

УДК 551.58:633.2

DOI 10.32999/ksu2413-7391/2019-10-22

Польовий А.М.,
доктор географічних наук, професор,
завідувач кафедри агрометеорології та агроєкології
Одеський державний екологічний університет

Божко Л.Ю.,
кандидат географічних наук, доцент,
кафедри агрометеорології та агроєкології
Одеський державний екологічний університет

Барсукова О.А.,
кандидат географічних наук,
доцент кафедри агрометеорології і агроєкології
Одеський державний екологічний університет

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЛУЧНОЇ ТА СТЕПОВОЇ РОСЛИННОСТІ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

У статті викладені дослідження впливу змін клімату на агрокліматичні умови формування продуктивності лучної та степової рослинності в зоні Північного Степу України за три періоди: 2021–2030 рр., 2031–2040 рр., 2041–2050 рр. Порівняння проводились з аналогічними середніми багаторічними показниками за базовий період (1980–2010 рр.). Розрахунки очікуваних умов виконувались за сценаріями змін клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Ключові слова: лучна та степова рослинність, продуктивність, фотосинтетичний потенціал, агроєкологічні категорії врожаїв, баланс гумусу, зміна клімату.

Polovyi A.M., Bozhko L.Yu., Barsukova O.A. AGROCLIMATIC TERMS OF ND FORMING OF THE PRODUCTIVITY OF PRATAL AND STEPPE VEGETATION IN THE CONDITIONS OF CHANGE IN NORTH STEPPE OF UKRAINE

Impact of climate change on the agro climatic conditions of growth, development and productivity of grassland and steppe vegetation in the Ukrainian Steppe is studied for three periods of 2021–2030 years, 2031–2040 years, 2041–2050 years by comparing the multiannual means for the 1961–1990 period. The expected conditions in three periods are calculated under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

Three categories of the productivity of grasses, namely potential yield, meteorologically possible yield, practically possible yield, and conditions of forming of leaf surface, rate of photosynthesis and photosynthetic potential, are considered.

Under the mean multiannual agricultural meteorology conditions, the potential yield of all dry matter in grass is 385 center/ha. Calculations based on scenarios show, that during two first appraisal periods potential yields will amount to 124–127% from the multiannual mean, and for the third calculation period potential yield will amount to 108% from the multiannual mean.

Dry matter in meteorologically possible yield in the first period under both scenarios will be expected at the level of 130–136% of the multiannual mean, relatively fewer one will be expected in the second and third appraisal periods – within the limits of 123–130% from the multiannual mean.

The practically possible yield of dry matter in plants, stipulated by natural fertility of soil, will amount to 138% from the multiannual mean in the first period, in the second and third periods such yield will be 123–131%.

It is found that under the multiannual mean conditions yield of above-ground mass in steppe vegetation under the standard humidity of 16% is 1,3 t/ha. In scenario periods the potential yields will be expected at the level of 120–123% from the multiannual mean.

Calculations showed that under the climate change in the case of realization of scenarios of RCP4.5 and RCP8.5 the increase of humus balance is assumed in all three appraisal periods. In the first period the increase will reach 136% from the multiannual mean, in the second and third ones the increase will be to 125–130%.

Key words: grassland and steppe vegetation, productivity, photosynthetic potential, agro ecological categories of yield, humus balance, climate change.



Постановка проблеми. Сучасний стан фітоценозів, які репрезентують фіторізноманіття степової та лучної рослинності, свідчить про їх високу здатність до стійкого та довготривалого існування, але під впливом антропогенних факторів різноманіття рослинного світу зменшується, що набуває актуальності як на світовому, так і на регіональному рівнях.

В Україні степова рослинність у природному вигляді до цього часу збереглася тільки на схилах балок, масивах зі складним рельєфом, в заповідниках, на території колишніх військових полігонів, а також у передгір'ях Криму, на піщаних косах Азово-Чорноморського узбережжя та островах. Ділянки цілинних степів охороняються в заповідниках та заказниках (Шищенко, 2000).

Під впливом зміни клімату, які на сьогодні є незаперечним фактом, змінюються агрокліматичні умови росту і формування продуктивності як сільськогосподарських культур, так і дикорослих фітоценозів. Тому для потреб обґрунтування оптимальних схем природокористування для збереження дикорослих фітоценозів степових та лугових територій необхідна оцінка їхньої продуктивності в умовах змін клімату.

Стан проблеми. Існує Міжнародна біологічна програма (МБП), результатом роботи якої є велика кількість досліджень продуктивного процесу рослинного світу в цілому, а також первинної продуктивності екосистем різних географічних зон (Шищенко, 1985).

Питанням дослідження параметрів запасів фітомаси, яка формується впродовж року, їх кількісної оцінки присвячені роботи, в яких узагальнено весь фактичний матеріал із первинної продуктивності екосистем Північної Євразії.

Так, у роботах Білик Г.І. та Ткаченко В.С. звертається увага на те, що внаслідок антропогенного впливу перелік трав скорочується, деякі види зникають, і основна задача людства на даному етапі – зберегти степові екосистеми (Білик, 1972). Роботи Тинянова А.А., Афанасєва Н.А., Н.Б.Наумова, Л.М. Носова та ін. стосуються досліджень сукцесії та степового кругообігу степових трав. Також розглядається питання ресурсозберігаючих технологій створення високопродуктивних сінокосів і пасовищ.

Біологічна продуктивність лучної та степової рослинності формується під впливом цілої низки факторів, одним із яких є клімат.

Встановлено, що біомаса рослин у степу становить від 100 до 400 ц/га. Також встановлено, що для рослинності степів співвідношення між живими і відмерлими органами становить біля 65% на чорноземах і темно-каштанових ґрунтах і 35% – на каштанових ґрунтах [1]. Питання впливу кліматичних і погодних умов на розвиток степової і лучної рослинності та формування їх продуктивності маловивчене.

Матеріали і методи досліджень. У запропонованому дослідженні для кліматичних розрахунків використовується набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP), що уявляють собою чотири сценарії. Найбільш дослідженими сценаріями клімату майбутнього вважаються два з них: RCP4.5 та RCP8.5. Найпесимістичнішим є сценарій RCP8.5, який передбачає показникове збільшення кількості вуглецю в атмосфері до кінця XXI ст. приблизно у 2,5 рази відносно сучасного (Степаненко, 2017).

Аналіз впливу змін клімату на режим агрокліматичних показників розвитку і формування продуктивності лучних і степових фітоценозів виконувався шляхом порівняння середніх багаторічних величин (за період 1980–2010 рр.) і величин, розрахованих за кліматичними сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 по десятиріччях: 2021–2030 рр. (перший період), 2031–2040 рр. (другий період), 2041–2050 рр. (третій період). При цьому використовувались спостереження за ростом і розвитком трав, які розповсюджені переважно в Степовій зоні України: це різнотравні злакові тонконіг лучний (*Poa pratensis* L.), костриця борозниста або типчак і костриця валіська (*F. valesiaca*), кипець гребінчастий (*Koeleria cristata*), а також житняк гребінчастий (*Agropyron pectinatum*), тонконіг вузьколистий, тимофіївка степова (*Phleum phleoides*) та деякі види родів коострець (*Bromopsis*), пирій (*Elytrigia*), бромус (*Bromus*) і ін. Розглядалися такі величини: тривалість періоду відновлення вегетації – цвітіння трав, середня температура за цей період, сума опадів, сумарне випаровування, випаровуваність, відносна вологозабезпеченість, гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянинова (ГТК), сума фотосинтетично активної радіації (ФАР).

Дослідження виконані для території Північного Степу. Розрахунки продуктивності трав виконувались за трьома видами урожайності: потенційна урожайність (ПУ), яка

за умов оптимальної забезпеченості рослин теплом, вологою та мінеральним живленням визначається надходженням сонячної радіації; метеорологічно можлива врожайність (ММВ) забезпечується температурним режимом та режимом зволоження території; дійсно можлива врожайність (ДМВ) забезпечується природною родючістю ґрунту; природна врожайність (УВ) [7].

Основні результати дослідження. За середніми багаторічними даними, сезонний розвиток трав починається в кінці березня. За сценарієм зміни клімату RCP4.5 він буде починатись на початку квітня в усіх трьох розрахункових періодах. За сценарієм зміни клімату RCP8.5 сезонний розвиток трав почнеться в перший сценарний період на 10 днів пізніше за середні багаторічні терміни, у другий розрахунковий період він почнеться на 6 днів пізніше, у третій період очікується, що початок вегетації майже співпаде із середнім багаторічним терміном (табл.1). В усі розглянуті періоди зміни агрокліматичних показників за різними сценаріями будуть неоднозначними.

За період початок вегетації – цвітіння трав надходження ФАР за середніми багаторічними даними складає 51,6 кДж/см². Розрахунки за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 показали, що

надходження ФАР у перший розрахунковий період буде збільшуватись і становитиме, відповідно, 136 та 114% від середньої багаторічної величини. У 2031–2040 рр. надходження ФАР буде ще вищим, особливо за сценарієм RCP4.5, і становитиме 142 та 130% від середньої величини. У третій розрахунковий період надходження ФАР за сценарієм RCP4.5 буде вищим, ніж за сценарієм RCP8.5, і становитиме 128% від середньої багаторічної величини. У той же час за сценарієм RCP8.5 воно становитиме 118%.

Потенційний врожай (ПУ) всієї сухої маси трав за середніх багаторічних умов становить 465 ц/га. За кліматичним сценарієм RCP4.5 відповідно збільшенню приходу ФАР значно зросте і очікувана величина ПУ.

Упродовж усіх сценарних періодів вона буде становити 124–148% від середньої багаторічної величини, причому найбільша величина ПУ очікуватиметься в перший розрахунковий період.

За сценарієм RCP8.5 ПУ всієї сухої маси теж упродовж усіх розрахункових періодів буде вищою середньої багаторічної, але нижчою, ніж очікувана за попередній сценарій, і становитиме 120–130% від середньої багаторічної (табл. 2).

Таблиця 1

Агрометеорологічні умови вегетації трав Північного Степу в порівнянні з умовами за сценаріями зміни клімату (за період відновлення вегетації – цвітіння)

| Сценарій, період | 1980–2010 | RCP4.5 | | | RCP8.5 | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 2021–2030 | 2031–2040 | 2041–2050 | 2021–2030 | 2031–2040 | 2041–2050 |
| Дата початку вегетації | 27.03 | 2.04 | 4.04 | 4.04 | 8.04 | 2.04 | 29.03 |
| Середня температура повітря за період, °С | 13,1 | 12,5 | 12,1 | 13,1 | 14,1 | 12,8 | 12,7 |
| Сума опадів за період, мм | 83 | 93 | 117 | 83 | 78 | 98 | 107 |
| Сумарне випаровування за період (E), мм | 98 | 109 | 120 | 99 | 97 | 112 | 110 |
| Випаровуваність за період, (E ₀), мм | 189 | 193 | 173 | 201 | 179 | 192 | 154 |
| Відносна вологозабезпеченість (E/E ₀), відн. од. | 0,52 | 0,56 | 0,69 | 0,49 | 0,54 | 0,58 | 0,72 |
| Середній за період ГТК, відн. од. | 0,89 | 0,93 | 1,46 | 0,85 | 0,92 | 0,90 | 1,24 |
| Сума ФАР, кДж/см ² за період | 51,6 | 73,4 | 70,0 | 66,0 | 58,9 | 67,1 | 61,0 |



Таблиця 2

Формування урожаю трав Північного Степу за середніх багаторічних умов у порівнянні з формуванням урожаю в умовах за сценаріями зміни клімату

| Сценарій, період | | 1980–2010 | RCP4.5 | | | RCP8.5 | | |
|---|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | 2021–2030 | 2031–2040 | 2041–2050 | 2021–2030 | 2031–2040 | 2041–2050 |
| Вся суха маса, ц/га | потенційного урожаю | 465 | 689 | 667 | 575 | 605 | 569 | 556 |
| | метеорологічно можливого урожаю | 218 | 303 | 318 | 256 | 265 | 276 | 312 |
| | дійсно можливого урожаю | 150 | 209 | 219 | 177 | 183 | 190 | 215 |
| Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ² за період | | 73,2 | 100,4 | 119,5 | 81,2 | 87,5 | 92,9 | 105,4 |
| Урожай трав при їх вологості 16% | надземної маси, т/га | 3,5 | 4,9 | 5,1 | 4,1 | 4,2 | 4,5 | 5,0 |
| | підземної маси, т/га | 13,9 | 19,4 | 20,4 | 16,4 | 16,9 | 17,9 | 20,0 |
| | сумарної маси, т/га | 17,4 | 24,3 | 25,5 | 20,5 | 21,2 | 22,4 | 25,0 |
| Баланс гумусу, т/га | | 0,361 | 0,504 | 0,528 | 0,425 | 0,439 | 0,465 | 0,518 |

Середня за період початок вегетації – цвітіння трав температура повітря за середніми багаторічними даними становила 13,1°C. У разі реалізації сценарію RCP4.5 у два перші періоди середня температура очікуватиметься нижчою середньої багаторічної (12,1–12,5°C). У третій період вона буде однаковою із середньою багаторічною. У разі реалізації сценарію RCP8.5 середня температура повітря в перший період буде на 1°C вище базової, у другий та третій періоди – на 0,3–0,4°C нижче середньої багаторічної величини.

За кліматичним сценарієм RCP4.5 очікується збільшення сум опадів у перший період – на 12%, і значно більше у другий період – на 41%. Кількість опадів у третій період очікується на рівні середньої багаторічної. Дефіцит вологи ($E_0 - E$) у перший період дещо знизиться від 91 до 84 мм, незначно підвищиться вологозабезпеченість (від 0,52 до 0,56 відн. од.). Також незначно зросте величина ГТК, значення якого характеризують період як посушливий (див. табл. 1).

У другому періоді за рахунок збільшення кількості опадів та понижених температур повітря можливе суттєве зменшення дефіциту вологи до 53 мм, значно покращиться вологозабезпеченість та підвищиться ГТК до 1,46 відн. од. Третій період буде характеризуватись як посушливий (ГТК становить 0,85): зросте дефіцит вологи до 102 мм, відповідно зменшиться вологозабезпеченість (до 0,49 відн. од.).

За сценарієм RCP8.5 сума опадів за період початок вегетації – цвітіння трав буде очікуватись нерівномірними змінами. У перший період кількість опадів буде дещо нижче базової величини (94%). Для другого періоду очікується зростання суми опадів на 18%. Кількість опадів у третій період очікується на рівні 129% від середньої багаторічної (див. табл. 1).

Дефіцит вологи у перший та другий періоди за сценарієм RCP8.5 знизиться незначно: від 91 до 80–82 мм. Очікується незначне підвищення вологозабезпеченості (від 0,54 до 0,58 відн. од.). Очікується також незначне зростання величини ГТК, який характеризує ці періоди як посушливі. У третьому періоді за рахунок збільшення кількості опадів та дещо понижених температур повітря можливе суттєве зменшення дефіциту вологи до 44 мм, значно покращиться вологозабезпеченість (на 0,20 відн. од.) та підвищиться ГТК до 1,24 відн. од. (див. табл. 1).

Зміна волого-температурних показників при зміні клімату спричинить зміну продуктивності трав.

Так, за сценарієм RCP4.5 площа листя наростатиме аналогічно динаміці площі листя за середніх багаторічних агрометеорологічних умов. Її рівень буде загалом вищий від середнього багаторічного (див. рис. 1). За розрахунками очікується, що найвищий рівень відносної площі листя буде у другий період (3,04 м²/м²) за рахунок кращих умов вологозабезпеченості.

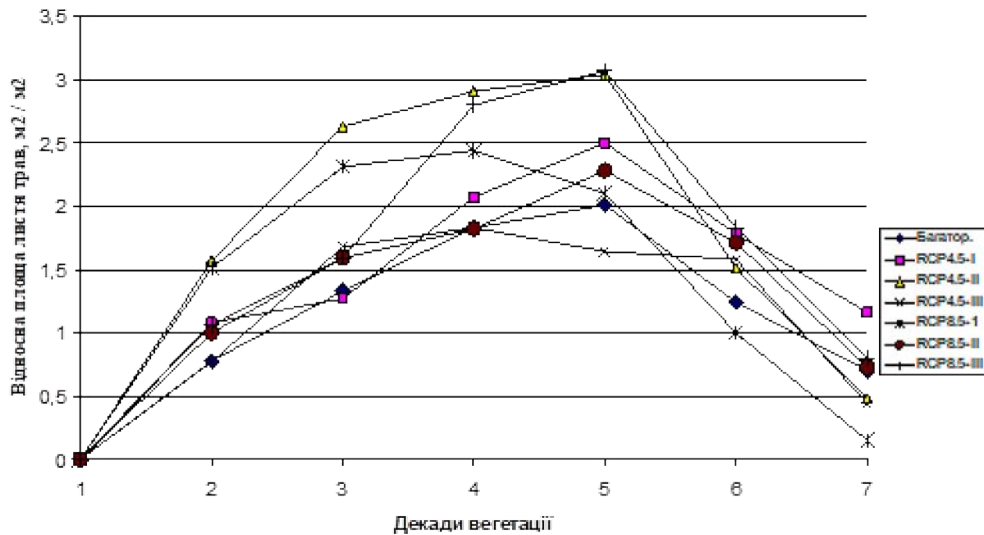


Рис. 1. Динаміка площі трав у період відновлення вегетації – цвітіння в порівнянні із середньою багаторічною та сценарних розрахункових даних

Примітка: I, II, III – відповідно, перший, другий, третій розрахункові періоди за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в Північному Степу

чення та зниженого температурного режиму. У досить посушливих умовах третього періоду сформується менша площа листового апарату ($1,83 \text{ м}^2/\text{м}^2$).

За кліматичним сценарієм RCP8.5 формування листового апарату буде йти аналогічно динаміці площі листя за середніх багаторічних агрометеорологічних умов (див. рис. 1). Площа листя сформується трохи більша, ніж базова. За розрахунками очікується, що в період максимального розвитку її величина буде становити: в перший період – 2,44, у другий – 2,28, а у третій – $3,07 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Інтенсивність фотосинтезу листя трав за сценарієм RCP4.5 у період інтенсивного наростання листової поверхні (друга – четверта декади вегетації) у перший та третій періоди буде сягати $4,5\text{--}7,0 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2$. Інтенсивність фотосинтезу листя трав за сценарієм RCP4.5 у період інтенсивного наростання листової поверхні (друга – четверта декади вегетації) у перший та третій періоди буде сягати $4,5\text{--}7,0 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{год}$, що близько до середніх багаторічних значень.

На фоні підвищених значень ФАР сформується і високий фотосинтетичний потенціал травостою в усі розрахункові періоди. У перший період він становитиме 137% від значень середнього багаторічного, у другий період – 163% від базової величини, у третій, відносно посушливий період він становитиме 111% від середніх значень (див. рис. 2).

За кліматичним сценарієм RCP8.5 інтенсивність фотосинтезу листя трав буде дещо вищою за середню багаторічну.

У період інтенсивного наростання листової поверхні (друга – четверта декади вегетації) у другий розрахунковий період інтенсивність фотосинтезу листя буде досягати $4,9\text{--}6,3 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{год}$, що трохи вище за середні багаторічні значення. Третій період буде найбільш сприятливим за температурним режимом та режимом зволоження. У цей період інтенсивність фотосинтезу листя трав буде на $0,1\text{--}0,6 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{год}$, вищою за інтенсивність фотосинтезу листя за середніх багаторічних агрометеорологічних умов.

Фотосинтетичний потенціал за період початок вегетації – цвітіння за обома сценаріями сформується досить високий ($87,5\text{--}105,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ за період).

Слід відзначити, що в перші два періоди фотосинтетичний потенціал буде вищим за сценарієм RCP4.5 ніж за сценарієм RCP8.5. Для першого і другого сценарних періодів він може становити 120–127% від середнього багаторічного значення. Для третього періоду значення фотосинтетичного потенціалу трав буде складати 144% від середньої величини (див. табл. 2).

Рівень ММУ всієї сухої маси трав за сценарієм RCP4.5 у першому періоді очікується на рівні 139% від середнього багаторічного, який становить 218 ц/га, значно більшим він буде

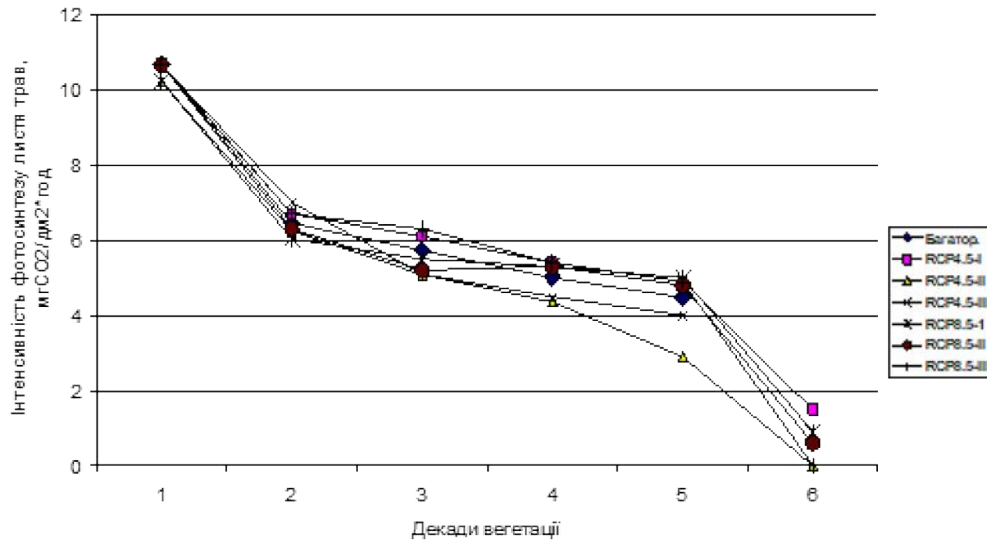


Рис. 2. Динаміка інтенсивності фотосинтезу листя трав у період початку вегетації – цвітіння в порівнянні із середнім багаторічним та сценарних розрахункових даних

Примітка: I, II, III – перший, другий та третій розрахункові періоди за сценаріями

у другому періоді (146 % від середнього). Для третього відносно посушливого періоду рівень ММУ буде дещо нижчим порівняно з першим та другим періодом і становитиме 117% від значення середнього багаторічного.

За кліматичним сценарієм RCP8.5 за дещо підвищеної температури повітря (на 1°C) та деякій нестачі опадів (на 6%) у перший та другий розрахункові періоди рівень ММУ буде становити, відповідно, 265–276 ц/га всієї сухої рослинної маси, що дещо більше, ніж рівень ММУ травостою за середніх багаторічних умов (218 ц/га). Це становитиме 122–127% від середнього багаторічного значення. У третій період, який буде відзначатися сприятливим температурним режимом та режимом зволоження, величина ММУ буде значно вищою і становитиме 312 ц/га, що становитиме 143% від середніх значень.

Природна родючість ґрунту корегує рівень ДМУ трав. За середніх багаторічних умов урожай надземної маси трав за вологості 16% становить 3,5 т/га. За сценарієм RCP4.5 ДМУ для першого та другого сценарних періодів складатиме, відповідно, 122% та 127% від середнього значення. Для третього періоду очікується, що рівень ДМУ буде найвищим і складатиме 143% від середнього.

За агрометеорологічних умов першого та другого періоду за сценарієм RCP8.5 ДМУ

буде складати, відповідно, 140% – 146% від середнього багаторічного. У третьому періоді він очікуватиметься дещо нижчим порівняно з попередніми періодами і становитиме 117% від середнього багаторічного. Баланс гумусу за обома сценаріями на ділянках степової рослинності очікуватиметься позитивним і складатиме для двох перших сценарних періодів 0,504–0,528 т/га, а для третього періоду – 0,425 т/га, що становитиме 140–146 та 118% від середнього багаторічного значення, при цьому за сценарієм RCP8.5 він буде нижчим, ніж за сценарієм RCP4.5 (див. табл. 2).

Урожай надземної маси трав за умови вологості 16% становить 4,3 т/га за середніх багаторічних умов. За сценарієм RCP4.5 за агрометеорологічних умов першого та третього сценарних періодів він буде складати 108–115% від середнього багаторічного. У більш сприятливих за вологозабезпеченістю умовах другого періоду він буде на рівні 4,6 т/га. Співвідношення надземної частини біомаси до підземної становитиме близько 11:100

Згідно з розрахунками за сценарієм RCP8.5 урожай надземної маси трав для першого та другого сценарних періодів буде становити 4,2–4,5 т/га. В агрометеорологічних умовах третього періоду очікується, що урожай сягатиме 5,0 т/га, що складатиме 143% від середнього значення.

Співвідношення надземної частини біомаси до підземної очікується на рівні 25:100.

Баланс гумусу за обома сценаріями на ділянках степової рослинності очікуватиметься позитивним і складатиме для двох перших сценарних періодів 0,504–0,528 т/га, а для третього періоду – 0,425 т/га, що становитиме 140–146 та 118% від середнього багаторічного значення, при цьому за сценарієм RCP8.5 він буде нижчим, ніж за сценарієм RCP4.5 (див. табл. 2).

Висновки. В умовах зміни клімату у процесі реалізації сценаріїв у різні періоди за десятиріччями відбуватимуться неоднозначні зміни умов формування продуктивності лучної та степової рослинності. Зміна волого-температурних умов спричинить незначне збільшення поверхні листя, що сприятиме збільшенню біомаси рослин. Майже в усі три періоди згідно з розрахунками за кліматичними сценаріями зростуть екологічні категорії врожайності трав. Баланс гумусу теж збільшиться. Збільшиться і співвідношення надземної і підземної частини рослин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Базилевич, Н.И. (1993). Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. Москва : Наука.
2. Білик, Г.І., Ткаченко, В.С. і ін. (1972). Сучасний стан рослинного покриву заповідника «Михайлівська цілина» на Сумщині. *Український ботан. журнал*, 29(6), 696–702.
3. Romkin, V., Savchenko, G. (2016). Flora and vegetation of dry grassland of Northeastern Ukraine, and problems of diversity conservation. *Насгуєтіа*. 15/2. 49–62.
4. Степаненко, С.М., Польовий, А.М. (Ред.). (2015). Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України. Одеса : ТЕС.
5. Танфильев, В.Г. (1975). О долголетия злаковых, бобовых и некоторых других трав. *Труды Ставропольского НИИСХ*, 17, 99–105.
6. Шищенко, П.Г. (2000). Глобалізація та деверсфікація функцій сучасних ландшафтних систем в контексті різноманіття. *Проблеми ландшафтного різноманіття України*, 17–20. Київ.
7. Шищенко, П.Г. (1985). Антропогенные преобразования современных ландшафтов. *Природная среда и хозяйственная деятельность человека*, 114–131. Київ : Изд-во Киев.ун-та.

Стаття надійшла до редакції 29.05.2019