7. Филин В. И. Справочная книга по растениеводству с основами программирования урожая / В. И. Филин. – Волгоград: ВГСХА, 1994. – 274 с.
8. Рис в Узбекистане / В. Ф. Щупаковский, А. В. Нестеров, Н. П. Сборщикова, К. И. Коновалов, У. Мулладжанов. – Ташкент : изд-во Узбекистан, 1966. – 152 с.
9. Kruzhilin I. P. Water-Saving technology of dripirrigatedaerobicrice [Водосберегающаятехнологиявозделыванияаэробного-рисаприкапельноморошении] / Kruzhilin I. P., Doubenok N. N., Abdou N. M., Ganiv M. A., Melikhov V. V., Bolotin A. G., Rodin K. A. // Известия ТСХА. – 2015. – № 3. – С 47-56.

УДК 581.4:633.635:631.6(477.72)

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

ВОЖЕГОВА Р.А. – доктор с.-г. наук, професор, член-кореспондент НААН
БІЛЯЄВА І.М. – кандидат с.-г. наук , с.н.с.
КОКОВІХІН С.В. – доктор с.-г. наук, професор
Інститут зрошуваного землеробства НААН

Постановка проблеми. На різних рівнях живої матерії продукційні процеси проявляють себе порізному, проте їх феноменологічний опис завжди включає проростання, ріст, формування репродуктивних органів, урожай та загибель. Саме така структура життєдіяльності дозволяє застосовувати математичний апарат для опису продукційних процесів в біологічних системах, як природних, так і штучно створених людиною. Для отримання високих і сталих урожаїв с.-г. культур треба приймати до уваги багато метеорологічних та агротехнічних чинників. Особливе значення має агроекологічне обґрунтування технологій вирощування польових культур на зрошуваних землях. Наукові дослідження з встановлення впливу на продукційні процеси фотосинтетично-активної радіації (ФАР), частину сонячного спектра з довжиною хвилі від 380 до 740 нм, яка використовується рослинами для фотосинтезу, має актуальне значення з точки зору оптимізації використання природних та агротехнічних ресурсів, підвищення продуктивності зрошуваних земель, забезпечення економічної ефективності та екологічної безпеки зрошуваного землеробства [1-3].

Стан вивчення проблеми. Доведено, що 90-95% біомаси рослин формується з використанням сонячної енергії та вуглекислого газу атмосфери. Тому підвищення фотосинтетичної продуктивності сільськогосподарських культур з врахуванням показників сонячної радіації є однією з найпрогресивніших задач землеробської галузі та аграрного сектору економіки. Необхідність дослідження впливу сонячної радіації на фундаментальні фізіологічні процеси, як фотосинтез і транспірацію, з врахуванням впливу різних агротехнічних засобів (зокрема, зрошення), формування водного та поживного режимів ґрунту підтвердженно дослідженнями вчених з різних країн, особливо за умов використання сучасних комп'ютерних програм та інформаційних технологій [4].

Останнім часом досліджень з вивчення ефективності використання ФАР небагато, а існуючі методи для розрахунків оцінки показників сонячної енергії мають досить складний характер. Серед таких методів – визначення ФАР за емпіричними показниками прямої та розсіяної сонячної радіації при допомозі актинометричних спостережень, що потребує численних досліджень та складних розрахунків [5]. Один з достатньо точних методів для розрахунків місячних величин інтегральної радіації за сумами тривалості сонячного сяйва, є метод С.І. Сивкова [6]. Інтенсивність короткохвильової та довгохвильової радіації може бути виміряна при допомозі піранометрів, радіометра або соларметра. Ці інструменти містять сенсор, який встановлений на горизонтальній площині і вимірює показники радіації. Проте, слід зауважити, що ці методи потребують коштовного обладнання, високої кваліфікації персоналу та великої кількості розрахунків, що обумовлює необхідність удосконалення існуючих методів, зокрема розробки нових методів встановлення показників ФАР за допомогою сучасних інформаційних систем і технологій.

Завдання і методика досліджень. Завдання досліджень полягало в проведенні комп'ютерного моделювання впливу сонячної радіації на продуктивність сільськогосподарських культур в умовах зрошення півдня України за методикою Анґстрома та спеціального програмно-інформаційного комплексу CROPWAT 8.0.

Дослідження проведені з використанням спеціальних методик дослідної справи в зрошуваному землеробстві [7]. Якщо сонячну радіацію немає можливості виміряти спеціальними приладами, її можна розрахувати за формулою Анґстрома, яка пов'язує сонячну радіацію з позаземноюрадіацією і відносною тривалістю сонячного сяйва [8]. Використано програму CROPWAT 8.0, розроблену фахівцями ФАО ООН для розрахунку метеорологічних показників та водопотреби сільськогосподарських культур в умовах зрошення. Моделювання продуктивності зрошуваних сівозмін проводили за допомогою інтегральних показників ФАР. Також встановлювали залежності між надходженням ФАР та досліджуваними факторами на прикладі вивчення застосування енергозберігаючих елементів технології вирощування с.-г. культур в умовах зрошення. Для розрахунків використано експериментальні дані Інституту зрошуваного землеробства НААН за період 2011-2015 років. Джерело зрошення – Інгулецька зрошувальна система. Метеорологічні показники, які використовували для

моделювання, використовували за даними Херсонської агрометеорологічної станції [9].

Результати досліджень. В результаті вивчення матеріалів метеорологічних спостережень, що проведені на різних континентах Землі, встановлено, що клімат планети постійно змінюється під впливом космічних та антропогенних чинників як в напрямку похолодання, так і потепління (рис. 1). Разом з цими факторами на глобальні кліматичні умови чинить істотний вплив господарська діяльність людини, зокрема промислове виробництво та сільське господарства.

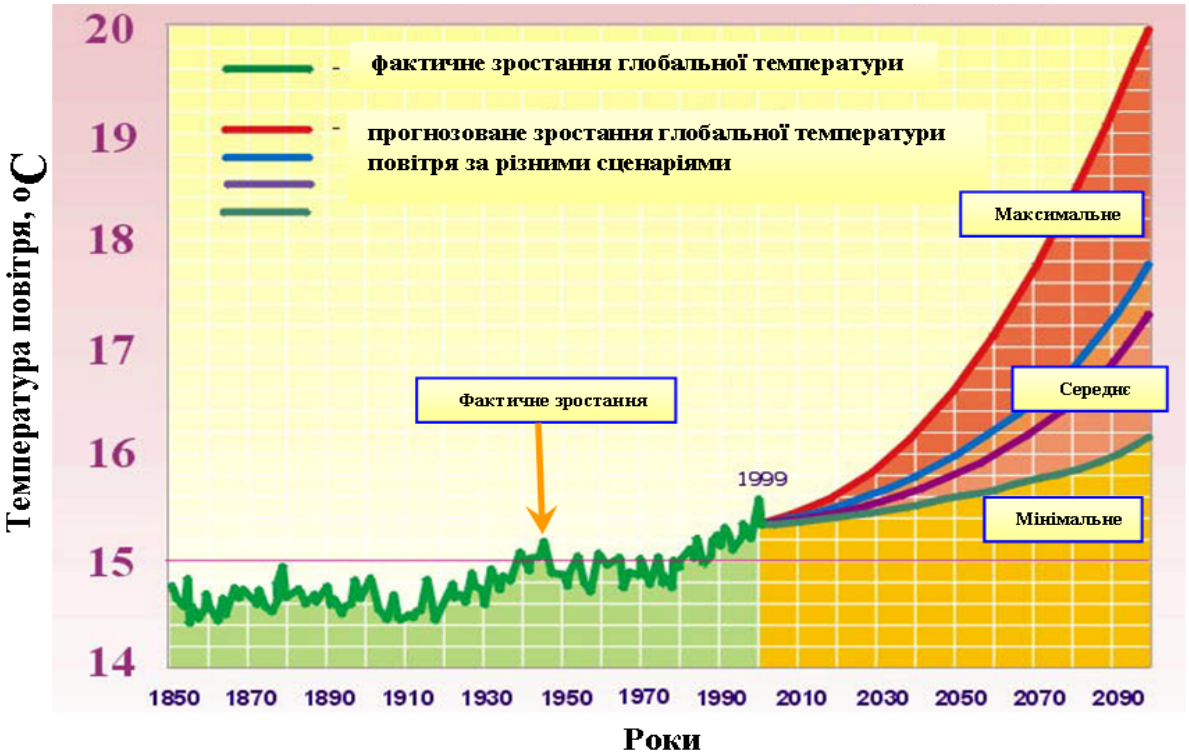

Рисунок 1. Фактичний та прогнозований температурний режим на Землі за період з 1850 по 2090 роки (за даними Міжнародної метеорологічної організації [10])

За останні 10 тис. років розповсюдження землеробства обумовило різке скорочення площ лісів, що також приводило до змін клімату та має безпосередній вплив на сільське господарство, в тому числі на продуктивність зрошення в аридних регіонах. Існуючі моделі глобальної зміни клімату свідчать, що зростання середньорічної температури можливо за чотирма сценаріями.

До негативних змін клімату на найближчу перспективу можна віднести збільшення наряду з температурами повітря також і інтенсивності сонячної радіації, що обумовить посилення дії посух, скорочення сніжного покриву, збільшення потужності паводків і повеней на річках, порушення рівномірності надходження атмосферних опадів, зростання ерозії ґрунтів тощо. За таких умов ефективність зрошення зростатиме, проте якщо воно буде використано з науковим обґрунтуванням, гнучкими підходами до локальних природних та агротехнічних чинників, зокрема з адаптуванням технологій вирощування до підвищеного рівня сонячної радіації з метою підвищення продуктивності зрошуваних земель та збільшення коефіцієнтів ФАР до 3-5% [11].

Проходячи відстань від Сонця до поверхні Землі, сонячна радіація зазнає змін, одна частина променів відбивається і поглинається хмарами і аерозолями, інша - відкидається у вигляді розсіяного світла. У відповідності з положенням Сонця потенційна радіація відрізняється для різноманітних сезонів, широта φ надається в десяткових градусах та радіанах і є позитивною для північної півкулі і негативною - для південного. В трактовці досліджуваної концепції сонячна радіація, отримана на поверхні атмосфери, називається позаземною (сонячною) радіацією, вона є функцією широти і часу доби залежно від сезонного змінювання стану Сонця та тривалості дня.

Формула (1) Анґстрома для розрахунку сонячної радіації дозволяє розраховувати кількість радіації на певний день року з обліком тривалості сонячного сяйва, широти досліджуваної місцевості:

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n}{N})R_a \qquad (1)$$

де R_s - сонячна або короткохвильова радіація (МДж/м^2/діб);

n – фактична тривалість сонячного сяйва, годин;

N - максимально можлива тривалість сонячного сяйва або годин денного світла, годин;

n/N - відносна тривалість сонячного сяйва;

R_a - сонячна радіація (МДж/м^2/діб).

Залежно від атмосферних умов (вологість, запиленість) і сонячного способу (широта і місяць), значення R_s змінюються.

Сонячна радіація R_a для кожного дня року і різних широт складається з сонячної постійної вели-

чини, сонячного кута падіння променів і пори року та визначається за формулою (2):

Інформація про фактичну тривалість днів за місяцями та досліджуваними роками була отримана з Інтернет-ресурсу [9] та оброблена засобами Microsoft Office Excel для подальшого вводу її в CROPWAT.

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r \left[\omega_s \sin(\square) + \cos(\square)\cos(\delta\cos((\omega_s)\right] \quad (2)$$

де R_a – сонячна радіація (МДж/м^2/діб);

G_{sc} - сонячна постійна = 0,0820 МДж/м2/хв.;

d_r - зворотна відносна відстань Земля-Сонце;

ω_s - кут на заході (Рад);

φ - широта (Рад) ;

δ - сонячного кута падіння променів (Рад),

Після вводу даних в CROPWAT відповідно до кожного року в розрізі місяців разом з іншими досліджуваними показниками було отримано розраховані дані сонячної радіації (рис. 2).

Разом з формою розрахунку сонячної радіації програмою сформовано ряд імітаційних моделей-діаграм, в яких можна простежити взаємозалежності радіації, багатьох кліматичних факторів, наприклад, сонячної радіації від тривалості сонячного сяйва, евапотранспірації тощо.

Месяч. ETo по Пенману-Монтейту - C:\Program Files\CROPWAT\Data\Climate\cli2015.PEM

Страна: Україна Станция: Херсон

Абс.высота: 46 м. Широта: 46.63 °C Долгота: 32.62 °B

Месяц	Min темп	Max темп	Влажность	Ветер	Солн.свет	Рад	ETo
	°C	°C	%	м/с	часы	МДж/мл/сут	мм/сутки
Январь	-21.6	10.3	92	3.1	9.0	8.5	1.21
Февраль	-10.0	16.1	85	3.4	10.2	12.4	1.71
Март	-4.6	16.7	78	3.4	11.5	18.0	2.41
Апрель	-0.3	22.8	75	3.2	13.3	24.4	3.92
Май	7.4	29.5	69	2.2	15.0	29.5	5.51
Июнь	12.8	32.2	67	2.8	16.1	32.0	6.78
Июль	11.8	35.9	69	2.2	15.3	30.3	6.83
Август	12.5	38.1	49	2.9	14.1	26.4	7.62
Сентябрь	7.6	34.7	60	2.5	12.3	20.2	5.46
Октябрь	-3.4	25.4	70	2.4	11.1	14.4	3.04
Ноябрь	-3.6	17.3	87	3.3	9.3	9.3	1.34
Декабрь	-10.6	14.4	87	3.0	8.4	7.2	1.15
Средняя	**-0.2**	**24.4**	**74**	**2.9**	**12.1**	**19.4**	**3.91**

Рисунок 2. Копія форми екрану з помісячно розрахованою радіацією та іншими показниками за 2015 рік (МДж/м^2/діб)

Сонячна радіація є основним джерелом енергії, здатним перетворити воду в значних обсягах в пар і тим самим спричинити процес евапотранспірації. Після розрахунків встановлено тісний взаємозв'язок між показниками сонячної радіації та евапотранспірацією посівів польових культур зрошуваної сівозміни. Так, в липні 2015 року, коли сонячна радіація була на найвищому рівні - 30,3 МДж/м^2/доб, показники евапотранспірації становили 6,83 мм на добу, в грудні, коли сонячна радіація була самою найменшою – 7,2 МДж/м^2/доб, показники евапотранспірації знизились до 1,63 мм.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок про те, що сонячна радіація є дієвим фактором впливу на процеси фотосинтетичної продуктивності сільськогосподарських культур і знаходиться в тісному зв'язку з такими показниками, як кількість отриманої одиниці площі з одного гектару посівної площі зрошуваної сівозміни. Найменші показники сонячної радіації в роки проведення досліджень були в зимовий місяць 2011 року – 8,2 МДж/м^2/доб, що пояснюється зниженими температурами повітря в цей період. І навпаки, максимальна величина досліджуваного показника – 32 МДж/м^2/доб була у спекотливому 2015 році.

Середні показники сонячної радіації за вегетаційний період досліджуваних культур коливалися неістотно – в межах від 23,03 до 23,16 МДж/м^2/доб, а в середньому за рік – з 19,2 до 19,4 МДж/м^2/доб.

Використовуючи вихідні дані CROPWAT щодо сонячної радіації засобами автоматизованих розрахунків формул Excel кореляційним аналізом були виявлені залежності між урожайністю досліджуваних культур та середніми річними показниками сонячної радіації за вегетаційний період на рівні сівозміни і господарства.

Використання індексного аналізу з вставленням індексу посушливості [12] свідчить про відмінності у

формуванні показників радіаційного балансу, фотосинтетично-активної радіації в Херсонській області в роки з різним рівнем природного вологозабезпечення (табл. 1).

Таблиця 1 – Динаміка теплоенергетичних показників в умовах Херсонської області залежно від природного вологозабезпечення (за період 2000-2014 рр.)

Вологозабезпеченість років	Радіаційний баланс, кДж/см^2 за рік		ФАР, кДж/см^2 за рік		Індекс посушливості Будико,	
	R_e	R_c	$ФАР_e$	$ФАР_c$	$_e$	$_c$
Вологий	237,5	243,4	363,2	372,9	0,64	0,71
Середьовологий	241,2	248,7	345,8	356,7	1,02	1,10
Середній	249,0	253,9	348,6	356,0	1,13	1,24
Середньосухий	255,7	257,6	355,0	357,7	1,96	2,15
Сухий	258,9	264,3	350,3	358,1	2,61	2,81

Примітки: $_e$ – природні умови; $_c$ – сільськогосподарські угіддя

Розрахунками доведено, що залежно від рівня природного вологозабезпечення надходження радіації (сумарний радіаційний баланс) коливається в природних умовах – від 237,5 у вологі роки до 258,9 кДж/см^2 за рік – у сухі роки. На сільськогосподарських угіддях відмічено зростання цього показника на 0,5-2,9%.

Відношення річного радіаційного балансу земної поверхні до суми теплоти, яка необхідна для випаровування річної суми опадів певної території, характеризується індексом посушливості.

Цей показник відображає гідротермічний коефіцієнт конкретної ґрунтово-кліматичної зони в таких градаціях: до 1,0 клімат вважається вологим; від 1 до 3 – недостатньо вологий; понад 3,0 – сухий з дефіцитом природного зволоження. Отже, в сухі роки відмічається зростання індексу посушливості до 2,61-2,81, що підтверджує необхідність застосування зрошення в умовах півдня України.

Слід зауважити, що коефіцієнт використання сонячної енергії (КЕ) [5] при вирощуванні сільськогосподарських культур на зрошуваних землях залежав від ступеню інтенсифікації впроваджених технологій (рис. 3).

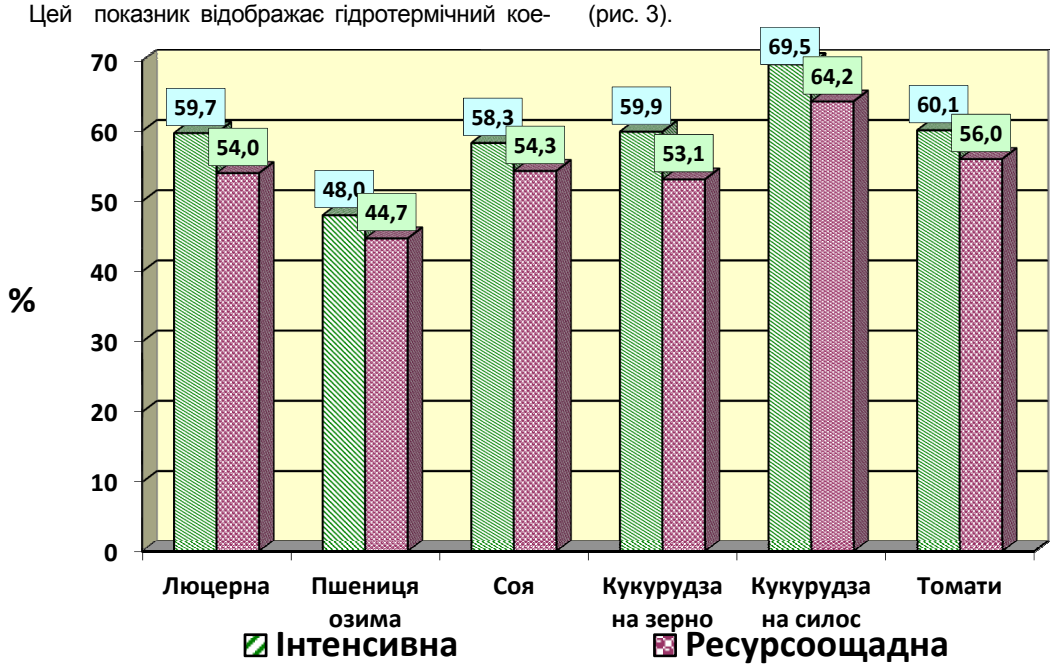

Рисунок 3. Коефіцієнт ефективності використання сонячної енергії при вирощуванні с.-г. культур на зрошуваних землях півдня України за інтенсивною та ресурсоощадною схемами, %

Найвищу ефективність серед досліджуваних культур при вирощуванні на зрошуваних землях забезпечує кукурудза на силос (КЕ=64,2-69,5%). Мінімальні значення цього показника були у пшениці озимої (44,7-48,0%). Також слід відзначити низький рівень коефіцієнту ефективності використання сонячної енергії при вирощуванні культур зрошуваної сівозміни за ресурсоощадної схемою, де він знизився на всіх культурах в межах від 3,3 (пшениця озима) до 6,8% (кукурудза на зерно).

Висновки. За результатами наших досліджень та розрахунків доведена ефективність застосування інформаційних технологій для оптимізації вирощування сільськогосподарських культур в системі зрошуваних сівозмін. Використання методу Анґстрома та його впровадження в складі багатофункціонального сучасного програмного комплекса CROPWAT 8.0 дозволило автоматично та з достатньою точністю розрахувати показники сонячної радіації на географічній широтиі Херсонської області в 2011-2015 роках. Щомісячне дослідження забезпечило можливість оцінки взаємозалежностей між сонячною радіацією та факторами врожайності, евапотранспірації, тривалості дня тощо. Встановлено, що використовуючи кліматичні дані та біологічні потреби

рослин, можна за допомогою сучасних комп'ютерних програм розраховувати такі важливі для зрошуваного землеробства показники, як інтенсивність надходження сонячної радіації та евапотранспірацію.

Моделювання цих факторів дозволяє отримати оптимальне співвідношення культур в зрошуваних сівозмінах, за допомогою отриманих даних методом кореляційного аналізу, сформувати діаграми залежності між урожайністю культур зрошуваної сівозміни та показниками сонячної радіації за вегетаційний період, що дозволить прогнозувати врожайність. За результатами досліджень доведено, що продуктивність зрошення обумовлена як кліматичними, так і агротехнологічними чинниками. При використанні ресурсоощадних технологій ефективність використання сонячної радіації зменшується на 3,3-6,8%. Впровадження запропонованого методу на виробничому рівні має важливе агротехнічне та еколого-меліоративне значення, оскільки сприятиме раціональному використанню ресурсів, покращить окупність ресурсів на одиницю виробленої продукції, забезпечить отримання високих і якісних врожаїв, збільшення прибутків та мінімізує антропогенний тиск на навколишнє середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Геоінформаційні системи для управління зрошуваними землями. Навчальний посібник / [В. О. Ушкаренко, В. В. Морозов, В. В. Колесніков, В. І. Ляшевський, О. П. Тищенко]. – Херсон: ЛТ-Офіс, 2010. – 378 с.
2. Енергетична оцінка системи землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур: методичні рекомендації. – К. : Нормапрінт, 2001. – С. 6-10.
3. Гойса Н. И. Методические указания для расчета фотосинтетически активной радиации / Н. И. Гойса, Н. А. Перелет. – К. : УкрНИГМИ, 1976.– 26 с.
4. Прелет П. А. Распределение фотосинтетически активной радиации (ФАР) по территории / П. А. Прелет // Тр. УкрНИИГиМ. – 1971. – Вып. 102. – С. 3-12.
5. Симанков В. С. Моделювання інсоляції при управлінні фотовітроенергетичними системами / В. С. Симанков, А. В. Шопін, П. Ю. Бучацький // Тр. ФОРА. – 2000. – №5. – С. 67-71.
6. Сивков С. В. Методы расчетов характеристик солнечной радиации / Сивков С. В. – Л. : Сельхозгиз, 1968. – 232 с.
7. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві / [Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В.] – Херсон : Айлант, 2008. – 272 с.
8. Погодные условия г. Херсона: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://rp5.ua; http://voshod-solnca.ru.
9. CROPWAT 8.0 for WINDOWS: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.
10. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER // FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. – Rome. – 2012. – № 66. – P. 70-85.
11. Calculating the diffuse solar radiation in regions without solar radiation measurements / Huashan L., Xianbiao B., Zhen L., Liang Z., Weibin M. // Energy. – 2012. – Vol. 44. – № 1. – P. 611-615.
12. Будыко М. И. Глобальная экология / М. И. Будыко. – М. : Мысль, 1977. – С. 23-25.

УДК 338.4:633.24 (477.72)

ЕКОНОМІЧНА Й ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ БАГАТОРІЧНИХ ТРАВ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ВИКОРИСТАННЯ У ПІВДЕННОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ

ГАЛЬЧЕНКО Н.М. – кандидат с.-г. наук
Асканійська ДСДС ІЗЗ НААН

Постановка проблеми. В системі заходів по підвищенню продуктивності кормових культур та одержанню високого урожаю бобових і злакових багаторічних трав значне місце відводиться створенню сіяних кормових угідь на основі добору найбільш продуктивних видів трав та їх травосумішок та широкого запровадження у виробництво сировинних і пасовищних конвеєрів [1]. Останнє забезпечує безперебійне надходження зелених і грубих кормів протягом усього вегетаційного періоду, в тому числі за пасовищного утриманння різних вікових груп великої рогатої худоби [2].

Заготівля сіна й сінажу для годівлі тварин у зимовий період проводиться з багаторічних бобових трав та бобово-злакових травосумішок, як найдешевшого джерела симбіотичного азоту, що забезпечує підвищення білковості та енергонасиченості кормів [3].

Стан вивчення проблеми. Аналіз опрацьованих літературних джерел свідчить, що для розробки сировинного конвеєра в зоні Південного Степу найменш енерговитратним є використання бобових і злакових багаторічних трав, насамперед, селекційних сортів нового покоління, які в умовах природного зволоження дозволяють отримувати високі урожаї кормових культур.

Ефективний розвиток галузі рослинництва, який склався після розпаювання земельних ресурсів та реорганізації сільськогосподарського виробництва в усіх природно-кліматичних зонах України, надзвичайно важливий. Пов'язано останнє з високою роллю галузі кормовиробництва, яка спричиняє істотний вплив на розвиток тваринництва, визначає стан і відтворення родючості ґрунтів та енергозбереження і функціонування агроландшафтів регіону в цілому [4].