в засвоєнні вуглецю, є тривалість часу, впродовж якого складаються умови, придатні для фотосинтезу, та ґрунтові ресурси (вода, поживні речовини), доступні для формування та забезпечення функціонування площі листової поверхні рослинності в конкретній екосистемі [7]. Відмінності, в першу чергу, пов'язані з різним відтинком часу, який брався до аналізу: Міщенко Н. М., Гуменюк К. В. [4] склали його для періоду 1961–1990 рр., а наші дослідження GPP за MOD 17 стосуються новітнього періоду 2000–2010 рр. Крім того, якби наші дослідження проводились не на рівні області, а на рівні адміністративних районів, то можна було б отримати більш детальну карту мінливості показників продуктивності.

Висновки

Таким чином, на підставі аналізу динаміки середньорічних значень GPP обласних адміністративних одиниць України впродовж 11 років можна зробити такі висновки.

1. За величиною показників первинної валової продуктивності територія України розділяється на три частини:

- високопродуктивна зі середньорічними значеннями GPP від 0.9 до 1.25 кг С/м²;
- нормально продуктивна зі середньорічними значеннями GPP від 0.7 до 0.9 кг С/м²;
- помірно продуктивна зі середньорічними значеннями GPP від 0.5 до 0.85 кг С/м².

2. Високопродуктивні області на відміну від інших мають меншу міжрічну варіабельність показників, за винятком АР Крим. Водночас помірно- та нормально продуктивні частини України демонструють порівняно великі міжрічні коливання показників GPP, особливо це справедливо для південних та східних областей.

Для того, щоб отримані дистанційно значення первинної продуктивності розглядати як такі, що

характеризують рівень поглинання вуглекислого газу рослинним покривом, слід аналогічно вивчити варіабельність показників NPP, котрі формуються з урахуванням витрат органіки на дихання самих продуцентів, що планується здійснити в наступних роботах.

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Державного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом N Ф64/25-2015.

Література

1. Екологічні проблеми землеробства / І. Д. Примак, Ю. П. Манько, Н. М. Рідей [та ін.]; За ред. І. Д. Примака. — К.: Центр учбової літератури, 2010. — 456 с.
2. Звіт про науково-дослідну роботу “Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньота довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей” [Електронний ресурс] / К., 2013. — Режим доступу: <http://uhmi.org.ua/project/rvndr/climate.pdf>.
3. Костюченко Ю. В. Оцінка невизначеностей при визначенні продуктивності рослинного покриву та формуванні вуглецевого балансу територій за даними ДЗЗ / Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, І. Г. Артеменко, Ю. Г. Білоус // Геоінформатика. — 2013 / — №3. — С. 67–75.
4. Міщенко Н. М. Оцінка потенціалу сільськогосподарських земель України за методологією агроекологічного зонування ФАО / Н. М. Міщенко, К. В. Гуменюк // Економіка і прогнозування. — 2006. — № 4. — С. 55–75.
5. Мовчан Д. М. Оцінка динаміки параметрів лісового покриву на території України (Західне Полісся) на основі даних дистанційного зондування. / Д. М. Мовчан // Космічна наука і технологія. — 2013. — Т. 19. — № 4. — С. 29–43.
6. Сахацький О. І. Дослідження валової первинної продуктивності основних сільськогосподарських культур центральних та південних областей України з використанням супутникового продукту MOD17 / О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак // Доповіді НАНУ. — 2015. — №10. — С. 40–48.
7. Chapin, F. Stuart (Francis Stuart), III Principles of terrestrial ecosystem ecology / F. Stuart Chapin III, Pamela A. Matson, Harold A. Mooney. — New York: Springer-Verlag — 2002. — 392 s.
8. Pan S. Modeling and Monitoring Terrestrial Primary Production in a Changing Global Environment: Toward a Multiscale Synthesis of Observation and Simulation [Електронний ресурс] / S. Pan, H. Tian, S. R. S. Dangal [et al.] // Advances in Meteorology. — V. 2014, Article ID 965936, 17 p.— 2014. Режим доступу: <http://www.hindawi.com/journals/amete/2014/965936/cta/>.
9. Zhao M. S. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set / M. S. Zhao, F. A. Heinsch, R. R. Nemani, S. W. Running // Remote Sensing of Environment.— 2005.— V. 95, N 2— P. 164–176.
10. Zhao M. MODIS-Derived Terrestrial Primary Production / M. Zhao, S. Running, F. A. Heinsch, R. R. Nemani // Land Remote Sensing and Global Environmental Change: NASA's Earth Observing System and the Science of ASTER and MODIS — Springer Science+BusinessMedia, LLC. — 2011 — P. 635–660.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ СРЕДНЕГОДОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАЛОВОЙ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ В ТЕЧЕНИЕ 2000–2010 гг.

В. И. Лялько, А. И. Сахацкий, Г. М. Жолобак, А. А. Апостолов

По данным продукта MOD17 рассчитаны среднегодовые показатели валовой первичной продуктивности (GPP) для каждой административной области Украины и АРК и проанализирована их вариабельность в течение 2000–2010 гг. Установлена амплитуда колебания исследованного параметра (от 0.5 до 1.25 кг С/м² в год) и выделены три отличающиеся по продуктивности части территории Украины. Описана межгодовая динамика GPP различных регионов страны.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, валовая первичная продуктивность, MOD17, спутниковый мониторинг

THE RESEARCH OF THE DYNAMICS OF THE ANNUAL AVERAGE OF GROSS PRIMARY PRODUCTIVITY IN UKRAINE FOR 2000–2010

V. I. Lyalko, A. I. Sakhatsky, G. M. Zhobak, A. A. Apostolov

The annual average gross primary productivity (GPP) from MOD17 has been calculated for each of the administrative regions of Ukraine and Crimea, and analyzed their variability during 2000–2010. The amplitude of fluctuations has been established for the investigated parameter (from 0.5 to 1.25 kg C / m² per year) and three regions are determined on terms of productivity of the territory of Ukraine. The interannual dynamics of GPP of various regions of the country are described.

Keywords: remote sensing, gross primary productivity, MOD17, satellite monitoring