

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СТОКУ (АБСОРБЦІЇ РОСЛИНАМИ) CO_2 ДЛЯ ОСНОВНИХ АГРОКУЛЬТУР УКРАЇНИ**2.1. Характеристика природних умов та біофізичних показників агрокультур на дослідних ділянках**

Дослідні роботи проведені в межах Лісостепової зони України (Баришівський та Фастівський райони Київської області). Вивчені процеси кругообігу вуглецю в системі “атмосфера-рослинність” для чотирьох основних агрокультур (пшениця, соняшник, кукурудза, соя).

Пшениця

Досліджувалися два поля з посівами озимої пшениці: пшениця остиста та пшениця безоста. Поле з пшеницею безостою характеризувалося більшою густиною посіву. Інформація про дослідні поля та перелік вимірів, які здійснювалися, наведені в табл. 2.1.

Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву пшениці, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси, виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю

На рис. 2.1 видно, як відбувалося обстеження поля (а) та закладання дослідних точок (б). Збір біомаси здійснювався із закладених точок на яких проводилися виміри поглинання та вивільнення діоксиду вуглецю. Всі культури зрізалися на рівні кореню, зважувалися на місці, вкладалися в пакети, підписувалися та транспортувалися до лабораторії з досліджень природних ресурсів дистанційними методами ЦАКДЗ. Після транспортування використовувалися біометричні виміри рослин: вимірялися висоти рослин, обраховувалася кількість стеблин у пробі та визначалися кількісні характеристики листя пшениці (ширина і довгота), встановлювалася їх точна кількість на стеблі, визначався етап вегетації культури.

Періодичні вимірювання листяної поверхні рослин дають можливість визначити показник, який характеризує фотосинтетичну роботу рослин за вегетацію. Цей показник називається фотосинтетичним потенціалом. Його розраховують, підсумовуючи площі листя на 1га посіву за кожний день вегетаційного періоду. Підсумування проводять графічно. В дослідях висота стебла вимірюється в період повного цвітіння або перед збором. Середню висоту рослин визначають сумою промірів всіх рослин на 1 м^2 , розділене на число рослин. Метрівки закладають в 4–8 місцях ділянки в залежності від її розміру. В наших роботах обрахунок площі листя був здійснений в одних вимірах з однієї точки, з інших в двох на одне поле. Далі здійснювався обрахунок індексу листяної площі (LAI – Leaf Area Index), який знаходиться за формулою 2.1 [7]:

$$LAI = S_L / S_A \quad (2.1)$$

де S_L – сумарна площа листя, м^2 ; S_A – площа поля ділянки, на яку розраховується індекс, м^2 .

За даними [1, 2, 4–6] є декілька розроблених методологій визначення площі листя злаків:

Метод безпосереднього визначення площі листя. Суть цього методу полягає в тому, що з типових рослин відбирають кілька проб листя, розкладають їх на папері і обводять контури. Після цього за допомогою планіметра або палетки визначають площу проб листя. Якщо кожна проба характеризується п'ятьма рослинами, то надалі визначається площа листяної поверхні однієї рослини проби, як середня з п'яти. Для прискорення здійснення обрахунків використовують сканування листків та за спеціальними графічними програмами обраховують площу листя (кількість пікселів пе

Таблиця 2. 1

Характеристика дослідних полів Барішівського району із посівами озимої пшениці

Сорт озимої пшениці	Точка досліджу	Географічні координати дослідного поля	Дати здійснення вимірів та фази розвитку, що припадали на ці дати	Виміри та обстеження, які здійснювалися
Пшениця безоста (поле з підсівом)	T1 = T60	N50 20 33 E 31 33 45,7	06.06.2014 р. 12:11 (NEE) 12:21 (ER)	Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву пшениці, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси, виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
			24.06.2014 р., молочна стиглість, 15:19 (NEE) 15:30 (ER)	Відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси, виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
			01.07.2014 р., воскова стиглість, 12:13 (NEE_1) 12:23 (ER_1) 12:38 (NEE_2) 12:47 (ER_2) 13:00 (NEE_3) 13:11 (ER_3)	Аналогічно до переліку вимірів пшениці безостої 24.06.2014
Пшениця осиста (поле без підсіву), сорт «Сонечко»	T2 = T61	N50 20 31 E 31 33 49,5	06.06.2014р. 12:47 (NEE) 12:57 (ER)	Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву пшениці, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси, виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
			01.07.2014 р., воскова стиглість, 11:00 (NEE_1) 11:10 (ER_1) 11:23 (NEE_2) 11:32 (ER_2) 11:43 (NEE_3) 11:53 (ER_3)	Аналогічно до переліку вимірів пшениці безостої 24.06.2014 р.



а)



б)

Рис. 2. 1. Обстеження поля: а) визначення густини посіву та ширини міжрядь; б) закладання дослідних точок

ремнують на графічне розрізнення). Метод безпосереднього визначення площі є найточнішим методом обрахунку площі.

Метод висічок. З дослідної ділянки беруть не менше 10 рослин і обривають листя. Потім з цього листя за допомогою загостреної трубки роблять 20–50 висічок загальною площею не менше 10–20 см² і зважують. Одночасно визначають загальну масу всього листя проби. Далі розраховують площу листя за формулою (2. 2) [4]:

$$S = (S_i \cdot n) / P_i$$

де S — загальна площа листя проби, см²; P — загальна маса листя, г; S_i — площа висічок, см²; n — число висічок; P_i — маса висічок, г.

Знаючи кількість рослин на 1 га, можна обчислити їх загальну листяну поверхню.

Метод вимірів параметрів листя. Даний метод полягає в замірі довжини та найбільшої ширини листка. Добуток цих величин множать на поправочний коефіцієнт і отримують площу листяної пластинки. Поправочні коефіцієнти такі: для пшениці — 0.67; для ячменю — 0.68; для кукурудзи — 0.85; для проса — 0.72. Цей метод найбільш поширений для визначення площі листя злаків.

При обрахунку площі листя пшениці нами використовувався метод вимірів параметрів (довжини та ширини) листяної пластини, із застосуванням поправочного коефіцієнту 0.67 при обрахунку. Результати вимірів наведені в табл. 2. 2.

Проби пшениці відібрані 1 липня 2014 р. характеризувалися майже стовідсотковим сухим листям. На 100 рослин зустрічалися шість не поживклих листків (п'ять прапорцевих та одне перше після прапорцевого). Можна припустити, що в сукупній масі вони становлять 2 фотосинтезуючі рослини на 100 рослин.

На подальших етапах проведення досліджень полів з посівами пшениці необхідно відмічати дати сівби, початку і повних сходів та настання фаз розвитку рослин: розвитку третього листка, кушіння, виходу у трубку, колосіння, цвітіння, стиглість (молочна, воскова, повна). Для отримання високої точ-

ності визначення вуглецевого балансу, та вимірів вуглецевих потоків озимих культур, слід виконувати наземні дослідження на всіх фазах (10 фаз) розвитку рослин, закладати мінімум три дослідні точки для дотримання статистичної достовірності експерименту і проводити виміри у трьох повторностях. Крім того, необхідне належне приміщення для здійснення вимірів, опису та висушення біомаси рослин, а також лабораторні ваги, що забезпечуватимуть високу точність вимірів, оскільки в даному дослідженні виміри проводилися на не лабораторних вагах.

Проаналізувавши літературні джерела, зокрема [2], пропонується для обрахунку чистої продуктивності фотосинтезу в подальших дослідженнях використовувати рекомендації А. А. Нечипоровича (1973), формулу Кідда-Веста-Бріггса, а для обрахунку наростання сирої та сухої біомаси, структури врожаю рекомендації М. М. Горянського (1970).

Оскільки виміри CO₂ та польові дослідження були проведенні лише за короткого періоду, без врахування всіх фаз розвитку рослин, вони не відображають ні добової, ні річної циркуляції потоку CO₂, а лише показують тимчасові значення CO₂ у момент здійснення вимірів. Потрібно проведення подальших фенологічних спостережень та вимірів для збору необхідного об'єму інформації. Відкритим залишається питання повної методології проведення досліджень.

Соняшник

Дослідження соняшнику проводилися на полях Баришівського та Фастівського районів. Детальна інформація про виконані дослідження наведена у табл. 2. 3.

Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю.

Таблиця 2. 2

Результати вимірів листової площі та LAI для озимої пшениці

Дата відбору проби	06.06.2014 р.		24.06.2014 р.		01.07.2014 р.	
Культура	Пшениця безоста	Пшениця остиста	Пшениця безоста	Пшениця остиста	Пшениця безоста	Пшениця остиста
Середня площа листової пластини, см ²	24 (n=10)	12 (n=10)	19 (n=10)	Виміри не проводилися	6.2 (n=20)	0.028 (n=10)
Середня площа усіх листяних пластин однієї рослини, см ²	71 (n=10)	36 (n=10)	57 (n=10)	Виміри не проводилися	18.5 (n=20)	0.084 (n=10)
Індекс листяної поверхні (LAI)	4.60 (n=10)	1.75 (n=10)	3.69 (n=10)	Виміри не проводилися	1.2 (n=20)	0.0042 (n=10)

Таблиця 2. 3

Характеристика дослідних полів Баришівського та Фастівського району із посівами соняшнику

Культура	Точка дослід, район	Географічні координати дослідного поля	Дати здійснення вимірів та фази розвитку, що припадали на ці дати	Виміри та обстеження, які здійснювалися
Соняшник	T5 = T65 Баришівський район	N50 17 13.4 E31 35 14.9	06.06.2014 р. 16:06 (NEE) 16:18 (ER)	Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
Соняшник	T2 = T130 Фастівський район	N50 02 17.0 E30 01 54.7	20.06.2014 р. 12:28 (NEE) 12:42 (ER)	Аналогічно до переліку вимірів соняшнику
Соняшник	T5 = T65 Баришівський район	N50 17 13.4 E31 35 14.9	24.06.2014 10:34 (NEE_1) 10:46 (ER_1) 10:56 (NEE_2) 11:07 (ER_2)	Відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю

Відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю. Запасні жири в насінні соняшнику синтезуються з вуглеводів, що утворюються в листках в процесі фотосинтезу. Чим більша площа асиміляції (площа листяної поверхні), тим більший показник поглинання діоксиду вуглецю з атмосферного повітря.

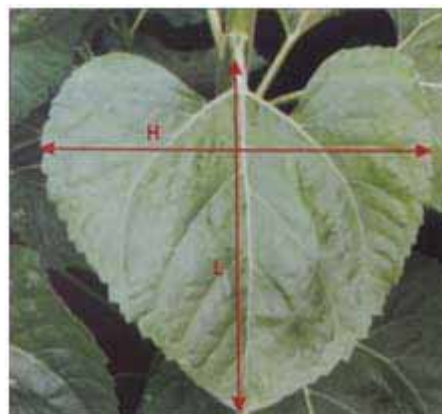
Площа листяної поверхні обраховується за формулою (2. 3) наведеною у [3]:

$$S = - 0.1063 - 15.6618L + 17.4572H + 0.574L2 + 0.0617H2 \quad (2. 3)$$

де: S — площа листової пластинки, см; L — довжина листка, см; H — ширина листка, см.

Виміри параметрів листків здійснювалися за [7] як проілюстровано на рис. 2. 2. Результати вимірів наведені в табл. 2. 4.

Результати проведених досліджень соняшнику аналогічні таким вимірюванням пшениці. Необхідно лише додати, що при вимірі та обрахунку площі листя соняшнику слід використовувати метод без-

**Рис. 2. 2.** Виміри параметрів листків соняшнику

посереднього визначення площі листя, оскільки при здійсненні обрахунків за формулою (2. 3) передбачається, що форма листя відповідає формі, наведеній на рис. 2. 2. Але практика показує, що не все листя соняшника відповідає наведеній формі, зустрічаються листя більш трикутної загостреної форми, у формі з відсутніми “вухками”, або ж зрощені дві листяні пластини. Необхідно використовувати метод безпосереднього визначення площі листя, що дозволить уникнути похибок при обрахунках.

Таблиця 2. 4

Результати вимірів листяної площі та LAI для соняшнику

Дата відбору проби	06.06.2014 р. Баришівський р-н	20.06.2014 р. Фастівський р-н	24.06.2014 р. Баришівський р-н
Середня сумарна площа усіх листових пластинок однієї рослини, см ²	1827 (n=3)	5232 (n=5)	4213 (n=6)
Індекс листової поверхні (LAI)	1.97 (n=3)	4.19 (n=5)	6.2 (n=6)

Кукурудза

Дослідження кукурудзи виконано на полях Баришівського та Фастівського районів. Детальна інформація про проведені дослідження наведена у табл. 2.5.

Слід зазначити, що поле на території Фастівського району із посівами кукурудзи було забур'янене. На 25 м² попадав один соняшник. Сходи нерівномірні. Вимір листяної площі (листяної площини), здійснювався з використанням методу вимірів параметрів листя — довжини та найбільшої ширини листка з перемноженням отриманих показників на перевідний коефіцієнт 0.67.

За результатами обрахунку листяної площі для кукурудзи спостерігається їх ріст відповідно до фази розвитку культур. Хоча кількість культур у пробі необхідно збільшити до п'яти культур, і проводити виміри на спеціальних вагах, які забезпечать вимір проби, не розбиваючи її (табл. 2.6).

Соя

Дослідження сої проведено на полях Баришівського та Фастівського районів. Детальна інформація про виконані дослідження наведена у табл. 2.7. Вимір листяної площі (листяної площини) здійснювався з використанням методу вимірів параметрів листя — довжини та найбільшої ширини листка з перемноженням отриманих показників на перевідний коефіцієнт 0.74. Результати вимірів наведені в табл. 2.8.

За результатами обрахунку листяної площі для кукурудзи спостерігається їх ріст відповідно до фази розвитку культур. Кількість культур в пробі необхідно збільшити до 10 культур, і проводити виміри на спеціальних вагах, які забезпечать здійснення виміру проби не розбиваючи її. Також при подальших дослідженнях слід проводити досліді на всіх фазах розвитку сої. Для оцінки фази розвитку культури варто залучати провідних фахівців.

Таблиця 2.5

Характеристика дослідних полів Баришівського та Фастівського району із посівами кукурудзи

Культура	Точка досліді, район	Географічні координати дослідного поля	Дати вимірів та фази розвитку, що припадали на ці дати	Виміри та обстеження, які здійснювалися
Кукурудза	T4 = T64 Баришівський район	N 50 20 18.8 E 31 33 58.8	06.06.2014 р. 14:30 (NEE) 14:42 (ER)	Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
Кукурудза	T1 = T129 Фастівський район	N 50 02 15.4 E 30 01 54.1	20.06.2014 р. 11:55 (NEE) 11:48 (ER)	Аналогічно до переліку вимірів кукурудзи Баришівського полігону
Кукурудза	T3 = T64 Баришівський район	N 50 20 18.8 E 31 33 58.8	24.06.2014 13:52 (ER)	Відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), відбір біомаси (культур), вимір вивільнення (ER) діоксиду вуглецю. Величина поглинання (NEE) не здійснювалася через несприятливі кліматичні показники

Таблиця 2.6

Результати вимірів листяної площі та LAI для кукурудзи

Дата відбору проби	06.06.2014 р. Баришівський р-н	20.06.2014 р. Фастівський р-н	24.06.2014 р. Баришівський р-н
Середня сумарна площа всіх листяних пластин однієї рослини, см ²	1351 (n=2)	2707 (n=5)	3633 (n=3)
Індекс листяної поверхні (LAI)	0.96 (n=2)	2.34 (n=5)	3.88 (n=3)

Таблиця 2. 7

Характеристика дослідних полів Баришівського та Фастівського району із посівами сої

Культура	Точка досліджу, район	Географічні координати поля	Дати вимірів та фази розвитку, що припадали на ці дати	Виміри та обстеження, які здійснювалися
Соя	T3= T63 Баришівський район	N50 20 16.6E31 33 57.2	06.06.2014 14:07 (NEE) 14:00 (ER)	Візуальний аналіз поля та сходів, виміри міжрядь, виміри густини посіву, відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), закладання дослідних точок, відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю
Соя	T3= T131 Фастівський район	N50 02 16.6E30 01 46.3	20.06.2014 13:02 (NEE) 13:17 (ER)	Аналогічно до переліку вимірів сої Баришівського полігону
Соя	T2= T63 Баришівський район	N50 20 16.6E31 33 57.2	24.06.2014 р. 12:21 (NEE_1) 12:36 (ER_1) 12:27 (NEE_2) 12:54 (ER_2) 13:15 (NEE_3) 13:24 (ER_3)	Відбір проб ґрунту на визначення вологості, визначення кліматичних параметрів (температура ґрунту, температура повітря, виміри освітленості), відбір біомаси (культур), виміри величини поглинання (NEE) та вивільнення (ER) діоксиду вуглецю

Таблиця 2. 8

Результати вимірів листяної площі та LAI для сої

Дата відбору проби	06.06.2014 р. Баришівський р-н	20.06.2014 р. Фастівський р-н	24.06.2014 р. Баришівський р-н
Середня сумарна площа всіх листяних пластин однієї рослини, см ²	186 (n=10)	174 (n=20)	628 (n=20)
Індекс листяної поверхні (LAI)	1.17 (n=10)	1.04 (n=20)	3.77 (n=20)

Список літератури до розділу 2. 1

1. Зінченко О. І. Рослинництво: підручник / О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко; за ред. О. І. Зінченка. — К.: Аграрна освіта, 2001. — 591 с.
2. Карашук С. В. Продуктивність та якість зерна сортів ячменю ярого залежно від фону живлення в умовах південного Степу України: автореф. дис... канд. с.-г. наук: 06.01.09 / С. В. Карашук; Херсон. держ. аграр. ун-т. — Херсон, 2011. — 20 с.
3. Кириченко В. В. Ідентифікація морфологічних ознак соняшнику (*Helianthus L.*) / В. В. Кириченко, В. П. Петренкова, О. В. Кривошеєва, В. К. Рябчун, Т. Ю. Маркова — Харків: ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН — 2007. — 78 с.
4. Маркова Н. В. Дистанційний курс "Програмування врожаїв", лекція № 4 "Агробіологічні основи програмування врожаїв" [Електронний ресурс, 2014]. Режим доступу: http://www.slideshare.net/markovanataliya?utm_campaign=profiletracking&utm_medium=sssite&utm_source=ssslideview.
5. Рослинництво з основами програмування врожаю / Жатов О. Г. [та ін]; за ред. О. Г. Жатова. — К.: Урожай, 1995. — 256 с.
6. Харченко В. О. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур / В. О. Харченко; за ред. В. О. Ушкаренка. — 2-ге вид., перероб. і доповнене. — Суми: Університетська книга, 2003. — 295 с.
7. Nguy-Robertson A. Estimating green LAI in four crops: Potential of determining optimal spectral bands for a universal algorithm Nguy-Robertson A., Penga Y., Gitelson A., Arkebauer T., Pimstein A., Herrmann I., Karnieli A., Rundquist D., Bonfil D. // *Agricultural and Forest Meteorology*. — 2014. — № 192–193. — P. 140–148.

2. Теоретико-методичні основи та результати газометричних досліджень

Показники оцінки асиміляції та вивільнення вуглекислого газу екосистемою

Показники оцінки асиміляції вуглецю екосистемою в ході фотосинтезу та його вивільнення під час дихання включають чистий екосистемний обмін вуглецю (NEE), дихання екосистеми (ER), валову первинну продуктивність екосистеми (GEP, або GPP), авто-та гетеротрофне дихання. Поняття чистого екосистемного обміну (в деяких джерелах трактується як чиста продуктивність екосистеми, NEP) є фундаментальною характеристикою екосистем [7]. Вперше NEP було визначено у 1968 році [11] як різниця між кількістю органічного вуглецю, засвоєного в процесі фотосинтезу в екосистемі, та загальним рівнем дихання екосистеми як суми авто-та гетеротрофного дихання (рис. 2. 3).



Рис. 2.3. Схема процесів асиміляції та вивільнення вуглецю екосистемою через фотосинтез та дихання [6], де GEP — валова первинна продуктивність екосистеми; NPP — чиста первинна продуктивність; NEE — чистий екосистемний обмін; NEP — чиста екосистемна продуктивність

Від’ємні значення NEP (тобто зменшення концентрації вуглекислого газу в повітрі екосистеми під час вимірювань) є індикатором продуктивності екосистеми – переважання процесів фотосинтезу над процесами дихання. Додатні значення цього показника означають вищий рівень вивільнення вуглецю під час дихання екосистеми, ніж поглинання вуглецю в процесі фотосинтезу. Інші джерела [10] доповнюють це визначення, пояснюючи NEP як темп, з яким вуглець акумулюється екосистемою в часовому вимірі:

$$NEP = \frac{dC}{dt} \quad (2.3)$$

Терміни NEE та NEP в іноземній літературі використовуються як взаємозамінні, але NEE частіше зустрічається у зв’язку з описами потоків, які вимірюються в часовому просторі в якості темпу зміни концентрації вуглекислого газу в атмосферному повітрі, тоді як NEP частіше застосовується при оцінці динаміки запасів вуглецю на більш глобальному рівні [6]. Кількісна оцінка показників продуктивності та дихання екосистеми дозволяє оцінити внесок окремих елементів системи у загальну картину кругообігу вуглецю.

Методика вимірювання потоків вуглекислого газу в екосистемі

На сьогоднішній день експериментальні дослідження потоків вуглекислого газу в екосистемі, в тому числі дихальних процесів, можуть відбуватися із використанням опосередкованих, дифузійних та камерних методів [1].

Опосередковані методи передбачають оцінку втрати органічного вуглецю з ґрунту та підстилки шляхом перерахунку у вуглекислий газ. Цей метод дозволяє проводити оцінку протягом тривалого періоду часу, але є не досить точним. До найпоширеніших дифузійних методів належать профільний та аеродинамічний методи [1]. Профільний метод полягає в оцінці інтенсивності ґрунтового дихання за градієнтом концентрації та коефіцієнтом дифузії вуглекислого газу у ґрунті. Натомість аеродинамічний метод базується на використанні інфрачервоних газоаналізаторів для визначення градієнта концентрації CO₂ в екосистемі та в тому числі у ґрунті.

Перевагою даного методу є збереження непошкодженості рослинного покриву, а також зручність для вимірювань у біогеоценозах із низькою турбулентністю повітря. Незважаючи на це, їх застосування має ряд недоліків. Наприклад, постає проблема необхідності визначення додаткових змінних для вуглекислого газу, а саме його коефіцієнтів турбулентного обміну в атмосфері та дифузії у ґрунті. Крім того, дифузійні методи складно використовувати взимку через сніговий покрив та промерзання ґрунту.

Враховуючи переваги та недоліки вищезазначених методів визначення дихальних процесів в екосистемі, вважаємо доцільним розглянути камерний метод як альтернативний до традиційних. Камерний, відомий також як абсорбційний, метод полягає у використанні газових камер у стаціонарному або пересувному режимах [1, 3]. Завдяки зручності дизайну та експлуатації застосування камерних методів наразі набуло широкого розповсюдження. Сьогодні для визначення концентрації CO₂ викори-

стовують стаціонарні газові хроматографи або портативні інфрачервоні газоаналізатори. Для отримання достовірних результатів експерименту, що є можливим у разі лінійного збільшення концентрації вуглекислого газу у камері, необхідно врахувати тривалість експозиції [1].

Звичайно, камерний метод теж має певні недоліки. Сьогодні є неможливим проведення прямих оцінок потоків карбону у деяких екосистемах, наприклад, лісових. Умови навколишнього природного середовища можуть ускладнювати і навіть унеможливити отримання достовірних результатів під час польових досліджень. Наприклад, за умов високого рівня інсоляції спостерігається збільшення температури повітря безпосередньо у газовій камері на 10–15°C у випадку тривалої експозиції, що спричиняє значні похибки у результатах вимірювань [1]. Сучасні технології, а саме використання інфрачервоних газоаналізаторів дозволяють зменшити тривалість вимірювань до 1–5 хв, що попереджає збільшення температури повітря всередині камери, а також можливість похибки через зміну градієнта вуглекислого газу у системі [3]. Відомо, що

може спостерігатися недооцінка низьких потоків вуглецю та переоцінка високих потоків. Для цього необхідно проводити калібрування системи [3]. Також для покращення умов вимірювань сучасні газові камери обладнані вентиляторами для вирівнювання тисків. Через вентилятори може втрачатися близько 3% вуглекислого газу, але це попереджає можливість більш негативного впливу на вимірювання через різницю тисків [3].

Надзвичайно складно використовувати камерний метод взимку через низькі температури та наявність снігового покриву. Внаслідок зниження інтенсивності дихальних процесів в екосистемі у зимовий період необхідно збільшувати тривалість експозиції, що, в свою чергу, призводить до можливості похибки. Низькі температури спричиняють до погіршення роботи газоаналізаторів, що практично унеможливує використання камерного методу взимку [1, 3]. Крім того, порушення снігового покриву спричинює миттєвий викид вуглекислого газу, який, в свою чергу, далі сорбується сніговим покривом. Це призводить до заниження результатів зміни виділення CO₂ із ґрунту [1].

2. 2. 1. Експериментальне визначення валової первинної продуктивності сільськогосподарських культур Лісостепової зони України

Збір польових даних та виміри проведені фахівцями НАУКМА та ЦАКДЗ ІГН НАН України на дослідних полях Київської області Баришівського району (6 червня 2014 р. з 12:00 до 16:00, 24 червня 2014 р. з 10:30 до 15:00 та 1 липня 2014 р. з 11:00 до 13:00) та Фастівського району (20 червня 2014 р. з 12:00 до 14:00) в ясну погоду. Вимірювання виконано для таких сільськогосподарських культур: озима пшениця остиста (поле без підсіву, сорт “Сонечко”), озима пшениця безоста Скаген № 2 “Сотниківка” (поле з підсівом), соняшник, кукурудза, соя та буряк.

Обладнання та матеріали

Показники чистого екосистемного обміну вуглецю та дихання екосистеми вимірювались камеро-статистичним газометричним методом за допомогою замкненої системи для вимірювання концентрації вуглекислого газу у повітрі (CO₂ Plant CO₂ Analysis Package, виробник Qubit Systems, Канада). Ця система передбачає пропускання повітря з визначеною швидкістю через респіраційну камеру, яка встановлюється на рамку, вкопану на 4 см у ґрунт дослідної ділянки. Швидкість проходження повітря регулюється повітряною помпою та ротаметром (рис. 2. 4) і становить 650 мл/хв.

Концентрація вуглекислого газу вимірюється інфрачервоним газоаналізатором з використанням недисперсійної технології інфрачервоного випромінювання. Одночасно відбувається вимірювання

температури та вологості повітря в системі за допомогою спеціального сенсору. Отримані дані в режимі реального часу через дата-логгер (Logger Pro 3) потрапляють на обробку в базу даних, що створюється програмним забезпеченням LabPro Interface.

Камеру для дослідження екосистемних потоків вуглецю було сконструйовано з пластику ACRYMA® 72 3 мм за описами аналогічних експериментів у США та Китаї (Niu et al., 2008, 2010). Вона являє собою прозору кубічної форми конструкцію розмірами 0.5 × 0.5 × 0.5 м, з внутрішнього боку якої закріплено маленький вентилятор для перемішування повітря в камері під час вимірювань. Камера герметично приєднується до системи пластиковими трубками; для попередження проникнення повітря у замкнену систему під час вимірювань вона встановлюється на спеціальну сталеву платформу, розмір якої 0.53 × 0.53 × 0.53 м. При встановленні камери на платформу в середину камери потрапляють рослини, які знаходяться в межах платформи. Прозорість камери забезпечує можливість проходження і вимірювання процесу фотосинтезу в цих рослинах. Після вимірювання камера перегортається на бік для провітрювання, знов встановлюється на платформу і накривається тканиною, що не пропускає сонячне світло. У такий спосіб припиняється асиміляція вуглецю і ми маємо змогу виміряти дихання екосистеми. Підвищення температури повітря під час вимірювань є меншим за 0,5°C і не впливає суттєво на зміну концентрації вуг

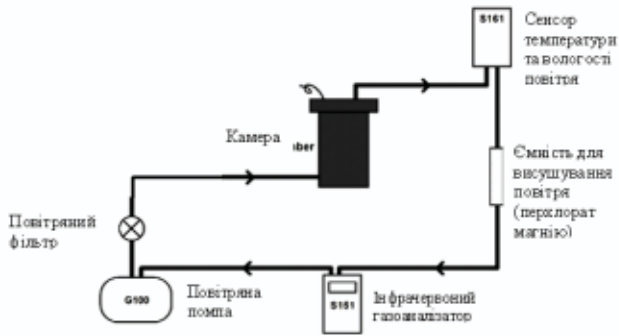


Рис. 2.4. Схема системи для вимірювання концентрації вуглекислого газу у повітрі (виробник Qubit Systems, Канада)

лекислого газу в камері. Використання подібної камери для вимірювання чистого екосистемного обміну та екосистемного дихання широко застосовувалось в багатьох попередніх дослідженнях [2, 5, 9, 12]. Тривалість одного вимірювання потоків вуглекислого газу складала 3 хв.; запис концентрації вуглекислого газу у повітрі проводився з частотою 1 проба на 1 с.

Освітленість вимірювалась за допомогою люксметра Ю-116 протягом всього періоду вимірювань. Вологість ґрунту по кожній культурі визначалась на глибинах 5, 10, 20, 30 та 60 см за допомогою аналогового вологоміра (виробник Spectrum Technology Ltd., США). Температура ґрунту вимірювалась на глибині 7 см аналоговим термометром.

Обчислення вимірювальних показників

Показник валової продуктивності екосистеми (GEP) відображався як різниця між чистим екосистемним обміном (NEE) та диханням екосистеми (ER) [12]. Перерахунок зміни концентрації вуглекислого газу у повітрі з урахуванням температури повітря, площі поверхні ґрунту та об'єму камери розраховувався за формулою [2, 4]:

$$F_c = \frac{VP_{av}}{RS(T_{av} + 273)} \times \frac{dC}{dt} \quad (2.4)$$

де F_c – це концентрація вуглекислого газу на одиницю площі на одиницю часу, ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); V – об'єм повітря в системі, включаючи камеру (m^3); P_{av} – атмосферний тиск на момент вимірювань (kPa); R – константа ідеального газу ($8,314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$); S – площа поверхні ґрунту накритего камерою (m^2); T_{av} – середня температура повітря на період вимірювань ($^{\circ}\text{C}$); dC/dt – кут нахилу лінійної апроксимації до графіку концентрацій CO_2 за певний проміжок часу.

Проміжні результати досліджень

Валова первинна продуктивність (GEP) досліджуваних культур в цілому коливалась від 3,8 до 31,8 $\text{мкмоль м}^{-2} \text{с}^{-1}$ (рис. 2.5 та 2.6). Таку високу розбіжність у значеннях продуктивності можна

пояснити, з одного боку, різними фазами розвитку сільськогосподарських рослин, що спостерігались у період з початку червня до початку липня, а з іншого – різною кількістю зеленої маси рослин під час вимірювань, яка коливалась від 586 до 5676 г/м^2 .

Найбільші значення продуктивності пшениці, сої та соняшнику спостерігались у 20-х числах червня (рис. 2.5) через більшу кількість фотосинтезуючої зеленої маси на даному етапі розвитку рослин. Цією ж причиною можна пояснити більшу продуктивність безсої пшениці у порівнянні з пшеницею сорту “Сонечко” станом на 1 липня 2014 р. Протилежну картину можна спостерігати 6 червня, коли пшениця “Сонечко” мала більшу продуктивність у порівнянні з безсоєю пшеницею (рис. 2.5).

Співвідношення GEP по кукурудзі, соняшнику та сої за 6 червня 2014 р. у Баришівському районі такі самі, як значення GEP по цих культурах 20 червня у Фастівському районі: найбільш продуктивною виявилась кукурудза, потім іде соняшник, потім соя.

Проведені дослідження показали перспективність напряму з експериментального визначення валової продуктивності та дихання основних агрокультур України. Для отримання комплексних статистично достовірних результатів з даного напрямку вважаємо за необхідне:

- провести польові вимірювання наведених вище параметрів для основних агрокультур протягом всього вегетаційного періоду їх розвитку (орієнтовно з квітня по листопад);
- збільшити повторюваність до 4–5 та частоту вимірів до 2 разів на місяць з метою отримання статистично значущої вибірки результатів дослідження;
- вивчити вплив фізико-кліматичних факторів (такі як температура й вологість повітря та ґрунту, середньодобова кількість вологи і частота зволоження культур, освітленість, атмосферний тиск) на динаміку показників дихання та валової продуктивності шляхом проведення кореляційного і регресійного аналізу, а також аналізу головних компонент.

Список літератури до розділу 2.2.

1. Методы исследований органического вещества почв. — М.: Россельхозакадемия — ГНУ ВНИИПТИОУ, 2005. — 521 с.
2. Халаїм О. О. Особливості добової динаміки екосистемних потоків вуглецю степових угруповань південно-східного Криму / О. О. Халаїм, І. Г. Вишенська // Наук. зап. НаУКМА. — К.: Видавничий дім “КМ Академія”, 2012. — Т. 132. Біологія та екологія. — С. 48–54.
3. Davidson, E. A. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration / E. A. Davidson,

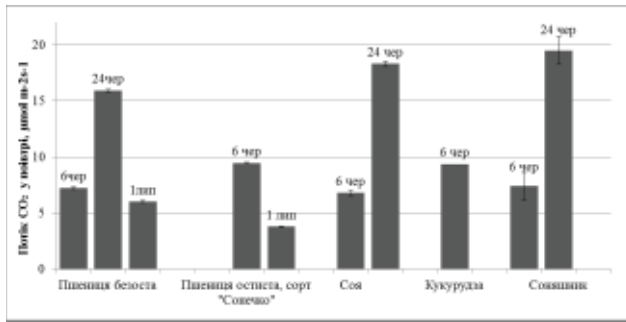


Рис. 2.5. Валова первинна продуктивність сільськогосподарських культур дослідних полів Баришівського району Київської області (червень–липень 2014 р.), $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

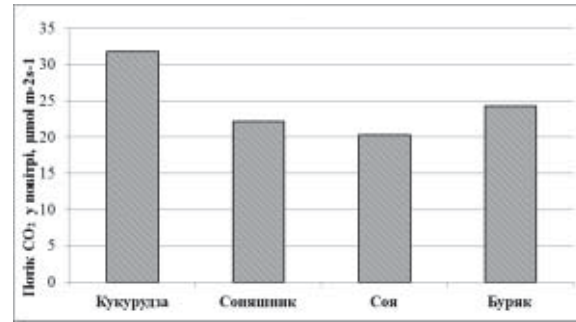


Рис. 2.6. Валова первинна продуктивність сільськогосподарських культур дослідних полів Фастівського району Київської області (20 липня 2014 р.), $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

K. Savage, L. V. Verchot, R. Navarro // Agricultural and Forest Meteorology. — 2002. — №113. — P. 21–37.

- Jasoni R. L. Net ecosystem CO_2 exchange in Mojave Desert shrublands during the eighth year of exposure to elevated CO_2 / Richard L. Jasoni, Stanley D. Smith, John A. Arnone // Global Change Biology. — 2005. — Vol. 11. — P. 749–756.
- Khalaim O., Vyshenska I. Dynamics of gross productivity and respiration of grasslands in south-eastern Crimea under altered precipitation // Вісн. Харків. нац. ун-ту імені В.Н. Каразіна. Серія: біологія, 2014. Спецвипуск.
- Kirschbaum M. U. F. Definitions Of Some Ecological Terms Commonly Used In Carbon Accounting / M. U. F. Kirschbaum, D. Eamus, R. M. Gifford, S. H. Roxburgh and P. J. Sands // Net Ecosystem Exchange. Workshop Proceedings CRC for greenhouse accounting. — 2001. — P. 2–5.
- Lovett G. M. Is Net Ecosystem Production Equal to Ecosystem Carbon Accumulation? / Gary M. Lovett, Jonathan J. Cole, and Michael L. Pace // Ecosystems. — 2006. — Vol. 9. — P. 152–155.
- Niu S. Nitrogen effects on net ecosystem carbon exchange in a temperate steppe / Shuli Niu, Mingyu Wu, Yi Han, Shiqiang Wan et al. // Global Change Biology. — 2010. — Vol. 16. — P. 144–155.
- Niu S. Water-mediated responses of ecosystem carbon fluxes to climatic change in a temperate steppe / Shuli Niu, Mingyu Wu, Yi Han et al. // New Phytologist. — 2008. — Vol. 177. — P. 209–219.
- Randerson J. T. Net ecosystem production: a comprehensive measure of net carbon accumulation by ecosystems / J. T. Randerson, F. S. Chapin, J. W. Harden et al. // Ecological Applications. — 2002. — Vol. 12 (4). — P. 937–947.
- Woodwell G. M. Primary production in terrestrial ecosystems / G. M. Woodwell, R. H. Whittaker // Am Zoologist. — 1968. — Vol. 8. — P. 19–30.
- Xia J. Response of ecosystem carbon exchange to warming and nitrogen addition during two hydrologically contrasting growing seasons in a temperate steppe / J. Xia, S. Niu, S. Wan // Global Change Biology. — 2009. — Vol. 15. — P. 1544–1556.

2. 3. Польові спектрометричні дослідження абсорбції CO₂ агрокультурами на тестовому полігоні “Березань” (Київська область) та визначення корелятивних зв’язків спектрометричних даних з результатами аналогічних газометричних визначень

Нами використано метод оцінки фотосинтетичного компонента потоків CO₂ при комбінації результатів зйомки спектрорадіометром FieldSpec® 3 FR (www.asdi.com) та даних по потоках, отриманих науковцем О. О. Халаїм (НАУКМА) при наземних газометричних вимірах (див. розд. 2. 2 цієї роботи). Ми залучили підхід, пов’язаний з напівемпіричним статистичним моделюванням при визначенні кореляційної залежності гіперспектральних поверхневих характеристик потоків CO₂, отриманих дистанційно [6], та шляхом газометричних вимірів для різних сільськогосподарських культур. На основі кореляційної залежності одержані дані потоків CO₂, які відображають інтенсивність фотосинтезу для озимої пшениці, сої, кукурудзи, соняшника.

Модельний підхід

Існує кілька модельних підходів, що використовуються для одержання оцінок потоків CO₂ в екосистемі та її біологічної продуктивності [6]: 1) це статистичні моделі, які кореляційно пов’язують потоки з різними кліматичними змінними; 2) це параметричні моделі, що ґрунтуються концепції коефіцієнта ефективності використання світла (LUE—light use efficiency), яка дозволяє розкласти потоки на різні компоненти; 3) це моделі процесів, в яких враховані основні процеси фотосинтезу і дихання рослин. Статистичні та параметричні моделі є напівемпіричними за своєю природою і, як правило, свої для кожного біома. Моделі процесів виявилися найбільш складними; крім того, деякі з них вимагають великої кількості параметрів з глобальних екосистем, які, як правило, недоступні.

Дистанційне зондування дозволяє забезпечити даними такий метод, за допомогою якого досліджують і отримують просторові схеми поведінки потоків CO₂. Численні дослідження показали, що оптично одержаний NDVI можна використовувати для отримання оцінок потоків CO₂ від рослинності. NDVI пов’язано з часткою фотосинтетично активного випромінювання (PAR – photosynthetically active radiation), що поглинається зеленою рослинністю (або fAPAR). Дослідники [4] використовували моделі радіаційного переносу в покриві, щоб показати, що як NDVI, так і fAPAR, чутливі до величини поверхні листя в зеленому рослинному покриві. Вчені [6] порівняли біофізичні властивості покривів рослин і виявили, що NDVI і fAPAR функціонально пов’язані. Існує також обґрунтований емпіричний доказ, що між цими двома оптичними властивостями покривів рослин є взаємозв’язок. Спроби моделювання та ем-

піричні дослідження дозволили встановити, що зв’язок між NDVI та f_{APAR} також нечутливий до змін зенітного кута сонячного освітлення.

Дослідники [2] показали, що помноживши f_{APAR} можна на коефіцієнт ефективності, можна отримати чисту первинну продуктивність (NPP — *net primary productivity*), або чисте фотосинтетичне прирощення вуглецю для ділянки рослинності:

$$NPP = (\epsilon \cdot \Sigma f_{APAR}), \quad (2.5)$$

де NPP — оцінюють як наземну біомасу (кг), накопичену за сезон зростання; Σf_{APAR} — річний інтеграл фотосинтетично активного випромінювання (PAR) (в $\mu\text{mol CO}_2/m^2/s-1$), поглинений рослинністю; ϵ — визначають як ефективність, з якою поглинене PAR — випромінювання перетворюється на біомасу. Відомо, що NDVI можна виразити у вигляді функції, а зв’язок між цими двома членами не залежить від зенітного кута сонця. Тоді рівняння (2.5) можна переписати в термінах функції:

$$NPP = f(\epsilon \cdot NDVI). \quad (2.6)$$

Зазвичай, ϵ не отримують безпосередньо з даних дистанційного зондування. Згідно [3], ϵ — відносно постійне значення серед рослин одного і того ж метаболічного типу, яке може змінюватися в залежності від фенологічної стадії, кліматичних умов і водного стресу. Однак деякі сучасні дослідження показали, що оптично обґрунтований індекс, який отримується з гіперспектрального (вузкосмугового) коефіцієнта віддзеркалення і названий фотосинтетичним індексом відбиття (PRI), розглядався як багатообіцяюча міра ефективності використання світла рослинністю (LUE). Цей зв’язок виникає, оскільки вказаний індекс фіксує відгук пігментів ксантофілового циклу на мінливі світлові умови.

За умови надлишку світла, коли PAR перевищує ємність фотосинтетичних реакцій, певні каротиноїди листя, відомі як пігменти ксантофілового циклу, слугують центрами розсіювання надлишку світла за допомогою виробництва тепла, у такий спосіб захищаючи фотосинтетичний апарат. Це здійснюється через активацію ензиму діпоксідази, який присутній в хлоропластах листя. Діпоксідаза переходить в віолаксантин, а ксантофіл, який передає енергію світла на фотосинтетичний апарат в зеаксантин; ксантофіл також направляє світлову енергію з фотосинтетичного апарату і розсіюється у вигляді тепла. Ця реакція перетворюється на свою протилежність при поганих світлових умовах, тобто

зеаксантин переходить назад в віолаксантин через активацію ензиму епоксидазу в хлоропластах листя.

Оптичну реакцію пігментів ксантофілового циклу можна виявити за допомогою зміни коефіцієнта відбиття на довжині хвилі 531 нм. Так як ці пігменти відповідають за регуляцію енергії поглиненого світла в межах листка рослини, характеристики їх коефіцієнтів відбиття дають корисний оптичний індикатор мінливості фотосинтетичної активності. На цій підставі в роботі [1] введено індекс PRI для коефіцієнта відбиття рослинності у вузькому каналі на довжині хвилі 531 нм. Початкова довжина хвилі коефіцієнта відбиття становила 550 нм. Довжина хвилі 570 нм була прийнята в якості опорного (фоновому) значення.

Досліджувався також зв'язок між коефіцієнтом відбиття на 531 нм та ефективністю використання світла при фотосинтезі LUE для листа. Було показано, що індекси PRI і LUE можна широко застосовувати для різних видів рослинності, різних їх функціональних типів і рівнів живлення. На основі цих результатів була висунута гіпотеза про те, що параметр LUE для рослинності можна виразити в термінах PRI. Потім рівняння (2.6) можна переписати, впроваджуючи PRI, у вигляді коефіцієнта ефективності для короточасної оцінки швидкості фотосинтезу в екосистемі (або для поглинання CO₂):

$$\text{Поглинання CO}_2 = f(\text{PRI} \cdot \text{NDVI}). \quad (2.7)$$

Регресійна модель

За допомогою фотосинтетичного потоку CO₂ від тестових ділянок на підставі отриманих у різні дні і значень NDVI та sPRI можна протестувати альтернативний підхід, який аналізувався. Виходячи з рівняння (2.7) була використана лінійна регресійна модель, щоб пов'язати значення сумарного фотосинтетичного потоку CO₂ з гіперспектральними індексами [5]:

$$\text{Сумарне поглинання CO}_2 = a + b \cdot (\text{sPRI} \cdot \text{NDVI}) \quad (2.8)$$

Співробітниками ЦАКДЗ та НАУКМА влітку 2014 р. були проведені експериментальні дослідження на типовому для Лісостепової зони України полігоні “Березань”, де розташовані угіддя ТОВ “Баришівська зернова компанія” з типовими агрокультурами. Були отримані коефіцієнти a і b шляхом розрахунку лінійної регресії між сумарним дихальним потоком CO₂ і добутком (sPRI · NDVI). Зіставлені газо-та спектрометричні виміри виконані в полуденний час 6 червня та 1 липня 2014 р. (9 вимірів по 4 основним агрокультурах — озимій пшениці Скаген № 2 “Сотниківка” та “Сонечко”, сої ПІВС 0,8, кукурудзі Р9578, PR37N01 PR37Y12, соняшнику “Перформер” (табл. 2.9).

Для регресійного аналізу ми використовували відкоригований R² (коефіцієнт детермінації), оскільки він враховує кількість незалежних змінних, що входять в рівняння регресії.

Іншою мірою кореляції між залежними і незалежними змінними, використовуваними в цьому дослідженні, був критерій Фішера — значення ймовірності “р значення”. При використанні регресійного аналізу високе значення R² і відносно низьке значення “р” може свідчити про зростання ступеня достовірності, а це значить, що залежність є статистично значущою.

Індекс NDVI виявив залежність від сумарного потоку CO₂ при R² = 0,6057 (рис. 2.7а), а індекс PRI показав відповідну залежність при R² = 0,627 (рис. 2.7 б). Кореляція NDVI з PRI досить значна R² = 0,9283 (рис. 2.7 в).

Ми порівняли значення (sPRI · NDVI) зі значеннями чистого потоку CO₂ (тобто чисті потоки вимірюються без поправки на дихання), щоб побачити, чи будуть вони корелювати. Результуюча величина R² = 0,5974 (рис. 2.8 а), тобто кореляція виявилася середньою.

Порівняння сумарного потоку CO₂ з добутком (sPRI · NDVI) показало більш значущу кореляцію з R² = 0,6148 (рис. 2.8 б). Лінійна залежність, отримана за допомогою рівняння (2.8) з сумарним потоком CO₂, привела в результаті до складання рівняння (2.9), за яким можна попередньо обчислювати абсорбцію CO₂ агрокультурами Лісостепової зони України:

$$\text{CO}_2 = -4.093 - 26.631 \cdot (\text{sPRI} \cdot \text{NDVI}) \quad (2.9)$$

При цьому слід взяти до уваги, що кількість залучених вимірюваних даних у період польових експериментальних робіт була недостатньо репрезентативною і не охоплювала основні стадії вегетаційного розвитку досліджуваних агрокультур. Тому подібні дослідження будуть продовжені в наступному році, що дасть можливість уточнити одержане рівняння (2.9) для розрахунку абсорбції CO₂ як основними агрокультурами, так й іншими рослинними покривами в різних ландшафтно-кліматичних зонах України.

Висновки

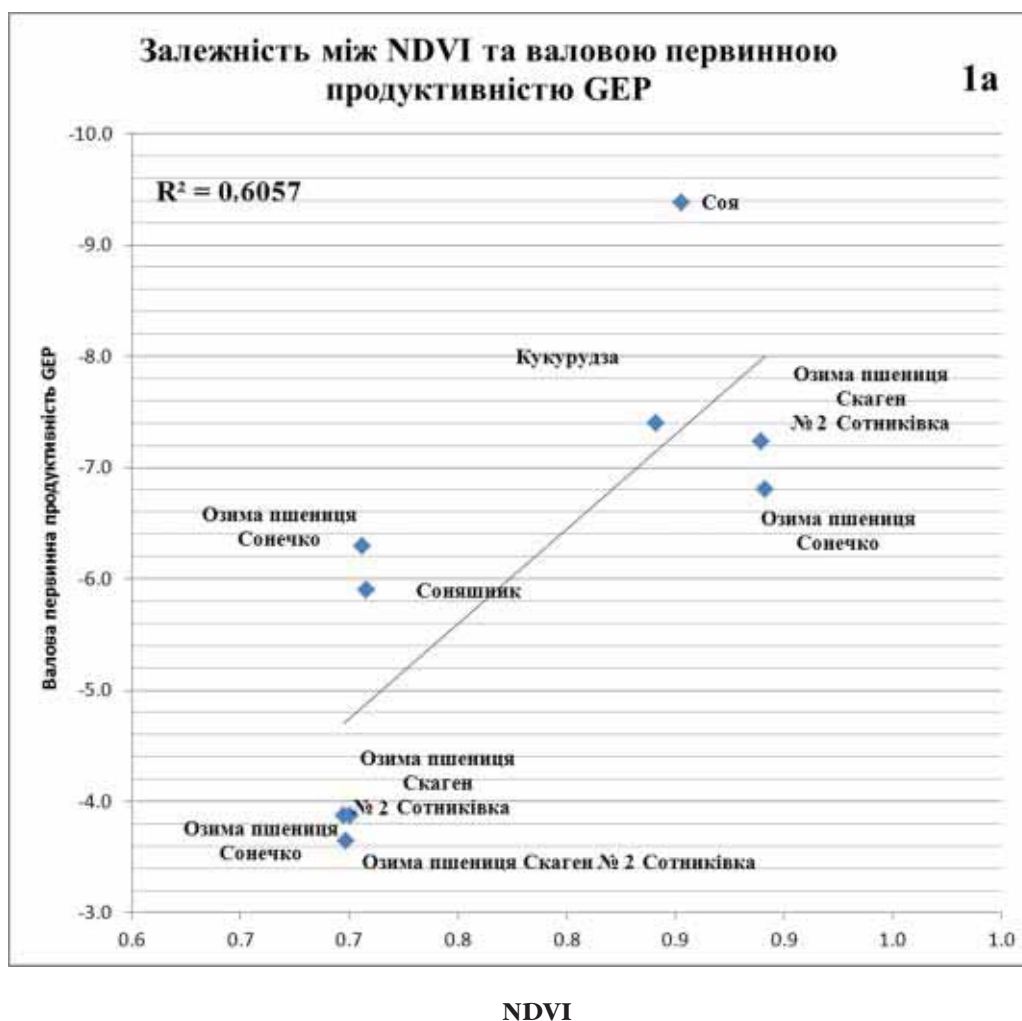
Попередні польові заміри потоків CO₂ в межах визначених ділянок агроценозів показали значну варіацію в отриманих даних (від 4 до 30 μmol CO₂/m²/s-1) (О.О. Халаїм) в різні періоди. Це може бути пов'язано зі зміною температурного режиму, режиму освітлення і зволоження в цей час, а також різними етапами вегетації сільгоспкультур. Разом з тим попередні оцінки потоків CO₂ на основі мультиспектральних знімків MODIS свідчать про меншу варіабельність. Для прикладу, на знімку MODIS від 3 чер-

Таблиця 2. 9

Характеристика природних умов та газо-спектрометричних особливостей агрокультур полігону “Березань” на час проведення досліджень

Дата	6 червня 2014					1 липня 2014			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Агрокультура									
NEE	-3.8	-5.1	-6.3	-2.9	-3.1	-3.2	-0.7	-0.6	-0.7
ER	3.4	1.7	3.1	4.5	2.8	3.1	2.9	3.3	3.2
GEP	-7.2	-6.8	-9.4	-7.4	-5.9	-6.3	-3.6	-3.9	-3.9
Валова первинна продуктивність $\mu\text{мольм}^{-2}\text{с}^{-1}$									
NDVI (800-660)/(800+660)	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
PRI (531-570)/(531+570)	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.1	-0.1
sPRI (PRI+1)/2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
NDVI _T sPRI	0.44	0.46	0.43	0.43	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33
Освітленість (Lux)	731.0	696.0	757.0	730.0	633.0	800.0	793.0	857.0	865.0
T ґрунту на глибині 7 см. °C	20.0	21.8	27.3	33.8	25.5	20.7	21.2	20.2	20.1
T повітря. °C	37.5	37.1	34.5	38.0	33.8	33.6	34.8	34.5	35.3
Відносна вологість. %	41.3	42.0	48.8	40.2	45.0	43.6	43.7	45.0	42.4

* 1 — озима пшениця Скаген № 2 “Сотниківка”; 2 — озима пшениця “Сонечко”; 3 — соя; 4 — кукурудза; 5 — соняшник; 6 — озима пшениця “Сонечко”; 7 — озима пшениця “Сонечко”; 8 — озима пшениця Скаген № 2 “Сотниківка”; 9 — озима пшениця Скаген № 2 “Сотниківка”

**Рис. 2. 7. 1 а.** Кореляційні залежності між NDVI та валовою первинною продуктивністю GEP

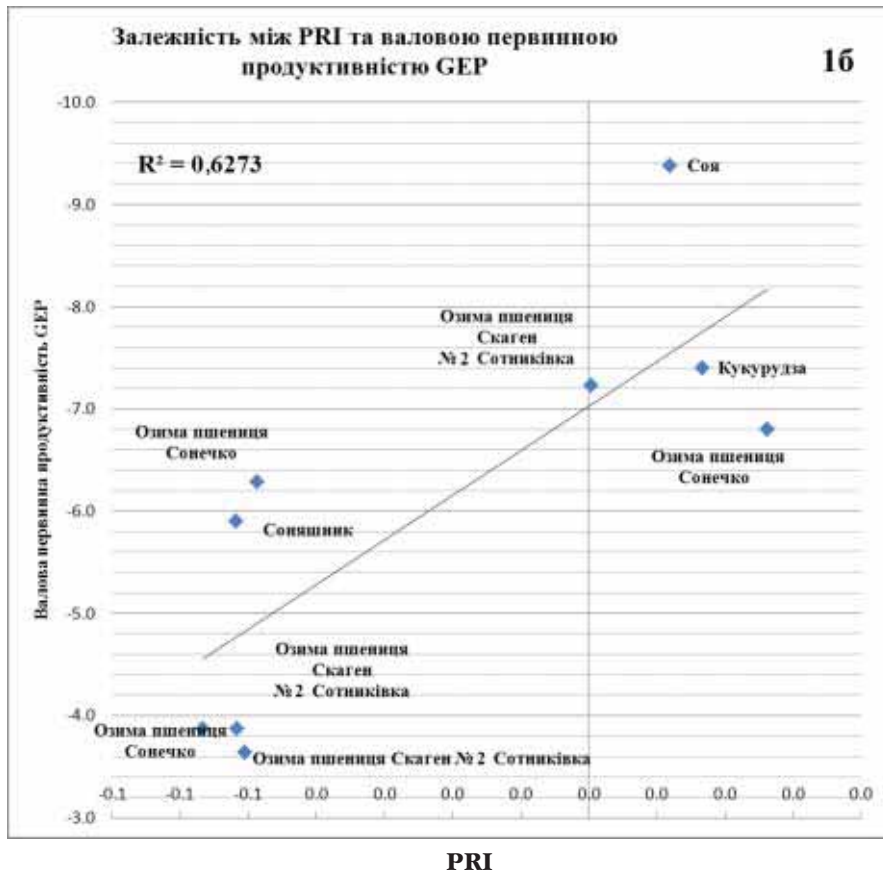


Рис. 2. 7. 1 б. Залежність між PRI та валовою первинною продуктивністю GEP

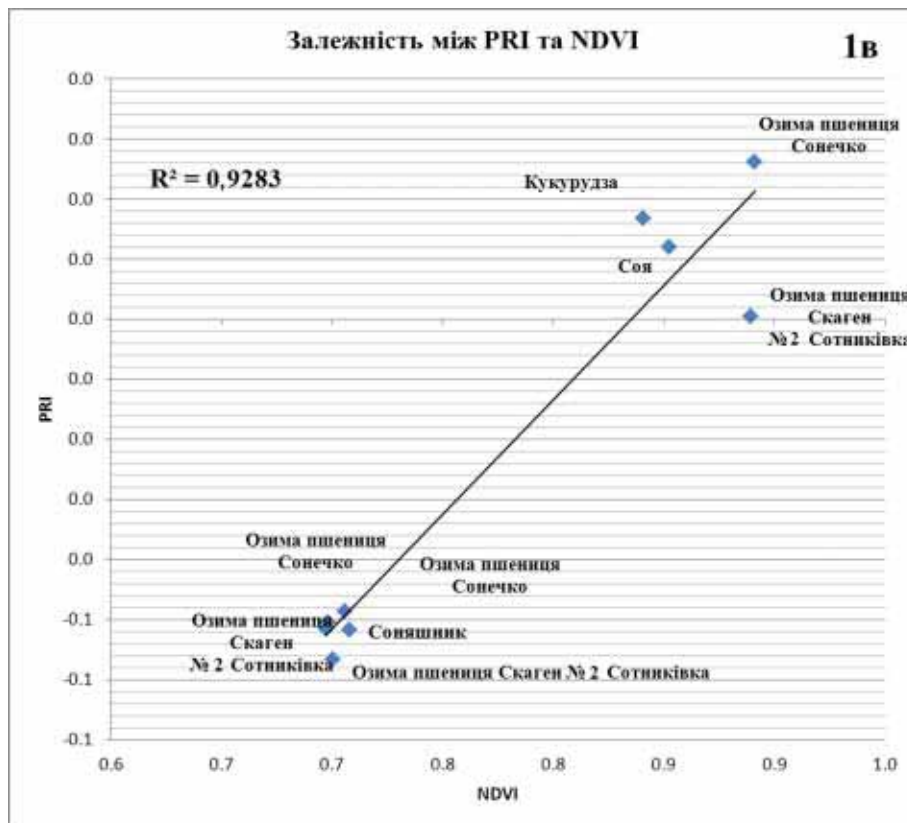


Рис. 2. 7. 1 в. Залежність між PRI та NDV

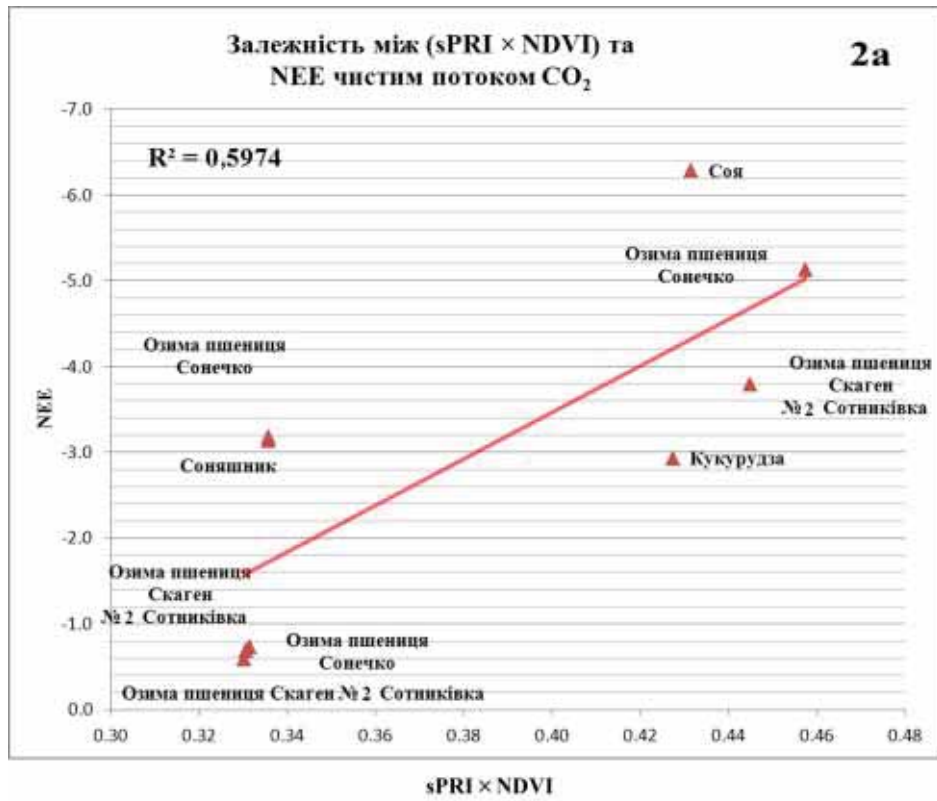


Рис. 2.8. 2a. Залежність між (sPRI · NDVI) та NEE чистим потоком CO₂

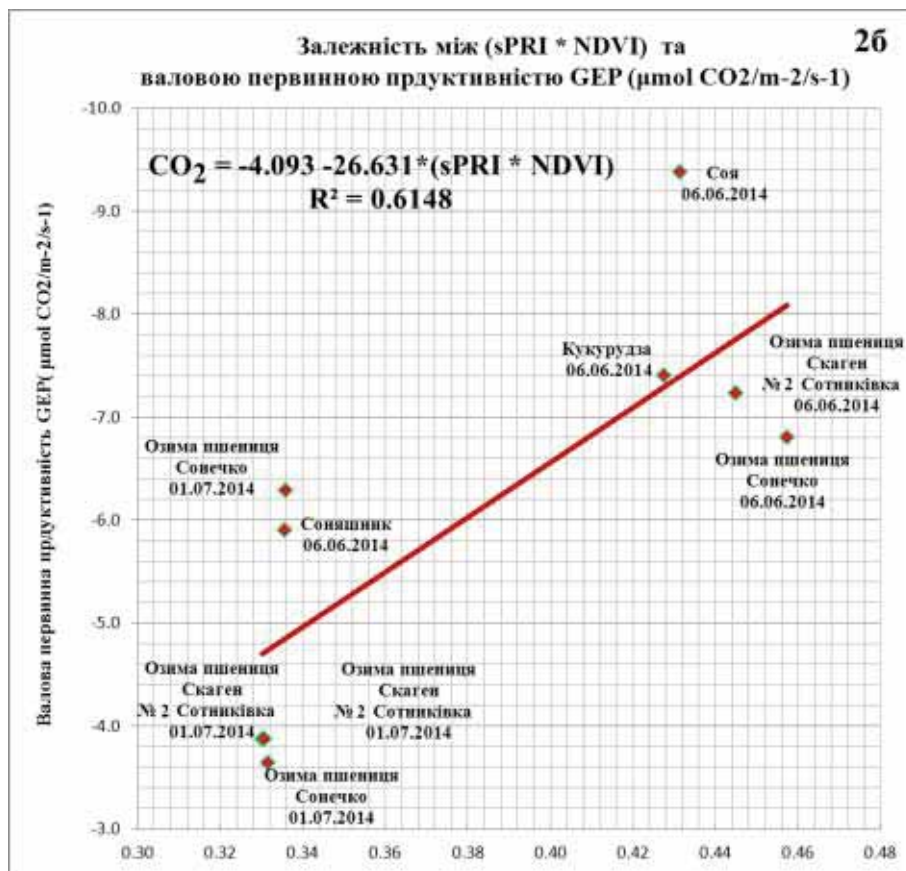


Рис. 2.8. 6. Залежність між (sPRI · NDVI) та валовою первинною продуктивністю GEP (μmol CO₂/m²/s-1)

вня 2000 р. потоки CO₂ над агроценозами оцінювалися в межах 6–8 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ -1 (Earth systems change over Eastern Europe, 2012).

На підставі наших досліджень можна стверджувати:

1. Оцінки проводилися за регресійними рівняннями, отриманими для лісових екосистем.

2. Роздільна здатність спектрометра MODIS не завжди дозволяє виділити чисті пікселі, що відповідають агроценозам, і, як правило, в один піксель потрапляє декілька класів рослинності.

3. Запропоновано регресійне рівняння для деяких конкретних агроценозів Лісостепової зони України, але вибірка одержана недостатньо репрезентативна. Тому потрібно продовжувати збирати і накопичувати польові дані потоків CO₂ з паралельною наземною спектрометрією з метою покращення оцінки регресійної залежності інтенсивності поглинання CO₂ рослинним покривом з його спектральними характеристиками. Це дозволить побудувати більш точну регресійну залежність і виконати достатньо надійну оцінку потоків CO₂ на основі дистанційних методів для визначених класів рослинності

4. Для покращення результатів польових вимірів необхідно проводити виміри якомога частіше, для більш точної оцінки сезонної динаміки. При цьому виміри для озимих культур можна починати восени при появі перших сходів.

5. Бажано також сконструювати більший резервуар для газоаналізатора, оскільки використання

куба малого об'єму для замірів над високими культурами в пізніх стадіях вегетації може призвести до значних похибок у вимірюваннях і не зовсім коректних результатів.

Список літератури до розділу 2. 3

1. Gamon, J. A., Penuelas J., and Field C.B. A narrow waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency / *Remote Sens. Environ.*, pp. 4, 35–44, 1992.
2. Kumar, M., and Monteith J. L. Remote sensing of crop growth, in *Plants and the Daylight Spectrum*, ed. H. Smith. P. 133–144. — Academic, San Diego, Calif., 1981.
3. Rahman, F., John A. Gamon, David A. Fuentes, Dar A. Roberts, and Dylan Prentiss Modeling spatially distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery / *Abdullah Journal of Geophysical Research*. — Vol. 106, no. d24. — P. 33,579–33,591. December 27, 2001.
4. Monteith, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain, *Philos / Monteith, J. L. // Trans. R. Soc. London*. P. 281, 277–294. — 1977.
5. Myneni, R. B., and Williams D. L., On the relationship between FA-PAR and NDVI / *Myneni, R. B., and Williams D. L. // Remote Sens. Environ.*, pp. 49, 200–211, 1994.
6. Tucker, C. J., and Sellers P. J., Satellite remote sensing of primary production / *Tucker, C. J., and Sellers P. J. // Int. J. Remote Sens.*, 7, pp. 1395–1416, 1986.
7. Режим доступу: www.asdi.com.

2. 4. Валова первинна продуктивність та чиста первинна продуктивність рослинного покриву основних сільськогосподарських культур Дніпропетровської, Миколаївської та Черкаської областей України за даними продуктів MODIS

Як відомо, більшу частину території України займають агроценози. За даними Держкомзему України станом на 2001 р. сільськогосподарські угіддя становили 69,3% загальної площі земельного фонду України [3, 5]. Серед сільськогосподарських угідь частка орних земель сягає в середньому 55%, а в окремих областях — понад 80%. Найбільші площі земель сільськогосподарського призначення в Одеській, Дніпропетровській та Харківській областях; найменші — в Чернівецькій, Закарпатській та Івано-Франківській. Найбільше орних земель у Дніпропетровській, найменше в Закарпатській областях [3, 5].

У той же час при оцінках депонування вуглецю внесок різних сільськогосподарських культур в масштабах адміністративних областей і всієї України фактично не досліджено. Зауважимо, що посіви навіть окремих основних сільгоспкультур в Україні (озимі зернові, кукурудза, соняшник), за нашими оцінками займають площі, які в сумі не поступаються лісовим територіям, а в деяких областях значно перевищують їх. Нехтувати внеском рослинного покриву агроценозів, а також пасовищ та заболочених луків у балансові складові CO_2 без детальних оцінок, на нашу думку, не можна, бо це значно погіршує уявлення про складові стоку вуглецю для території України.

З метою уточнення цього питання та подолання певної невизначеності нами розпочато дослідження динаміки та загальної суми поглинання CO_2 в межах різних класів рослинного покриву, зокрема, посівів основних сільськогосподарських культур у різних областях України. Такі дослідження виконано для вегетаційного циклу осінь 2012–осінь 2013 рр. за даними продуктів MODIS (MOD17 A2/A3). Саме для зазначеного вегетаційного періоду нами вперше за даними MODIS було проведено класифікацію рослинного покриву всієї території України з виділенням основних сільськогосподарських культур. Це дало змогу також вперше для території України провести досить детальну оцінку внеску у валову первинну продуктивність (GPP від англ.: *Gross Primary productivity*) та чисту первинну продуктивність (NPP від англ.: *Net Primary productivity*) трьох основних сільськогосподарських культур (озимі зернові, кукурудза, соняшник) для областей України (Київська, Черкаська, Дніпропетровська, Миколаївська), що розташовані в різних ландшафтно-кліматичних зонах.

Зазначимо, що GPP та NPP визначаються з рівняння балансу потоків вуглекислого газу в системі

“грунт–рослина–атмосфера“, яке може бути представлено у такому вигляді [4]:

$$F_a = R_k + R_n + R_m - P_g \quad (2.10)$$

де F_a — потік CO_2 над рослинним угрупованням; R_k — дихання коренів; R_n — дихання стебел і листків; R_m — виділення CO_2 внаслідок життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів; P_g — загальна (брутто) первинна продуктивність, що позначається для екосистем також як GPP.

GPP — це фактично загальна кількість органічної речовини, утвореної в процесі життєдіяльності організмами-продуцентами, переважно хлорофіловмісними рослинами-фотосинтетиками на певній одиниці площі за певний проміжок часу. Цей показник тотожний як кількості променевої енергії Сонця, яку перетворено в енергію хімічних зв'язків новоутворених органічних речовин, так і кількості засвоєного в процесі фотосинтезу вуглекислого газу. Оскільки в живих організмах дихання є неодмінною умовою отримання енергії, то частина утвореної органічної речовини витрачається на підтримання існування самих рослин. Тому розрізняють ще й так звану первинну нетто-продуктивність (NPP), яка може бути розрахована із загальної продуктивності з урахуванням витрат органічної речовини на дихання коренів і наземних органів рослини (RA). Співвідношення між NPP, GPP і RA може бути виражене рівнянням:

$$NPP = GPP - R_A \quad (2.11)$$

На рівні біоценозу нетто-потік вуглецю між атмосферою й екосистемами визначається балансом між поглинанням вуглекислого газу під час фотосинтезу (тобто загальною первинною продуктивністю рослинного угруповання GPP) і загальним диханням (R) як автотрофних (RA), так і гетеротрофних організмів (RH).

NPP фактично відповідає приросту органічної речовини в рослинах на певній території за одиницю часу. Цей показник значно частіше використовується для порівняння продуктивності окремих видів рослин, екосистем і біомів, ніж загальна (брутто) первинна продуктивність. Визначення глобальних і локальних значень NPP необхідне також при вивченні складових вуглецевого циклу, оскільки NPP є одним з показників швидкості обміну вуглекислого газу між біотою та атмосферою.

Найпростіше чисту продуктивність можна визначити, зібравши, висушивши та зваживши рослинну

масу, що утворилась за період від посіву насінини до збирання врожаю. На практиці часто застосовують інші методи: від вимірювання кількості поглинутого вуглекислого газу за одиницю часу до застосування радіоактивних індикаторів чи визначення кількості хлорофілу на одиницю листяної площі [2].

Як зазначає К. І. Кобак [4], застосування аеродинамічного методу до дослідження вуглецевого балансу в екосистемах дає можливість визначити не тільки загальну і нетто-асиміляцію CO_2 , а й вивчити інші складові балансу вуглецю. Отримані аеродинамічним методом значення нетто-асиміляції були зіставлені автором з результатами визначень приросту рослинної біомаси. Було встановлено, що відповідність розрахованих за потоками CO_2 значень і експериментальних даних про продуктивність досить задовільна.

Зокрема, в цих дослідях вивчення добової динаміки ґрунтового потоку дозволило встановити його характерний мінімум в денні години і збільшення у вечірні з максимумом в 21–23 год. (рис. 2. 9). Такий хід інтенсивності виділення CO_2 з ґрунту збігається з динамікою температури в ґрунті на глибинах 20–25 см. В період максимальної інтенсивності ґрунтовий потік зростає у 2–2,5 раза порівняно з полуденними годинами. Денний потік (від 7 до 19 год.) становить у період активної вегетації 30–40% сумарного виділення CO_2 ґрунтом. Атмосферний потік CO_2 має також чітко виражену добову динаміку, протилежну за спрямованістю динаміці ґрунтового потоку: максимальні його значення припадають на 12–15 год. В окремі дні в післяполудневі години відмічено зменшення атмосферного потоку, що очевидно, обумовлено полуденною депресією фотосинтезу (рис. 2.9, А, Б).

Найбільш інтенсивні денні потоки CO_2 спостерігаються в період активного росту агрофітоценозів і досягають $13\text{--}14 \text{ г CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$, зменшуючись до кінця вегетаційного сезону до $4\text{--}5 \text{ г CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{год.})$. Нічні максимальні абсолютні значення атмосферних потоків CO_2 приурочені до 22–23 год. і в окремих випадках дорівнюють найбільшим значенням

ґрунтового потоку CO_2 в ці ж години (рис. 2. 9, Б). У нічні години різниця між атмосферним потоком і ґрунтовым дає уявлення про надходження CO_2 від дихання наземних органів. В результаті цих досліджень було встановлено, що в агрофітоценозах за вегетаційний період нічне дихання становить від 10 до 50% кількості CO_2 , асимільованого посівом протягом світлового дня, в період інтенсивного росту — не більше 10%, а після його закінчення — близько 40–50%. Денний хід сумарного потоку CO_2 аналогічний добовим змінам атмосферного потоку, однак більш згладжений у порівнянні з атмосферним у результаті посилення ґрунтового потоку в ранкові та вечірні години та випаровування. Впродовж вегетаційного сезону сумарний та атмосферний потоки максимальні у періоди найбільш інтенсивного росту рослин, при цьому атмосферний потік становить 65–80% сумарного протягом світлового дня. До початку фази молочної стиглості зерна сумарний потік зменшується в 3–4 рази.

Під час дозрівання колосся площа зелених листків зменшується на 50%, що спричиняє зниження витрати органічної речовини на їх нічне дихання до $0.8\text{--}1.0 \text{ г CO}_2/\text{м}^2$, тобто, майже вдвічі. Поступове пожовтіння листя призводить до зменшення інтенсивності дихання, а через 6–8 діб після початку пожовтіння — аж до повного припинення дихання. З урахуванням зростаючої з часом маси стебел на нічне дихання наземних органів у середньому щодоби втрачається близько 10 г CO_2 з 1 м^2 посіву, що становить 15–30% сумарного денного потоку вуглекислого газу. Ці значення добре збігаються з результатами стосовно різниці атмосферного і ґрунтового потоків CO_2 в нічний час, про що було сказано вище. Отримані авторкою результати свідчать про широкі можливості використання аеродинамічного методу для визначення асиміляційної діяльності рослинних угруповань. Зазначається, однак, що в незамкнених екосистемах, наприклад сухостепових або пустельних, а також агроекосистемах на початковій стадії їх формування, яка характеризується великою неоднорідністю біо-

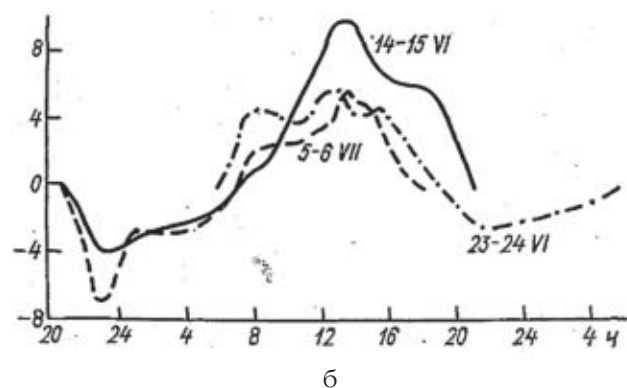
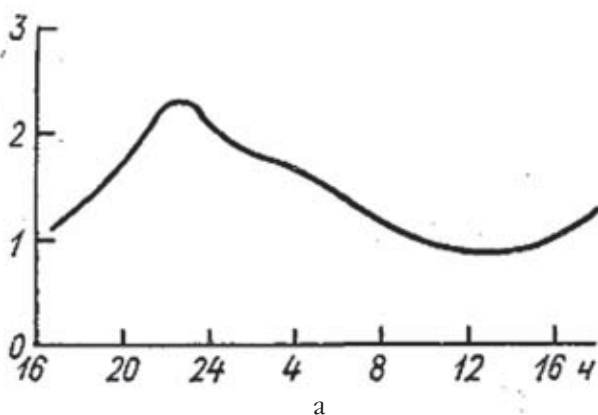


Рис. 2. 9. Добові зміни потоку CO_2 з ґрунту (а) та в атмосфері (б) на полі озимого жита в червні-липні 2014 р. [4, с. 59]. На осі абсцисс — години доби, на осі ординат — концентрація CO_2 ($\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{год.}$)

метричного матеріалу (фази куціння і виходу в трубку), можуть виникнути значні похибки у визначенні градієнтів CO₂ та його потоків. Результати цих досліджень доцільно враховувати також під час застосування сучасних дистанційних методів вивчення GPP та NPP.

Для виявлення динаміки поглинання CO₂ за вегетаційний період 2012–2013 рр. та оцінки сумарного внеску різними типами сільгоспкультур ми провели суміщення класифікованих знімків території України з продуктом MOD17, 8-денні серії яких дозволяють оцінити GPP та NPP в кг С/м² на добу усереднено для пікселя в 1 км². Детальний опис алгоритму створення продуктів MOD17 можна знайти в роботах [8, 9, 11 та ін.]. Цей алгоритм базується на співвідношенні між активною поглинутою фотосинтетичною радіацією (APAR) та чистою первинною продуктивністю NPP, яке було запропоновано J. Monteith (1972) [10]. APAR залежить від природних умов та типу рослинного покриву. Зокрема, J. Monteith встановив, що річне NPP добре зволужених та забезпечених добривами посівів сільгоспкультур має лінійну залежність від поглинутої фотосинтетично активної сонячної радіації (APAR), яка залежить від географічної та сезонної зміни довжини дня та потенційної радіації. На останню впливають хмари та аерозолі, а також геометрія листяної поверхні, що поглинає сонячну енергію [10, 11]. Тому, алгоритм створення продукту MOD17 передбачає використання низки інших даних, і, зокрема продукту MOD12Q1, що надає інформацію про класи земного покриття, та продукту MOD15, який за-

безпечує дані LAI (індекс листяної поверхні) та FPAR (частина поглинутої сонячної радіації) [8, 9, 11]. Для розрахунків також використовуються параметри, які специфічні для кожного типу земного покриття. Вони формують так звані оглядові таблиці параметрів біома BLUT (*Biome Parameter Look-up Table*), що докладно розглядається в [6, 7, 9 та ін.].

При застосуванні продуктів MOD17A2 розрахунок, наприклад, GPP у кг С/м² на добу проводиться на основі першого шару продуктів з використанням залежності [11]:

$$GPP = (D_{pixel} \cdot scale\ factor) / 8 \quad (2.11)$$

де *GPP* — валова первинна продуктивність (С кг/м² на добу); *D* — значення пікселя знімку 8-денної серії в умовних одиницях (від 0 до 32 677); *scale factor* — масштабний коефіцієнт (зазвичай дорівнює 0.0001).

Аналогічно за 8-денними серіями розраховується NPP, але при цьому використовується другий шар продукту MOD17 A2 [11].

Відповідно, щоб одержати накопичене значення GPP або NPP, необхідно провести підсумовування окремих знімків, що охоплюють 8-денний період [11].

Слід зазначити, що продукт MOD17 A3 надає накопичені за рік значення валової первинної продуктивності та чистої первинної продуктивності. На час проведення досліджень такі дані були для періоду з 2000 до 2010 р. Тому для 2013 р. річні підрахунки GPP та NPP для території досліджень виконані нами самостійно на основі 8-денних серій знімків за період з 15 жовтня 2012 р. по 15

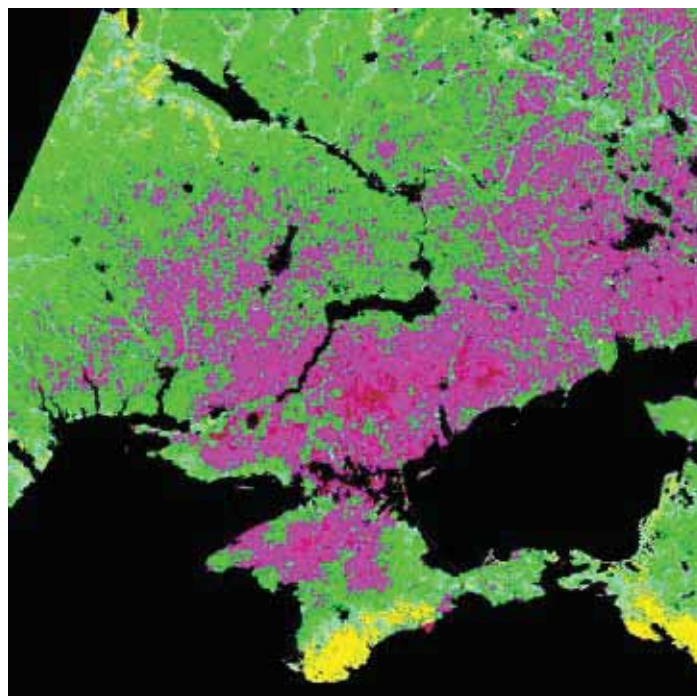


Рис. 2.10. Розподіл сумарних річних значень GPP для центральних та південних областей України за вегетаційний цикл 2012–2013 рр. Річні значення GPP у С кг/м²: коричневий колір — менше 0.4; фіолетовий: 0.4–0.55; зелений: 0.55– 0.7; аквамаринний — 0.7–0.9; жовтий понад 0.9

жовтня 2013 р. Приклад такого сумарного знімку для GPP показано на рис. 2.10.

Для створення продукту MOD17/MYD17 розробники використовують дані класифікації, а саме продукт MOD12Q1, який надає розповсюдження класів земного покриття у відповідності до номенклатури IGBP (*International Geosphere-Biosphere Programme*). Ці класи включають: 0 — водна поверхня; 1 — вічно-зелені хвойні ліси; 2 — вічнозелені широколистяні ліси; 3 — листопадні хвойні ліси; 4 — листопадні широколистяні ліси; 5 — мішані ліси; 6 — зімкнуті кущі; 7 — луки з кущами; 8 — залісена савана; 9 — савана; 10 — луки; 11 — болота та зволожені луки долин річок; 12 — агроценози; 13 — урбанізовані території; 16 — земна поверхня з розрідженою рослинністю; 254 — некласифіковані піксели.

На території України розповсюджена лише частина з цих класів, а саме класи з номерами: 0, 1, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 16. При цьому класи 0 — водна поверхня, 13 — урбанізовані території виключаються з розгляду при створенні продуктів MOD17/MYD17. Для цього використовується відповідна маска на зображеннях.

Таким чином, для вивчення динаміки та загальної суми поглинання CO₂ в межах площі, що займають окремі сільськогосподарські культури, нам необхідно було виконати власну класифікацію земно-

го покриття, бо агроценози продукту MOD12Q1 не розділяються на сільгоспкультури.

З цією метою були проведені масштабні завіркові субмеридіональні маршрутні спостереження, що дозволило сформувати сигнатури основних класів рослинного покриву агроценозів і виконати достатньо надійну класифікацію земного покриття. В результаті сумісної обробки супутникових та наземних даних за методикою, що викладена в роботах [1, 6, 7], ми отримали класифіковані зображення в межах різних районів України. Для знімків MODIS виконана класифікація агроценозів з виділенням основних груп сільгоспкультур не тільки в межах окремих областей, а і для всієї території України. При цьому в межах агроценозів, що відповідають класу 12 за номенклатурою IGBP, виділені ярі просапні культури, озимі культури, ярі зернові та зернобобові, оранка та відкритий ґрунт. Крім того, виділялись прибережна рослинність, луки заплав річок та заболочені землі (11), населені пункти (13), промислові зони та техногенні об'єкти (13, 16), водна поверхня (0), листяні (4) та хвойні ліси (1), кущі та луки, пасовища, неугіддя (7) та ін. В дужках позначено номер класу за номенклатурою IGBP. Отримані результати з класифікації земного покриття центральних, південних та східних регіонів України за даними MODIS/TERRA у 2013 р. представлено на рис. 2.11.

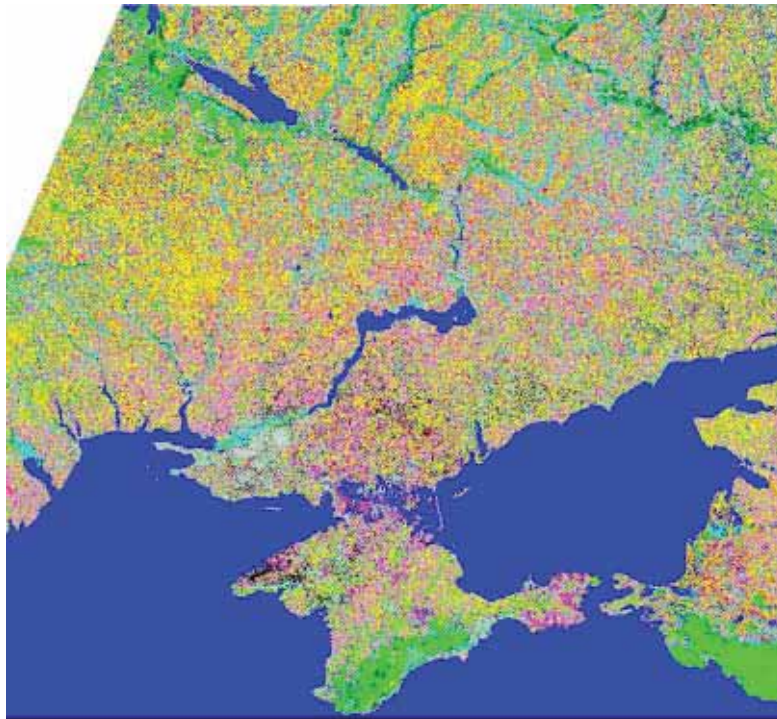


Рис. 2.11. Результати класифікації земного покриття в межах центральних регіонів території України за знімками MODIS/TERRA у 2013 р.

Жовтий, коричневий, помаранчевий колір — ярі просапні культури (12), фіолетовий та червоний колір — озимі культури (12); світло-зелений — ярі зернові та зернобобові (12); пурпурний — овочеві культури (12); чорний — оранка та відкритий ґрунт (12); бірюзовий — прибережна рослинність, луки заплави річок, заболочені території (11); сірий — населені пункти, промзони та техногенні об'єкти, розріджена рослинність (13,16); синій — водна поверхня (0); зелений — листяні ліси (4); світло-коричневий — кущі, луки, неугіддя (7); темно-зелений — хвойні ліси (1). В дужках позначено номер класу за номенклатурою IGBP

Такі дані для всієї території України одержані вперше, що дало нам змогу оцінити структуру посівних площ для різних областей.

Суміщення класифікованих зображень з продуктами MOD17 дозволило провести достатньо детальний аналіз зміни GPP та NPP для конкретних сільгоспкультур у процесі вегетаційного циклу 2012–2013 рр., а також у річному підсумку та виявити низку особливостей з кількісною оцінкою в межах окремих областей України, що знаходяться в різних ландшафтно-кліматичних зонах.

Враховуючи те, що піксел продукту MOD17 має розмір $1\text{ км} \times 1\text{ км}$, тобто покриває площу 1 км^2 , для зіставлення значень GPP та NPP з посівами сільгоспкультур на класифікованому зображенні ми вибирали поля окремих культур, що повністю охоплювали піксели MOD17. Те саме відноситься до інших класів земного покриття (листяні та соснові ліси, пасовища, луки заплавл річок та зарості очерету). З кожної області для аналізу відібрано близько 30 ділянок, дані яких усереднювались для кожного класу в межах області.

Таким чином, для Миколаївської, Дніпропетровської та Черкаської (з південними районами Київської) областей за 8-денними серіями продукту MOD17 нами були отримані усереднені дані зміни GPP та NPP та їх річні значення за вегетаційний цикл 2012–2013 рр. для посівів озимих зернових, соняшнику, кукурудзи, а також деяких інших класів земного покриття (рис. 2.11–2.14).

Характеристика динаміки GPP сільськогосподарських культур та інших класів трав'янистої та дерев'янистої рослинності

Як свідчать наведені на рис. 2.12 графіки, період настання максимуму GPP озимих зернових однаковий для всіх досліджених областей і припадає на весняні місяці (квітень–травень). Найвища амплітуда GPP у 2013 р. була характерна для озимих зернових Черкаської та південної частини Київської областей. Вона зафіксована у період 25 травня–01 червня 2013 року і становила 8.86 г С/м^2 за добу,

що в перерахунку сягає $8.55\text{ }\mu\text{моль/м}^2 \cdot \text{с}$ (табл. 2. 10).

Максимальні значення GPP озимих зернових Миколаївської та Дніпропетровської областей у 2013 р. за даними MOD 17 спостерігались у період 1–8 травня (більш ніж на три тижні раніше, ніж на Черкащині та півдні Київщини) і мали між собою дуже незначні відмінності (відповідно 7.26 та 7.13 г С/м^2 за добу). Саме в цей час на окремих площах південної частини України, за даними Гідрометеоцентру [12], почалося передчасне колосіння озимих культур, зумовлене інтенсивним нагромадженням тепла. Станом на 31 травня 2013 р. розвиток всіх сільськогосподарських культур в Україні відбувався зі значним випередженням середніх багаторічних термінів внаслідок підвищеного теплозабезпечення, оскільки за період 11 квітня–31 травня середня температура повітря перевищила норму на $3\text{--}4^\circ\text{C}$. За цей же період на переважній частині території країни зберігався дефіцит опадів (кількість опадів в основному не перевищувала $30\text{--}60\%$ норми). Наприкінці травня в озимих пшениці, ячменю та жита тривало масове колосіння і цвітіння колоса. На багатьох площах південних, східних, окремих площах центральних областей через відсутність ефективних опадів відмічалось передчасне пожовтіння та засихання листків, стебел рослин, а зерно озимого ячменю і пшениці надзвичайно рано досягло молочної стиглості (<http://www.apk-inform.com/ru/meteocond/1017439>) [13].

Ці погодні умови чітко відображені на графіках GPP озимих зернових Миколаївської та Дніпропетровської областей. Зокрема, на Миколаївщині станом на 2–9 червня значення GPP ($2,6\text{ г С/м}^2$ за добу) вдвічі менші, ніж за попередній період 25 травня–1 червня ($5,32\text{ г С/м}^2$ за добу). На Дніпропетровщині падіння GPP було не таким різким і спостерігалось дещо пізніше: у період 18–25 червня значення GPP озимих зернових тут становили $4,08\text{ г С/м}^2$ за добу, а вже в наступний 8-денний проміжок часу зменшились до $2,42\text{ г С/м}^2$ за добу. Тоді ж зафіксоване різке падіння GPP озимих зернових Черкащини та південної частини Київщини: від $6,11\text{ г С/м}^2$ за добу за період 18–2 червня до $2,88\text{ г С/м}^2$ за добу у на-



Рис. 2.12. Динаміка GPP основних сільськогосподарських культур досліджених областей України (суцільна лінія – посіви озимих зернових, пунктирна лінія – посіви соняшнику, крапчаста лінія – посіви кукурудзи). По осі x – початкова дата 8-денної серії знімку, по осі y – GPP, г С/м^2 за добу $\cdot 0,0001$

Таблиця 2.10

Найбільші значення GPP впродовж вегетаційного періоду 2013 року для посівів окремих сільськогосподарських культур трьох областей України за даними MOD17 $\mu\text{моль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$

Області	Сільськогосподарські культури та дата фіксації максимального значення GPP ($\mu\text{моль} \cdot \text{С} / \text{м}^2 \text{ за с}$)					
	Озимі зернові		Соняшник		Кукурудза	
	$\mu\text{моль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Дата	$\mu\text{моль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Дата	$\mu\text{моль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Дата
Черкаська та південна частина Київської	8.55	25 травня	7.45	18 червня	7.17	18 червня
Дніпропетровська	6.88	01 травня	5.00	20 липня	6.53	18 червня
Миколаївська	7.00	01 травня	6.66	18 червня	6.04	12 червня

ступні 8 днів (26 червня–4 липня). Отже, процес дозрівання колосу супроводжується швидким зменшенням показників GPP озимих зернових у всіх досліджених областях України до приблизно однакових значень (в середньому до $2.6 \text{ г С} / \text{м}^2$ за добу). Наступне (в липні) незначне підвищення GPP у Миколаївській та Дніпропетровській області, вірогідніше, пояснюється запізненням із луцненням стерні та відростанням бур'янів на площах після збирання врожаю ранніх зернових.

Таким чином, аналіз динаміки GPP озимих зернових засвідчив, що найбільші значення цього параметра були приурочені до фази колосіння – цвітіння. Під час досягання зерна озимих зернових відбувається різке падіння показників валової первинної продуктивності.

Влітку (червень–липень) спостерігалися високі значення GPP у посівів соняшнику та кукурудзи, які, проте, не перевищували рівень озимих зернових. Високі показники GPP посівів кукурудзи для всіх проаналізованих територій припадали на період від 18 червня до 28 липня–4 серпня, що відповідає фазам кінця листкоутворення, викидання волоті, цвітіння та наливу зерна. Такий розтягнутий в часі період активного фотосинтезу посівів кукурудзи може бути пояснений різними строками сівби цієї просапної культури (<http://www.apk-inform.com/ru/meteocond/1018218>) [14].

Цікаво, що посіви соняшнику майже на всій дослідженій території (за винятком Дніпропетровської області) на початкових фазах вегетаційного періоду, тобто в кінці травня–на початку червня, мали значення GPP в середньому на $0.5 \text{ г С} / \text{м}^2$ за добу вищі, ніж посіви кукурудзи, але в подальшому посіви кукурудзи перевищували в середньому на $1–1.4 \text{ г С} / \text{м}^2$ за добу посіви соняшнику за цим показником. А на Дніпропетровщині в першій частині вегетаційного сезону посіви кукурудзи мали більші в середньому на $1 \text{ г С} / \text{м}^2$ за добу значення GPP, аніж посіви соняшнику, в той час як є другій половині вегетації за динамікою GPP ці посіви практично не відрізнялись.

GPP посівів соняшнику в усіх досліджених областях характеризувалась найнижчими значеннями серед інших сільськогосподарських культур і не перевищувала $8 \text{ г С} / \text{м}^2$ за добу. Для цієї олійної культури достатньо високі показники GPP фіксувались

також протягом тривалого періоду (фактично на тиждень довше, ніж кукурудзи): з 10 червня до 28 липня–4 серпня, що відповідало фазам листкоутворення, цвітіння та формування кошиків і, вірогідно, було викликане розтягнутими в часі строками сівби соняшнику. Зниження високих показників GPP посівів традиційної олійної культури до значень близько $3 \text{ г С} / \text{м}^2$ за добу тривало близько 56 днів, в той час як у озимих зернових цей процес не перевищував одного місяця. Іншими словами, досягання зерна просапних культур супроводжується повільнішим, аніж у озимих зернових, падінням показників валової первинної продуктивності.

Отже, динаміка GPP просапних культур трьох досліджених областей засвідчує таку особливість: амплітуда їх максимальних значень не перевищує рівень озимих зернових, а досягання зерна супроводжується повільнішим, аніж у озимих зернових, падінням показників валової первинної продуктивності. Впродовж другої половини вегетації GPP посівів кукурудзи перевищували відповідні показники посівів соняшнику (за винятком Дніпропетровської області). Значення валової первинної продуктивності посівів соняшнику на всій дослідженій території не досягали рівня ані посівів озимих зернових культур, ані посівів кукурудзи.

Трав'янисті фітоценози. До трав'янистих фітоценозів за даними класифікації нами віднесено два класи: луки, пасовища, неугіддя (клас 7 за номенклатурою IGBP) та зволожена прибережна рослинність, луки заплав річок та заболочені землі (клас 11 за номенклатурою IGBP). Загалом, для всіх областей було характерне більше значення GPP для рослинності об'єднаної в клас 11, практично впродовж всього вегетаційного сезону (рис. 2.13). Особливо чітко це помітно на графіках як Миколаївської області, де для аналізу були відібрані пікселі очерету поблизу річок Інгул та Південний Буг, так і Черкаської області, де існує 2.3 тис. озер, ставків та водоймищ, а на її правобережжі можливі затоплення та заболочення окремих ділянок (uk.wikipedia.org/wiki/Черкаська_область) [15].

Варто зазначити, що на Миколаївщині на початку сезону GPP пасовищ має вищі значення, ніж очерету, в середньому на $0.98 \text{ г С} / \text{м}^2$ за добу. Але вже починаючи з 17 травня і до кінця періоду спостере



Рис. 2.13. Динаміка GPP пасовищ та очерету (суцільна лінія — пасовища, штрих-пунктирна лінія — зарості очерету). По осі x — початкова дата 8-денної серії знімку, по осі y — GPP, кг С/м^2 за день $\cdot 0,0001$

жень GPP зволужених лук із заростями очерету переважає показники GPP пасовищ.

Лісовкриті площі

За досліджений період впродовж весняно-літнього сезону значення GPP листяних деревостанів переважало відповідний показник для вічнозелених хвойних, причому цей час тривав у Дніпропетровській області з 15 квітня до 29 серпня 2013 р., у Херсонській — з 23 квітня до перших чисел вересня, а у Черкаській — з 23 квітня до 14 вересня 2013 р. (рис. 2.14). За вказаний проміжок часу середні добові значення GPP листяних деревостанів Херсонської області становили 5.5 г С/м^2 , Дніпропетровської — 5.4 г С/м^2 , а Черкаської — 7.4 г С/м^2 , в той час як для хвойних цей показник становив відповідно 2.6 г С/м^2 , 2.4 г С/м^2 та 4.8 г С/м^2 . За весь досліджений період, тобто з 14 березня до кінця жовтня 2013 року, середні добові значення GPP для вкритих хвойними вічнозеленими породами територій набували значень 2.4 г С/м^2 у Херсонській, 3.3 г С/м^2 у Дніпропетровській та 3.8 г С/м^2 у Черкаській областях, що вказує на існування широтної відмінності у засвоєнні вуглецю вічнозеленими деревостанами.

Ця ж сама особливість, як видно з наведених вище даних, характерна і для листяних деревостанів. Причому значення GPP для листяних дерев Херсонської та Дніпропетровської областей майже однакові, проте значно (на 2 г С/м^2 за добу) нижчі, ніж такі у розташованій на північ Черкаській області. Водночас для хвойних

вічнозелених дерев подібність за цим показником була зафіксована для Дніпропетровської та Черкаської областей. Як бачимо, хвойні вічнозелені деревостани Херсонської області відмінні від інших і демонструють найнижчі середньодобові показники GPP. Це стосується як всього періоду спостережень (2.4 г С/м^2), так і весняно-літнього сезону (2.6 г С/м^2), що призводить до порівняно незначних коливань лінії динаміки цього показника впродовж вегетаційного сезону 2013 р. Для областей, розташованих на північ, можна помітити виражений максимум лінії динаміки GPP впродовж квітня — червня. Причиною описаної поведінки графіків GPP є те, що в Херсонській області достатньо великі площі хвойних деревостанів, порівнянні з величиною пікселя MOD17, зосереджені в районі Олешківських пісків. Саме тут знаходяться найбільші в світі штучні лісові насадження, які займають площу близько 100 тисяч га (<http://vsviti.com.ua/2014/07/oleshky-sands/>) [16]. Підліску в цих лісах практично немає, на відміну від хвойних деревостанів, розміщених у більш високих широтах. Саме наявність нижнього широколистяного і трав'янистого ярусів рослинності, які розвиваються під наметом хвойних вічнозелених, але недосить зімкнутих, деревостанів Дніпропетровської та Черкаської областей, спричиняє зазначене вище підвищення лінії динаміки їх GPP у квітні–червні.

В осінній період з 6 вересня і до жовтня 2013 р. GPP хвойних культур на Херсонщині (фактично сосни на Олешківських пісках) була в середньому на 0.8 г С/м^2 за добу вища, ніж у



Рис. 2.14. Динаміка GPP деревостанів (суцільна лінія — листяні, пунктирна лінія — хвойні). По осі x — початкова дата 8-денної серії знімку, по осі y — GPP, кг С/м^2 за день $\cdot 0,0001$

листопадних дерев. Для областей, розташованих на північ, також спостерігається така залежність, але кількісно відмінності менш значні.

Далі розглянемо річні накопичені значення GPP та NPP для окремих областей.

Дослідження GPP та NPP в межах Миколаївської, Дніпропетровської та Черкаської областей

На рис. 2.15 показано класифікований знімок Миколаївської області за 2013 р. за даними MODIS, що використовувався для визначення річних значень GPP та NPP по окремим культурах у межах області.

Проведені нами підрахунки з використанням значень продукту MOD17 та даних класифікації показують, що для Миколаївської області внесок озимих зернових культур в загальну валову продуктивність (GPP) та чисту продуктивність (NPP) складає біля 27 % при загальній площі, яка сягає майже 25 % від розрахункової площі області (табл. 2.11).

Значний внесок робить також соняшник та кукурудза, відповідно близько 20% та 10% від загальної GPP та NPP. Процентне значення GPP та NPP для кожної культури, а також для деяких інших класів земного покриття для порівняння наведено в табл. 2.11.

Підкреслимо, що розрахункова площа області не включає водну поверхню значних водойм та по-

рівняно великих населених пунктів у відповідності до маски продукту MOD17. Якщо загальна площа області становить 24 598 км², то розрахункова площа — менша і сягає 23 332.5 км², тобто вона приблизно дорівнює 95% від загальної.

Для наближеного перерахунку С кг/м² в СО₂ кг/м² необхідно значення С кг/м² помножити на 3.67, а для переходу до СО₂ кг-моль/м² треба значення СО₂ кг/м² розділити на 44.

В табл. 2.12, як приклад, для Миколаївської області наведено перерахунки для GPP з С кг/м² рік у СО₂ кг/м² рік та у СО₂ кг-моль/м² рік, а також у СО₂ мкг-моль/м² · с.

Для порівняння усереднених даних для розрахункової площі Миколаївської області річних значень GPP та NPP за вегетаційний цикл 2012–2013 рр. наведемо дані MOD 17 A3 за 2000–2010 рр., які нами також перераховано і усереднено для розрахункової площі області (табл. 2.13). Звертають на себе увагу низькі значення GPP та NPP у 2007 р., коли у південних регіонах України була надзвичайно сувора посуха (табл. 2.13). Для решти років відхилення від середнього значення не такі значні; отримані нами усереднені GPP та NPP для Миколаївської області за вегетаційний цикл 2012–2013 рр. знаходяться в межах коливань для цієї решти років. У подальшому планується провести більш детальний аналіз зміни усереднених по області значень GPP та NPP відповідно до природних умов та структури посівних площ.

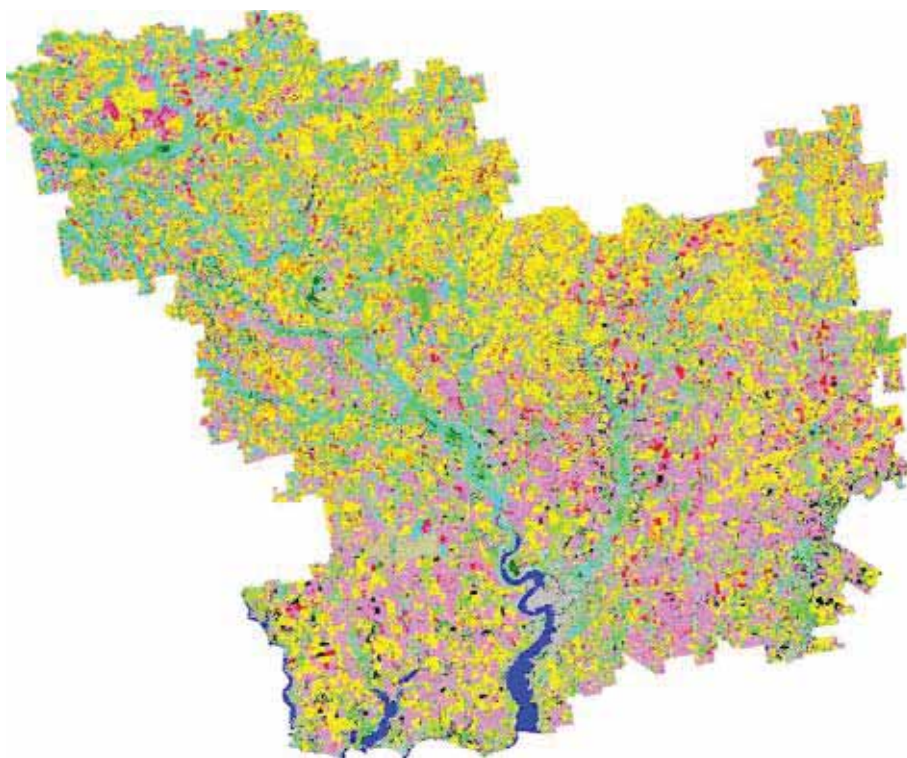


Рис. 2.15. Результати класифікації земного покриття в межах Миколаївської області за даними MODIS у 2013 р. для оцінки динаміки зміни GPP та NPP для посівів сільгоспкультур (табл. 2.11). Умовні позначення (кольори) див. на рис. 2.10

Подібні підрахунки GPP та NPP виконано для Дніпропетровської та Черкаської областей. На рис. 2.16 показано класифіковане зображення Дніпропетровської області.

Підрахунки річних значень GPP та NPP для основних класів земного покриття Дніпропетровської області представлені в табл. 5, а перера-

хунки для GPP з C $кг/м^2$ за рік у CO_2 $кг/м^2 \cdot рік$ та у CO_2 $мкг-моль/м^2 \cdot с$ в табл. 2. 15.

В табл. 2. 16, аналогічно до Миколаївської області представлено дані MOD 17 A3 за 2000–2010 рр., які нами усереднено і перераховано для розрахункової площі Дніпропетровської області. Загалом, зміна річних значень GPP та NPP, усереднених для розра-

Таблиця 2. 11

Річні значення GPP та NPP для основних сільськогосподарських та інших класів земного покриття в межах Миколаївської області за даними MOD17 (вегетаційний цикл 15 жовтня 2012 р.–15 жовтня 2013 р.)

Клас земного покриття	Площа, $км^2$	Усереднене GPP $С кг/м^2$ за рік	Усереднене NPP $С кг/м^2$ за рік	Сумарне GPP для області $С т$ рік	Сумарне NPP для області, $С т$ рік	% від GPP області	% від NPP області	% від розрахункової площі області
Озимі зернові	5857.14	0.6578	0.4825	3853061	2826011	26.7	26.3	25.1
Соняшник	5405.75	0.5634	0.3897	3045600	2106350	21.1	19.6	23.17
Кукурудза	2358.25	0.6033	0.4043	1422732	953464.1	9.85	8.86	10.11
Сосновий ліс	194.54	0.7338	0.4434	142755.4	862648.7	0.99	0.8	0.834
Листяний ліс	732.26	0.9234	0.5555	676168.9	406777.8	4.68	3.78	3.138
Пасовища	1758.08	0.7041	0.5301	1237847	931940.6	8.57	8.66	7.535
Луки на вододілах								
Луки долин річок	1877.32	0.8199	0.5267	1539309	988634.3	10.7	9.19	8.046
заболочені луки								
Інші класи*	5149.6	0.4913	0.4775	253005.4	245886.9	17.51	22.85	22.05
Загальна розрахункова площа	23332.5	0.6195	0.4611	1444752.6	1075831.2	100	100	100

* До інших класів входять ярі зернові культури, ріпак, овочеві культури, соя, виноградники, поверхня невеликих озер та річок, а також дороги, населені пункти сільського типу та невеликі інфраструктурні об'єкти, що не входять до маски продукту MOD17.

Таблиця 2. 12

Перерахунки усереднених річних GPP з C $кг/м^2$ у CO_2 $кг/м^2$ та у CO_2 $кг-моль/м^2$ за рік і $μмоль CO_2/м^2$ за с для Миколаївської області

Клас	$С кг/м^2$ за рік	GPP $CO_2 кг/м^2$ за рік	GPP $CO_2 кг-моль/м^2$ за рік	GPP $CO_2 μмоль/м^2$ за сек	Сума GPP $С, т$ за рік для області	Сума GPP $CO_2, т$ за рік для області	Сума GPP $CO_2, т-моль$ за рік для області	Сума GPP $CO_2, μмоль$ за сек. для області $\cdot 10^{10}$
Озимі зернові	0.6578	2.4141	0.05487	1.7398	3852827	14139874	321360.8	1.0191
Соняшник	0.5634	2.0677	0.04699	1.4901	3045600	11177350	254030.7	0.8055
Кукурудза	0.6033	2.2141	0.05032	1.5957	1422732	5221427	118668.8	0.3763
Сосновий ліс	0.73381	2.6931	0.06121	1.9408	142755.4	523912	11907.1	0.03776
Листяний ліс	0.9234	3.3889	0.07702	2.4423	676168.9	2481540	56398.63	0.1788
Пасовища	0.70409	2.5840	0.05873	1.8622	1237847	4542897	103247.7	0.3274
Луки зволожені	0.81995	3.0092	0.06839	2.1687	1539309	5649262	128392.4	0.4071
Для загальної розрахункової площі	0.6192	2.2725	0.05165	1.6377	1444754.9	53022506	120505.7	3.8212

Таблиця 2. 13

Річні значення GPP та NPP, усереднені для розрахункової площі Миколаївської області за 2000–2010 рр. за даними MOD17 A3

Рік	Усереднене GPP C кг/м ² за рік	Усереднене NPP C кг/м ² за рік
2000	0.6277	0.389
2001	0.7175	0.4309
2002	0.5957	0.3422
2003	0.6069	0.3661
2004	0.7493	0.4611
2005	0.682	0.4213
2006	0.6866	0.4292
2007	0.4766	0.2756
2008	0.6858	0.4007
2009	0.5888	0.342
2010	0.7395	0.4328
Середнє	0.6506	0.3901

хункової площі Дніпропетровської області за 2000–2010 рр. за даними MOD17 A3, подібна до Миколаївської області. Зокрема, спостерігається різке падіння GPP та NPP у 2007 р. через значну посуху.

При визначенні усереднених значень GPP та NPP для сільгоспкультур (озимі зернові, кукурудза, соняшник) для Черкаської області використовувались окремі поля півдня Київської області у граничних районах, що практично знаходились в одних ландшафтно-кліматичних умовах з полями Черкаської області. Тому визначені значення GPP та NPP наближено характеризують також поля південних районів Київської області.

Класифіковане зображення Черкаської області

показано на рис. 2. 17, а результати розрахунків GPP та NPP аналогічно до Миколаївської та Дніпропетровської областей представлені в табл. 2.17–2. 19.

При порівнянні річних значень GPP та NPP трьох досліджених областей добре помітно, що у Черкаській області вони значно вищі (приблизно на 10–15%), ніж у Миколаївській та Дніпропетровській областях. В той же час Миколаївська та Дніпропетровська області за цими показниками майже не відрізняються одна від одної. Для Миколаївської області вони трохи вищі, але несуттєво.

У першому наближенні, якщо припустити, що усереднене річне значення GPP та NPP для південних областей України (Одеська, Херсонська, Запорізька області) подібне до такого Миколаївської області, а для центральних та східних областей України (Кіровоградська, Донецька, Луганська області) — відповідно до Дніпропетровської області, а для решти областей (західні, північні і центрально-північні області України) взяти усереднені значення Черкаської та Київської областей, то ми отримуємо, враховуючи дані класифікації, наближений сумарний внесок у GPP та NPP сімох основних типів рослинного покриву для території України (табл. 2. 20).

У подальшому планується значно уточнити ці дані (табл. 2.19) за рахунок детальних вимірів і визначень

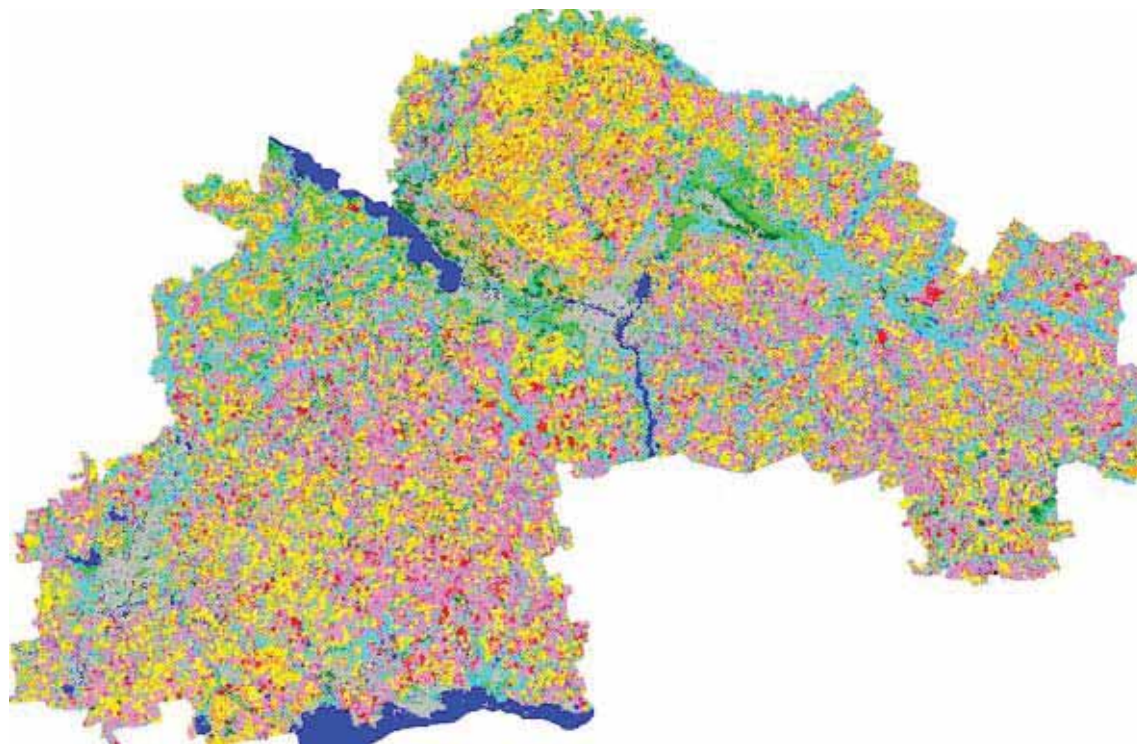


Рис. 2. 16. Результати класифікації земного покриття в межах Дніпропетровської області за даними MODIS у 2013 р. для оцінки динаміки зміни GPP та NPP для посівів сільгоспкультур (табл. 2.14). Умовні позначення (кольори) див. на рис. 2.11. Підрахунки річних значень GPP та NPP для основних класів земного покриття Дніпропетровської області представлені в табл. 5, а перерахунки для GPP з C кг/м² за рік у CO₂ кг/м²·рік та у CO₂·мкг-моль/м²·с в табл. 2.15.

Таблиця 2. 14

Річні значення GPP та NPP для основних сільгоспкультур та інших класів земного покриття в межах Дніпропетровської області за даними MOD17 (вегетаційний цикл 15 жовтня 2012 р. – 15 жовтня 2013 р.)

Клас земного покриття	Площа, км ²	Усереднене GPP, С кг/м ² за рік	Усереднене NPP, С кг/м ² за рік	Сумарне GPP для області, С т рік	Сумарне NPP для області, С т рік	% від GPP області	% від NPP області	% від розрахункової площі області
Озимі зернові	5857.14	0.6578	0.4825	3853061	2826011	26.7	26.3	25.1
Соняшник	5405.75	0.5634	0.3897	3045600	2106350	21.1	19.6	23.17
Кукурудза	2358.25	0.6033	0.4043	1422732	953464.1	9.85	8.86	10.11
Сосновий ліс	194.54	0.7338	0.4434	142755.4	86264.87	0.99	0.8	0.834
Листяний ліс	732.26	0.9234	0.5555	676168.9	406777.8	4.68	3.78	3.138
Пасовища, луки на вододілах	1758.08	0.7041	0.5301	1237847	931940.6	8.57	8.66	7.535
Луки долин, річок, заболочені луки	1877.32	0.8199	0.5267	1539309	988634.3	10.7	9.19	8.046
Інші класи*	5149.6	0.4913	0.4775	2530054	2458869	17.51	22.85	22.05
Загальна розрахункова площа	23332.5	0.6195	0.4611	14447526	10758312	100	100	100

Таблиця 2. 15

Перерахунки усереднених річних GPP з С кг/м² у CO₂ кг/м² та у CO₂ кг-моль/м² за рік і дкмоль CO₂ /м² за с для Дніпропетровської області

Клас	С, кг/м ² за рік	GPP CO ₂ , кг/м ² за рік	GPP CO ₂ , кг-моль/м ² за рік	GPP CO ₂ , μмоль/м ² за сек.	Сума GPP, С т за рік для області	Сума GPP CO ₂ , т за рік для області	Сума GPP CO ₂ , т-моль за рік для області	Сума GPP CO ₂ , μмоль за сек. для області *10 ¹⁰
Озимі зернові	0.6571	2.4115	0.0548	1.7379	4630777	16994950	3862489	1.2248
Соняшник	0.5121	1.8792	0.0427	1.3543	2890082	0606602	241059.1	0.7644
Кукурудза	0.585	2.1469	0.0488	1.5472	2224102	8162455	185510.3	0.5882
Сосновий ліс	0.8107	2.9752	0.0676	2.1441	631984.5	2319383	52713.25	0.1672
Листяний ліс	0.9133	3.3519	0.0762	2.4156	808625.2	2967655	67446.7	0.2139
Пасовища	0.6797	2.4945	0.0567	1.7977	1331619	4887040	111069.1	0.3522
Луки зволожені	0.7372	2.7056	0.0615	1.9499	3280390	12039033	273614.4	0.8676
Для загальної розрахункової площі	0.6029	2.2126	0.0503	1.5946	17850468	65511217	1488891	4.7212

GPP та NPP основних типів рослинного покриття в межах кожної адміністративної області України.

Таким чином, можна відмітити такі особливості накопичення GPP та NPP для розглянутих областей. Найбільші річні значення GPP та NPP для територій з посівами основних сільгоспкультур має Черкаська область та південь Київської області. Для Дніпропетровської області характерні найнижчі значення, але вони мало відрізняються від таких Миколаївської області. Те саме стосується решти рослинного покриття.

У структурі посівних площ Миколаївської та Дніпропетровської областей озимі зернові становлять близько 25% і відповідно їх внесок у GPP та NPP перевищує 25%. На ліси тут припадає майже 5%.

Для Черкаської області та півдня Київської області у структурі посівних площ спостерігається перевага кукурудзи — приблизно 20%, і внесок в GPP та NPP цієї культури сягає приблизно 21%.

Ліси Черкаської області займають площу близько 15%, але їх внесок у поглинання CO₂ досить суттєвий — понад 20%.

Загалом, внесок рослинного покриття агроценозів і, зокрема, територій зайнятих посівами озимих зернових культур, соняшника та кукурудзи, у річні показники GPP та NPP і відповідно у накопичення вуглецю та поглинання CO₂ для розглянутих областей досить значний. Лише для зазначених культур він становить біля 55% для Миколаївської та Дніпропетровської областей та майже 45% для Черкаської області. Звичайно, таке поглинання CO₂

необхідно враховувати у загальному карбоновому балансі.

Перерахунки значень GPP з C, $кг/м^2$, за даними MOD17 A2 в усереднені значення поглинання CO₂, $μмоль/м^2$ за с, показують, що вони змінюються в інтервалі приблизно від 1.4 до 3.3 $μмоль/м^2$ за с. Найменші значення характерні для територій, де зафіксовані посіви соняшника в Дніпропетровській області, а найбільші — для територій листяних лісів у Черкаській області та у південних районах Київської області. Слід зазначити, що за даними MOD17 A2 в періоди активної фази вегетації значення GPP та NPP значно перевищують усереднені значення у $μмоль/м^2$ за с, які приведені до сумарних річних накопичень GPP та NPP. Так, в окремі періоди росту за 8-денними серіями MOD17 A2 фіксуються значення GPP, що, наприклад, для озимих зернових в 4.5 рази перевищують усереднені за рік значення. Те саме стосується інших типів рослинного покриву.

В подальшому планується продовжити подібний

Таблиця 2.16

Річні значення GPP та NPP, усереднені для розрахункової площі Дніпропетровської області за 2000–2010 рр. за даними MOD17 A3

Рік	Усереднене GPP C, $кг/м^2$ за рік	Усереднене NPP C, $кг/м^2$ за рік
2000	0.6357	0.4002
2001	0.6578	0.3976
2002	0.5569	0.3163
2003	0.6364	0.3875
2004	0.7329	0.4619
2005	0.6757	0.4172
2006	0.6556	0.4026
2007	0.4842	0.2602
2008	0.606	0.3454
2009	0.5542	0.3242
2010	0.7575	0.3538
Середнє	0.6321	0.3697

моніторинг для наступних років та деяких інших областей, а також провести ретроспективні дослідження для окремих ділянок з метою виявлення тенденції зміни GPP та NPP в часі.

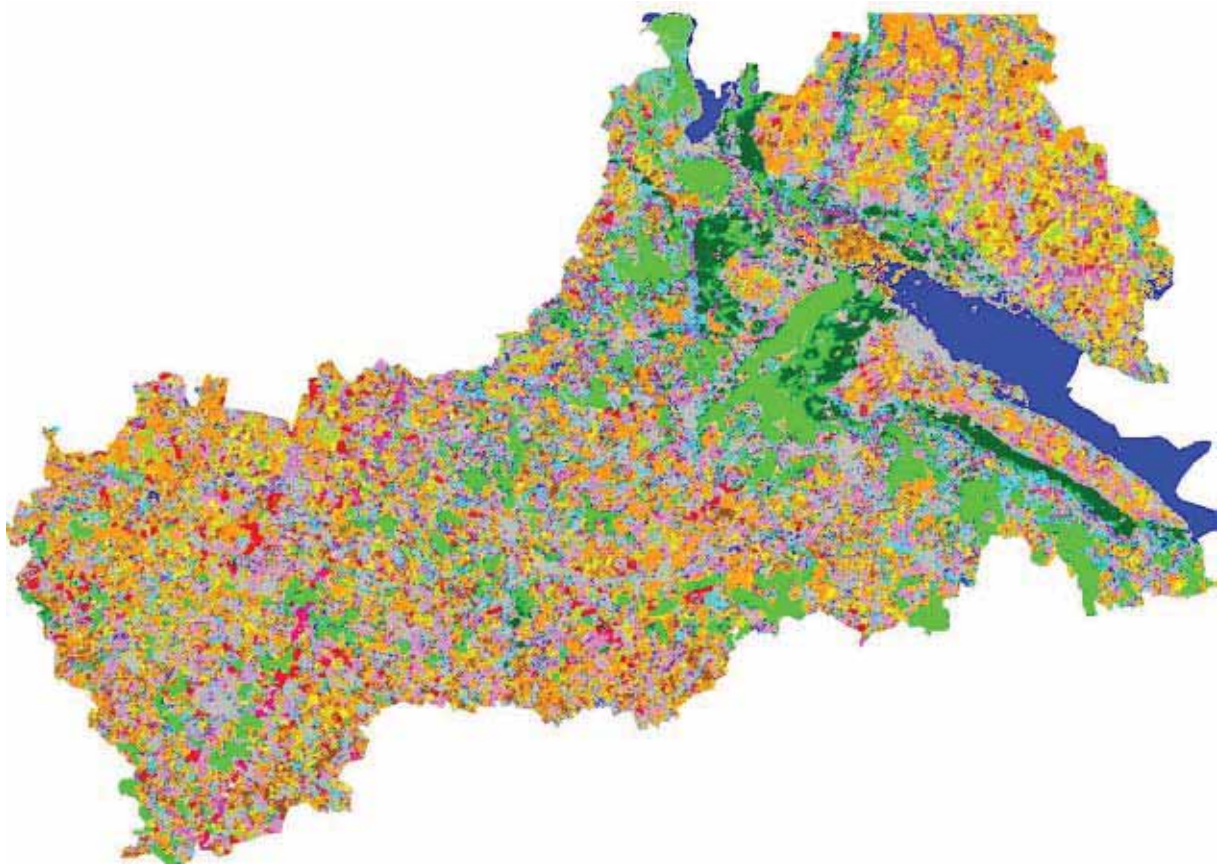


Рис. 2. 17. Результати класифікації земного покриття в межах Черкаської області за даними MODIS у 2013 р. для оцінки динаміки зміни GPP та NPP для посівів сільгоспкультур (табл. 2.17, 2.18). Умовні позначення (кольори) див. на рис. 2. 10

Список літератури до розділу 2. 4

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / [Лялька В. І., Федоровський О. Д., Попов М. О. та ін.] за ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 357 с.

2. Дрѐ Ф. Экология. / Ф. Дрѐ — М.: Атомиздат, 1976. — 168 с.
3. Закон України “Про охорону земель” (ст.) м. Київ, 19 червня 2003 року N 962-IV.
4. Кобак К. И. Биотические компоненты углеродного цикла. / К. И./ Кобак — Л.: Гидрометеоиздат, 1988 — 248 с.
5. Паламарчук М. М. Географія України: Підр. для серед-

Таблиця 2. 17

Річні значення GPP та NPP для основних сільгоспкультур та інших класів земного покриття в межах Черкаської області за даними MOD17 (вегетаційний цикл 15 жовтня 2012 р.– 5 жовтня 2013 р.)

Клас земного покриття	Площа км ²	Усереднене GPP Скг/м ² за рік	Усереднене NPP Скг/м ² за рік	Сумарне GPP для області С т рік	Сумарне NPP для області С т рік	% від GPP області	% від NPP області	% від розрахункової площі області
Озимі зернові	2 653.1	0.7686	0.5897	2 039 075	1 564 506	15.1	15.4	13
Соняшник	1 541.36	0.6364	0.4866	980 862.6	749 948.1	7.264	7.38	7.55
Кукурудза	4 398.14	0.6721	0.4980	2 95 5798	219 0375	21.89	21.55	21.5
Сосновий ліс	830.56	0.9327	0.6025	774 667.7	500 422	5.737	4.925	4.07
Листяний ліс	1 861.67	1.2600	0.8537	2 345 717	1 589 385	17.37	15.64	9.12
Пасовища луки на вододілах	607.3	0.7704	0.5723	467 882.1	3 47 585.7	3.465	3.42	2.97
Луки долин річок заболочені луки	1 761.2	0.9247	0.6152	1 628 617	1 083 512	12.06	10.66	8.63
Інші класи*	3 601.0	0.6417	0.5932	2 310 795	2 136 144	17.11	21.02	20.87
Загальна розрахункова площа	1 7254.3	0.7826	0.58895	13 503 415	10 16 1877	100	100	100

* Те саме, що і для табл. 2.10.

- шк. — 2-ге вид., перероблене і доповнене. — К.: Освіта, 1992. — 159 с.: іл., карти.
- Classification of space images for forest state identification within the Siberia region (Part 1) / [A. I. Sakhatsky, V. I. Lyalko, A. Ja. Khodorovsky, I. Ja. Bujanova, J. McCallum] — Laxenburg: Austria, IIASA, IR-02-29 / April 2002. — 45 p. — Режим доступу до матеріалів: <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-02-029.pdf>
 - Earth observation of Ukraine and Siberia for an estimation of their state, fire risk and carbon cycle / [V. I. Lyalko, S. Nilsson, A. I. Sakhatsky, A. Shvidenko, J. McCallum, A. Ja. Hodorovsky, O. G. Harechko] // New Strategies for European Remote Sensing (Ed. M. Oluic). — Rotterdam, Millpress, 2005. — P. 269–277.
 - Evaluation of MODIS GPP over a complex ecosystem in East Asia: A case study at Gwangneung flux tower in Korea / Shima C., Hong Jiyoun, Hong Jinkyu, Kim Y., Kang M., Thakuri B. M., Kim Y., Chun J. // Advances in Space Research, Elsevier, 2014 — [Електронний ресурс] — Режим доступу: www.elsevier.com/locate/asr (article in press).
 - Evaluating Parameter Adjustment in the MODIS Gross Primary Production Algorithm Based on Eddy Covariance Tower Measurements / Jing Chen, Huifang Zhang, Zirui Liu, Mingliang Che Baozhang Chen // Remote Sens. 2014, 6, 3321–3348. — [Електронний ресурс] — Режим доступу: www.mdpi.com/journal/remotesensing. doi:10.3390/rs6043321.
 - Monteith, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. / Monteith, J. L. // J. Applied Ecology. — 1972. — Vol. 9. — P. 747–766.
 - User's Guide GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products NASA MODIS Land Algorithm; Version 2.0 / Heinsch, F. A., Reeves, M., Votava, P., Kang, S., Milesi, C., Zhao, M., Glassy, J., Jolly, W. M., Loehman, R., Bowker, C. F. et al. — Washington: MODIS Land Team, DC, USA, 2003. — 17 p.
 - <http://www.apk-inform.com/ru/meteocond/1016736>.
 - <http://www.apk-inform.com/ru/meteocond/1017439>.
 - <http://www.apk-inform.com/ru/meteocond/1018218>.
 - uk.wikipedia.org/wiki/Черкаська_область.
 - <http://vsviti.com.ua/2014/07/oleshky-sands/>.