

УДК 633.282:631.42:502.057

РОЗРАХУНОК ВАЛОВОГО ЗБОРУ БІОМАСИ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ ІНДЕКСІВ NDVI

КВАК В.М.^{1*},
ЦАПКО Ю.Л.²,
ПЕТУХОВ І.В.³,
ЦВІГУН Г.В.¹

¹ Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН; 03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25.

*e-mail: kvak-vm@ukr.net

² ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського», 61024, вул. Чайковська, 4, м. Харків.

³ ТзОВ «Енерго Аграр» 07353, вул. Польова 5, с. Старі Петрівці Вишгородського району, Київської обл.

Постановка проблеми. Розвиток техніки з кожним роком відкриває перед нами все нові й нові можливості. Ні для кого не секрет, що використання штучних супутників Землі дає можливість люду проводити фотографування великих територій нашої планети в різних спектрах і з певною періодичністю. Обробка таких фотографій за допомогою комп'ютерних програм дає можливість вирішувати багато завдань, пов'язаних із спостереженням за великими територіями.

У 1973 році Rouse B. J. та співавтори розробили алгоритм для розрахунку NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, нормалізований відносний індекс рослинності) — простий кількісний показник кількості фотосинтетичної активної біомаси (що зазвичай називається вегетаційним індексом). Один із найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, які пов'язані із кількісними оцінками рослинного покриву [1]. Дані технології можна використовувати в сільськогосподарському виробництві для своєчасного й якісного моніторингу стану полів, визначення урожайності рослин та інше.

У випадку, коли поле має деяку строкатість за родючістю, а висота рослин перевищує три метри, то визначення середньої урожайності по полю може бути проблематичним. А також вести моніторинг за станом насаджень упродовж вегетаційного періоду рослин. Для цього можна використати дані супутникового зондування полів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як повідомляє С. Р. Трускавецький: «Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), зокрема, дані супутникової зйомки широко використовуються в агропромисловому комплексі багатьох кра-

їн світу (США, Канада, країни Євросоюзу, Індія, Японія тощо). Наразі в Україні вже робляться спроби використання дистанційного зондування Землі в точному землеробстві. Це космічна або аерофотозйомка великих площ для вирішення завдань великомасштабного картування полів (складання планів) і побудови цифрових карт рельєфу. Ці дані стають матеріальною основою створення геоінформаційних систем (ГІС) для точного землеробства» [2]. Дані дистанційного зондування допомагають розв'язувати такі завдання:

- інвентаризація сільськогосподарських угідь;
- створення й поновлення карт оброблюваних земель;
- кількісна оцінка хімічного складу ґрунтів;
- оцінка обсягу й якості проведення польових робіт, контроль їхнього виконання;
- розрахунок кількості внесених добрив;
- планування посівних робіт;
- оцінка схожості сільськогосподарських рослин;
- оптимізація зрошення й витрат водних ресурсів;
- ведення моніторингу стану посівів;
- прогноз урожайності сільськогосподарських культур;
- контроль якості збору врожаю;
- ведення екологічного моніторингу угідь;
- охорона посівів від пожеж, пошкоджень і крадіжок [3,4].

Стосовно питань уточнення меж, виділення та врахування площ механічно чи термічно пошкоджених посівів, або, навпаки, якості польових робіт і збирання врожаю не виникає особливих складнощів, тому що це вже добре пророблене питання, що є суто технічним завданням. Однак що стосується оцінки стану посівів та прогнозу врожаю, а, тим більше, виміру ґрунтових параметрів, тут все набагато складніше та методично недостатньо вирішене.

Як правило, в усьому світі оцінка стану рослинності при застосуванні аерозйомки проводиться за допомогою нормалізованого вегетаційного індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [4]. Індекс розраховується як різниця значень відображення в ближній інфрачервоній і червоній областях спектру, поділена на їх суму. В результаті значення NDVI змі-

нюються в діапазоні від -1 до 1. Для зеленої рослинності відображення в червоній області завжди менше, ніж в ближній інфрачервоній, за рахунок поглинання світла хлорофілом, тому значення NDVI для рослинності не можуть бути меншими 0. NDVI характеризує також щільність рослинності, дозволяє оцінити схожість і ріст рослин, продуктивність угідь [5].

Отже, для розрахунку індексу NDVI знімки мають бути зроблені спеціальною NIR-модифікованою камерою, такі знімки можна отримати із супутника.

Метою досліджень було дослідити можливість використання супутникових даних на основі вегетаційних індексів NDVI для виявлення неоднорідності густоти насаджень міскантусу гігантського в межах одного поля та визначення валового збору біомаси.

Матеріали і методика досліджень. Дослідження проводились впродовж 2016–2018 рр. на насадженнях міскантусу гігантського, що висаджені ТзОВ «Енерго Аграр» у Фастівському р-ні. Київської обл. Технологія вирощування міскантусу гігантського — типова для зони Центрального Лісостепу України [6].

Рельєф місцевості переважно рівнинний, із невеликими схилами та має декілька долин (блюдець) закритого типу. Ґрунт за механічним складом належить до легкого, має близько 12 ґрунтовідмін. Материнська порода на лесі й частково суглинкова, не дає можливості провести глибоку оранку, так як суглинок залягає на глибині 24–26 см. Згідно з цим, орний шар не глибокий 22–24 см. Супіщані ґрунти мають високу здатність звільнюватись і піддаватись до водної ерозії, водночас, вони легко обробляються, здатні створювати пухкий шар, що забезпечує вільний доступ повітря до коренів рослин. Вміст гумусу в орному шарі (0–30 см) — 0,42% [7], реакція ґрунтового розчину — слабко-кисла (рН сольової витяжки становить 5,2) [8]. Сума увібраних основ 0,5 мг-екв 100 г сухого ґрунту, насиченість поглинаючого комплексу — 93%; лужногідролізованого азоту в орному шарі ґрунту — 70 мг (за Корнфілдом) [9]; рухомих форм фосфору — 220 мг (P2O5 за Кірсановим) [10]; обмінного калію — 60 мг на кг ґрунту (K2O за Чіріковим) [11].

Космічні знімки поля, зроблені супутником Sentinel 2, отримували за допомогою програмного забезпечення «Дневник Агронома» (2016 р) [12] та Soft Farm (2017–2018 рр.) [13] за вегетаційний період. Відповідно до отриманих знімків,

проводили польові обстеження весною під час збору врожаю, у трьох точках (А, Б, В) відбирались ґрунтові (2016 р.) [14] та рослинні (2016–2018 рр.) зразки для аналізів. У ґрунтових зразках визначали гранулометричний склад (за Качинським) [15] та вміст рухомих сполук фосфору, калію (за Чиріковим) [11]; в рослинних зразках — вологість.

Також у кожній із точок вимірювали: Густоту рослин — прямим підрахунком кількості рослин на прямокутній ділянці із сторонами по 20х7 м. Кількість повторень — чотирикратна.

Висоту рослин визначали шляхом вимірювання висоти 20 рослин поспіль у рядку та з розрахунку середньої висоти [16].

Кількість пагонів — прямим підрахунком на тих самих рослинах, що й висоту [16].

Масу рослин визначали шляхом зрізання та зважування цих рослин [16].

Урожайність сухої біомаси, вихід твердого палива та вихід енергії визначали розрахунковим методом [6].

Результати досліджень. За допомогою програмного забезпечення «Дневник Агронома» було отримано кольорову гістограму зміни NDVI за відносною площею поля, яку займали рослини міскантусу гігантського першого року вегетації з відповідним значенням індексу (рис. 1), який залежно від стану рослинного покриву змінюється від 0,195 до 0,648, що відображено кольором (від темно-червоного до темно-зеленого) в конкретній точці поля.

Тому для досліджень було вибрано три точки (А, Б, В), які відображають на знімку три контрастні за кольором зони (рис. 2).

Точка А — характеризує ділянку з найменшим значенням вегетаційного індексу 0,195 (темно-червоний колір). Точка Б — за кольором (зелений) відповідає середній частині діаграми, із значенням вегетаційного індексу 0,440 та

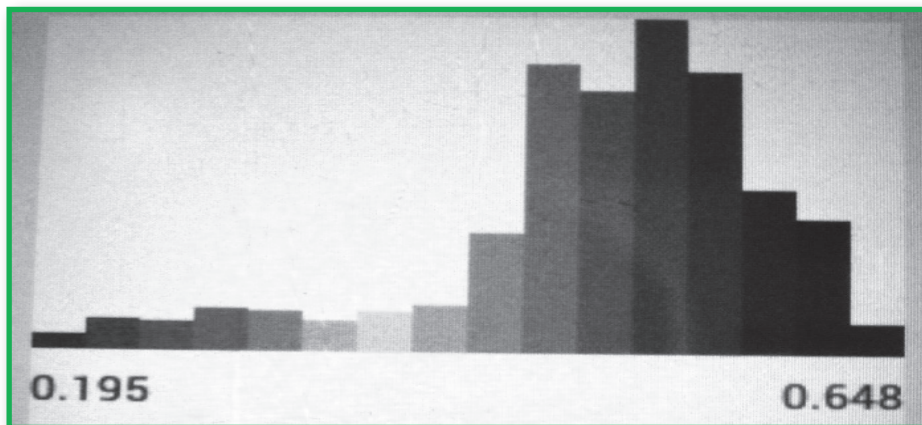
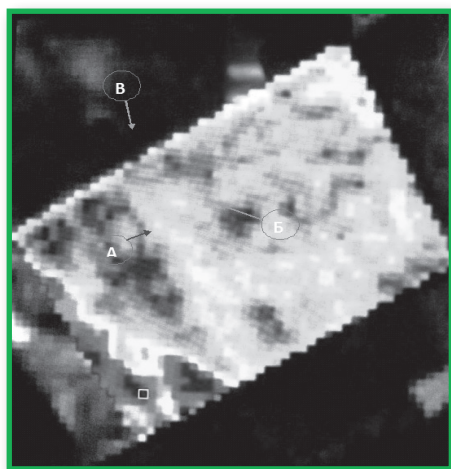


Рис. 1. Гістограма індексу NDVI

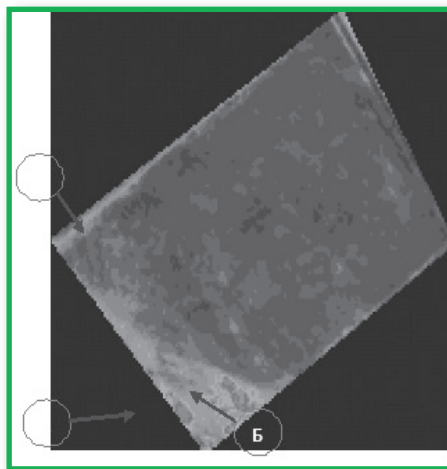
Таблиця 1.

Стан рослин міскантусу

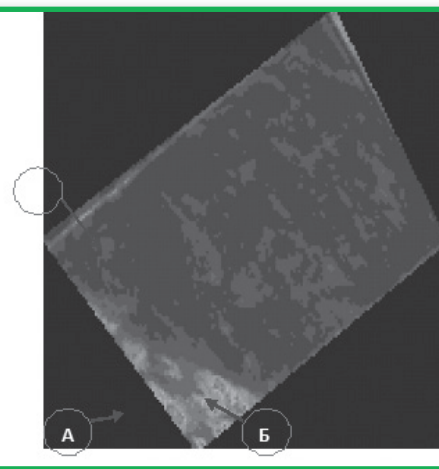
№ вар.	Висота рослин, см	Кількість пагонів, шт	Маса надземної частини однієї рослини, г	Вегетаційний індекс NDVI	Густота рослин, тис. шт/га
Перший рік вегетації					
А	48	7	40	0,195	11,1
Б	71	15	128	0,440	11,4
В	110	30	399	0,640	11,5
НІР0,5	11	1	9		0,2
Другий рік вегетації					
А	158	11	378	0,240	11,1
Б	224	29	1431	0,650	11,4
В	261	43	2490	0,730	11,5
НІР0,5	10	2,0	107		0,2
Третій рік вегетації					
А	143	16	489	0,300	11,1
Б	236	36	1851	0,760	11,4
В	317	50	3465	0,800	11,5
НІР0,5	11	2	133		0,2



а)



б)



в)

Рис. 2. Карта розподілу індексу NDVI в яскравих кольорах а) липень 2016 р.; б) липень 2017 р.; в) липень 2018 р.

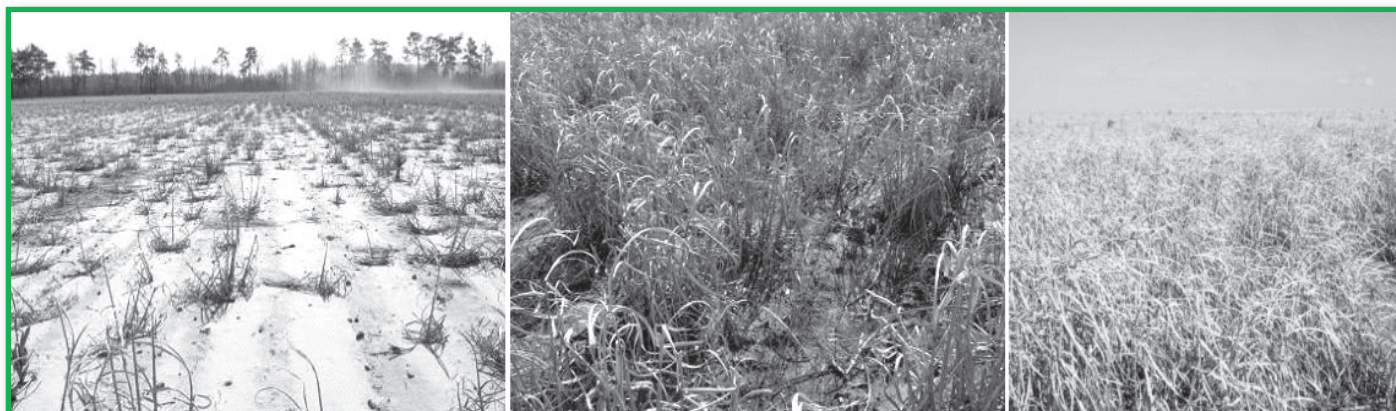


Рис. 3. Зовнішній вигляд поля в досліджуваних точках (А, Б, В) у перший рік вегетації (березень 2017 р.)

Гранулометричний склад ґрунту (березень 2017)

Таблиця 2.

№ вар.	Вміст гранулометричних фракцій, %							Назва ґрунту
	1-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005 мм	0,005-0,001 мм	< 0,001 мм	сума фракцій < 0,01 мм	
А	70,04	17,76	7,20	0,20	0,45	4,35	5,00	зв'язаний пісок
Б	64,61	21,71	7,47	0,81	3,35	5,05	6,21	зв'язаний пісок
В	49,62	24,77	10,81	6,41	0,61	7,78	14,80	супісь

Таблиця 3.

Вміст фосфору та калію в досліджуваних точках поля, мг/кг (березень 2017)

№ вар.	P2O5	K2O	Метод визначення	Назва ґрунту
А	73,15	27,11	За Чиріковим ДСТУ 4115-2002 [11]	зв'язаний пісок
Б	99,61	30,13		зв'язаний пісок
В	235,30	72,30		супісь

Таблиця 4.

Продуктивність рослин міскантусу

№ вар.	Урожайність сухої біомаси, т/га	Вихід твердого палива, т/га	Вихід енергії, ГДж
Перший рік вегетації			
А	0,3	0,3	5,0
Б	0,8	0,9	16,5
В	2,6	2,9	51,8
НІР0,5	0,1		
Другий рік вегетації			
А	2,2	2,4	43,2
Б	8,5	9,3	168,0
В	14,9	16,4	294,8
НІР0,5	0,6		
Третій рік вегетації			
А	2,7	2,9	52,7
Б	10,3	11,4	204,7
В	19,5	21,5	386,6
НІР0,5	0,7		

точка В показує найбільше значення — 0,648 (темно-зелений).

Провівши обліки та спостереження за станом рослин у вказаних точках (рис. 3), результати якого подано в таблиці 1, встановлено, що біометричні показники (кількість пагонів, висота й маса рослин) та густина насаджень відображають значення вегетаційного індексу, збільшення одного супроводжується збільшенням іншого.

Так, у перший рік вегетації рослини в точці А мали висоту 48 см та кількість пагонів 7 шт, що відповідає 0,195 значення вегетаційного індексу, в точці Б ці показники були вдвічі більшими, що призвело до збільшення індексу в два рази, у точці В усі показники також зросли. Така тенденція збереглась і в наступні роки. Також слід відмітити, що в точках А, Б і В спостерігалось незначне (в межах НІР0,5) збільшення густоти насаджень, що відобразилось на збільшенні NDVI індексу.

Як виявилось за результатами аналізу ґрунтових проб, які було відібрано в кожній точці, ґрунти відрізнялись між собою за гранулометричним складом (табл. 2) та вмістом мікроелементів (табл. 3). Так, у точках А і Б за гранулометричним складом виявлено зв'язаний пісок, а в точці В — супісок.

Результати агрохімічного аналізу показують збільшення рухомих форм фосфору та калію від 73,15 до 235,30 і від 27,11 до 72,30 мг/кг ґрунту відповідно з точки А до точки В, що стало причиною зміни біометричних показників рослин, а в кінцевому результаті й урожайності.

За результатами досліджень (табл. 4) встановлено, що врожайність сухої біомаси міскантусу гігантського в різних частинах поля змінюється в залежності від ґрунтових умов з 0,3 до 2,6 т/га у перший, з 2,2 до 14,9 т/га у другий та з 2,7 до 19,5 т/га у третій роки вегетації.

За допомогою вегетаційного індексу NDVI легко визначити валовий збір біомаси міскантусу гігантського, знаючи середню врожайність у різних ґрунто-

Таблиця 5.

Валовий збір сухої біомаси з одного поля, т

№ вар.	Площа, га	Урожайність сухої біомаси, т/га	Урожай сухої біомаси у відповідній точці, т	Валовий збір сухої біомаси з цілого поля, т
Перший рік вегетації				
A	15	0,3	4	257,7
Б	22	0,8	18	
В	90	2,6	236	
НІР0,5		0,1		
Другий рік вегетації				
A	4	2,2	9	1763,5
Б	12	8,5	102	
В	111	14,9	1653	
НІР0,5		0,6		
Третій рік вегетації				
A	3	2,7	8	2346,2
Б	9	10,3	93	
В	115	19,5	2245	
НІР0,5		0,7		

вих відмінах поля. Для цього визначаємо, яку площу займають рослини з точок А, Б і В, потім перемножуємо на їх врожайність у даній точці і підсумовуємо по всьому полі.

$$Взб = Sa \cdot Ya + Sb \cdot Yб + Sv \cdot Yв$$

де Взб — валовий збір сухої біомаси, т;

Sa — площа, яку займають рослини із NDVI у відповідній точці;

Ya — урожайність біомаси у відповідній точці.

Валовий збір біомаси у перший, другий та третій роки вегетації подано у таблиці 5.

За нашими розрахунками, валовий збір біомаси міскантусу з поля в перший рік становив 257,7 т, у другий — 1763,5 т, у третій — 2346,2 т.

Висновки

1. За допомогою супутникових даних на основі вегетаційних індексів NDVI легко спостерігати за станом рослин на великій площі, виявляти неоднорідності густоти насаджень.

2. За допомогою ортопланів полів можна розрахувати валовий збір біомаси, який у перший рік становив 257,7 т, у другий — 1763,5 т, у третій — 2346,2 т.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

- Rouse J.W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I. 1973. P. 309–317.
- Трускавецький С.Р., Биндич Т. Ю., Коляда Л. П., Вяткін К. В., Шерстюк О. І. Використання даних супутникової зйомки в системах точного землеробства. Інженерія природокористування. 2017. № 1. С. 29–35. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/lprk_2017_1_7
- Мереф'янський Г., Петренко І. Агрокоптер, або Дрон польовий. Агробізнес Сьогодні. 2015. № 18(313). URL: <http://agro-business.com.ua/mekhanizatsiia-ark/2548-agrokopter-abo-dron-poliyuyi.html>
- Ачасов А.Б., Ачасова А. О., Тітенко Г. В., Селіверстов О. Ю., Седов А. О. Щодо використання БПЛА для оцінки стану посівів. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». 2015. Вип. 13. С. 13–18.
- Ачасова А. О. Оцінити стан посівів звичайною фотозйомкою. 2016. URL: <http://www.50northspatial.org/ua/otsinka-stanu-positiv/>
- Курило В.Л., Ганженко О. М., Гументик М. Я., Квак В. М. та ін. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення міскантусу гігантського. Київ: ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ», 2016. 40 с.
- ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. [Чинний від 01.07.2005]. Вид. офіц. Київ. Держспоживстандарт України, 2005. 15 с.
- ДСТУ ISO 10390:2007 Якість ґрунту. Визначення рН. [Чинний від 01.10.2009]. Вид. офіц. Київ. Держспоживстандарт України, 2009. 8 с.
- ДСТУ 7863:2015 Якість ґрунту. Визначення легкогідролізованого азоту методом Корнфілда. [Чинний від 01.07.2016]. Вид. офіц. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2016. 5 с.
- ДСТУ 4405:2005 Якість ґрунту. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА. [Чинний від 30.05.2015]. Вид. офіц. Київ. Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
- ДСТУ 4115–2002 ґрунти. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирікова. [Чинний від 27.06.2002]. Вид. офіц. Київ. Держспоживстандарт України, 2002. 6 с.
- Дневник Агронома. Москва: ООО «Агроноут», 2015.
- Soft.Farm Eye — Агроном. Черкаси: QuartSoft Ltd., 2016.
- ДСТУ 4287:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 30.04.2004]. Вид. офіц. Київ. Держспоживстандарт України, 2004. 6 с.
- ДСТУ 4730:2007 Якість ґрунту. Визначення гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н. А. Качинського. [Чинний від 01.01.2008]. Вид. офіц. Київ. Держспоживстандарт України, 2008. 18 с.
- Фучило Я.Д., Сінченко В. М., Ганженко О. М., Гументик М. Я., та ін. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь: монографія / за ред. члена-кореспондента НААН Сінченко В. М. Київ: ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ», 2018. 137 с.

АНОТАЦІЯ

РОЗРАХУНОК ВАЛОВОГО ЗБОРУ БІОМАСИ МІСКАНТУСУ ГІГАНТСЬКОГО ЗА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ НА ОСНОВІ ІНДЕКСІВ NDVI КВАК В.М.^{1*}, ЦАПКО Ю.Л.², ПЕТУХОВ І.В.³, ЦВІГУН Г.В.¹

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН; 03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25. *e-mail: kvak-vm@ukr.net

²ННЦ «Інститут ґрунтознавства і агрохімії ім. О. Н. Соколовського», 61024, вул. Чайковська, 4, м. Харків.

³ТзОВ «Енерго Аграр» 07353, вул. Польова 5, с. Старі Петрівці Вишгородського району, Київської обл.

Мета. Дослідити можливість використання супутникових даних на основі вегетаційних індексів NDVI для виявлення неоднорідності густоти насаджень міскантусу гігантського в межах одного поля та визначення валового збору біомаси. **Метод.** Польовий та аналітичний. **Результати.** Наведено приклад використання вегетаційних індексів NDVI для визначення неоднорідності густоти стояння рослин міскантусу та їх продуктивності. Проведено розрахунок валового збору біомаси на основі супутникових даних за величиною вегетаційних індексів NDVI. **Висновок.** За допомогою супутникових даних на основі вегетаційних індексів NDVI легко спостерігати за станом рослин на великій площі, виявляти неоднорідності густоти насаджень. За допомогою ортопланів полів можна розрахувати валовий збір біомаси, який у перший рік становив 257,7 т, у другий — 1763,5 т, у третій — 2346,2 т.

Ключові слова: міскантус, дистанційний моніторинг рослинності, біомаса, густота рослин, вегетаційні індекси NDVI

ABSTRACT

UDC633.282:631.42:502.057
Calculation of miscanthus giganteus gross biomass yield using satellite data based on NDVI indices

Kvak V. M.^{1*}, Tsapko Yu. L.², Pietukhov I. V.³, Tsvihun H. V.¹
¹Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS; 03110, Kyiv, 25 Klinichna St. * e-mail: kvak-vm@ukr.net

²Institute of Soil Science and Agrochemistry named after Sokolovskiy O. N.; 61024, 4 Tchaikovska St., Kharkiv.

³Energo Agrar LLC; 07353, 5 Poliova St., Stari Petrivtsi, Vyshgorod district, Kyiv region

Purpose. Investigate the use of satellite data based on NDVI vegetation indices to detect the heterogeneity of giant miscanthus plantations within a single field and to determine the gross biomass yield. **Method.** Field and analytical. **Results.** An example of the use of NDVI vegetation indices for determining the heterogeneity of standing density of miscanthus plants and their productivity is given. The gross biomass yield based on satellite data on the magnitude of the NDVI vegetation indices has been calculated. **Conclusions.** Using satellite data based on NDVI vegetation indices it is easy to monitor the condition of plants over a large area, to detect inhomogeneity of planting density. With the help of orthoplanes of fields it is possible to calculate the gross biomass yield, which in the first year was 257.7 tons, in the second 1763.5 tons, and in the third 2346.2 tons.

Keywords: miscanthus; remote vegetation monitoring; biomass; plant density; NDVI vegetation indices