

PAŃSTWOWA WYŻSZA SZKOŁA ZAWODOWA W KONINIE
ДЕРЖАВНА ВИЩА ПРОФЕСІЙНА ШКОЛА В КОНІНІ
UNIWERSYTET NARODOWY W UŻHORODZIE
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
NARODOWY UNIWERSYTET TRANSPORTU
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
CHERSONSKI WYDZIAŁ ODESIEGO UNIWERSYTETU SPRAW WEWNĘTRZNYCH
ХЕРСОНСЬКИЙ ФАКУЛЬТЕТ ОДЕСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ВНУТРІШНІХ
СПРАВ

**ROZWÓJ NOWOCZESNEJ EDUKACJI I NAUKI –
STAN, PROBLEMY, PERSPEKTYWY.**

***TOM III:
KONSTATAcje I DIALOGI W PRZESTRZENIACH NAUKI I EDUKACJI***

**Pod redakcją naukową:
Jan Grzesiak, Ivan Zymomrya, Vasyl Ilnytskyj**

**РОЗВИТОК СУЧАСНОЇ ОСВІТИ І НАУКИ:
РЕЗУЛЬТАТИ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ.**

TOM III: КОНСТАТАЦІЇ ТА ДІАЛОГИ В ПРОСТОРИ НАУКИ ТА ОСВІТИ

**За науковою редакцією:
Ян Гжесяк, Іван Зимомря, Василь Ільницький**

Konin – Użhorod – Kijów – Chersoń
2020

Конін – Ужгород – Київ – Херсон
2020

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛУГОВОЙ И СТЕПНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

This paper provides an estimation of agro - climatic conditions for the formation of productivity of rayon and steppe vegetation in conditions of modern global warming and further climate change for the period up to 2050. The estimation was made by comparing average long – term agro – climatic indicators (1980 – 2010) of the productivity of wild phytocoenoses with the same indicators expected in future by decades for the three periods: 2021 – 2030, 2031 – 2040, 2041 – 2050 in the steppe zone of Ukraine. The climate change calculations were performed according to RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios.

Calculations of both the average perennial grass productivity and herb productivity under climate change conditions were performed for three types of yield: potential, meteorologically possible and actual possible yield.

The change of climatic terms will result in the increase of the productivity of herbs, higher it will be in North Steppe (on 17–46 % as compared to mean long-term values) and less in South Steppe (on 8–38 %). Also the change of balance of maintenance of organic carbon will happen in soil. After both scenarios balance of organic carbon on the areas of meadow and steppe vegetation is expected by positive.

Key words: *change of climate, meadow, steppe vegetation, productivity, photosynthesis, area of leaves, photosynthetic potential, harvest, soil, organic carbon.*

Введение. В Украине в результате интенсивного сельскохозяйственного использования земель степная растительность в естественном виде к настоящему времени сохранилась только на склонах балок, массивах со сложным рельефом, в заповедниках, на территории бывших военных полигонов, а также в предгорьях Крыма, на песчаных косах Азово-Черноморского побережья и островах. В типичной степной зоне на севере распространена разнотравно-типчаково-ковыльная растительность на обычных черноземах, на юге – типчаково-ковыльная на черноземах южных и темно-каштановых почвах, вдоль Азово-Черноморского побережья – полынно-злаковая растительность на каштановых солончаковых почвах [1, 2, 3].

Современное состояние фитоценозов, которые представляют фиторазнообразие степной и луговой растительности, свидетельствует об их высокой способности к устойчивому и долговременному существованию, но под воздействием антропогенных факторов разнообразие растительного мира уменьшается, что приобретает актуальность как на мировом, так и на региональном уровнях [4, 5, 6].

Важным вопросом современных проблем сохранения биологического многообразия, рационального использования растительных ресурсов и оптимизации их состояния в условиях глобального потепления является сохранение существующих растений и обогащение их ассортимента культурами, которые были бы приспособлены к экстремальным факторам изменения агроклиматических показателей [7].

В конце прошлого и в начале текущего века отмечаются значительные изменения климатических условий на всем Земном шаре из-за потепления. Под воздействием изменения климата изменяются агроклиматические условия роста и формирования продуктивности как сельскохозяйственных культур, так и природных фитоценозов [8, 9, 10].

Целью работы является оценка формирования продуктивности луговой и степной растительности и баланс органического углерода в почве в условиях изменений климата.

Состояние проблемы. Вопросом исследования параметров запасов фитомассы, которая формируется в течение года, их количественной оценки посвящены работы [11, 12, 13]. В них обобщен весь фактический материал первичной продуктивности экосистем Северной Евразии в пределах территории бывшего СССР. Установлено, что биомасса растений в степи составляет от 100 до 400 ц/га. Помимо этого, также установлено, что для растительности степей соотношения между живыми и отмершими органами представляет около 65 % на черноземах и темно-каштановых почвах и 35 % на каштановых почвах.

В научных исследованиях особенное внимание уделено основам получения качественных семян трав. Исследования влияния климатических и погодных условий на развитие степной и луговой растительности и формирование их продуктивности в Украине немногочисленны [7].

Широкому кругу проблем влияния климатических изменений на естественную растительность, адаптации к этим изменениям и смягчения последствий этого влияния, посвящена работа [14].

Оценка повышения продуктивности трав в Европе при реализации климатического сценария SRES A1B REMO + ECHAM5 предполагается с использованием модели ORCHIDEE-GM v2.2 за счет учета изменений климата и повышения концентрации CO₂ в работе [15].

Климатические изменения, ассоциируемые с эмиссией парниковых газов, имеют большое значение для трав Европы. Проектируемые сценарии показывают, что повышение температуры воздуха и концентрации CO₂ благоприятствуют росту трав, в особенности бобовых, но изменение сезонного количества осадков снижает продуктивность трав. Ожидается [18] увеличение количества осадков в Северной и Центральной Европе и уменьшение в Южной Европе. Отмечается увеличение риска проявления засух, особенно в Средиземноморье [16].

В условиях стран Балтии выполнены разноплановые фундаментальные исследования по изменению климата, также рассматривается оценка продуктивности растений при климатических изменениях.

Материалы и методы исследований. Климатические изменения на будущее рассчитываются с использованием климатических моделей. Глобальные климатические модели являются основными инструментами, которые используются для проектирования длительности и интенсивности изменений климата в будущем. Эти модели рассчитывают будущие климатические режимы на основе ряда сценариев изменения антропогенных факторов [8, 9, 10].

В данном исследовании для климатических расчетов используется набор сценариев, а именно Репрезентативные траектории концентраций (Representative

Concentration Pathways – RCP), которые представляют собой четыре сценария, включающие временные ряды выбросов и концентраций всего набора парниковых газов, аэрозолей и химически активных газов [10]. Наиболее исследованными сценариями климата будущего считаются два из них: RCP4.5 и RCP8.5. В работе [10] предложено для условий Украины ожидаемое распределение температуры и осадков согласно сценариям выбросов по RCP4.5 и RCP8.5 в течение периода 2021 – 2050 гг., которое было положено в основу нашего исследования.

Анализ влияния изменений климата на режим агроклиматических показателей развития и формирования продуктивности луговых и степных фитоценозов в Степной зоне Украины выполнялся путем сравнения средних многолетних величин (за период 1980 – 2010 гг.) и величин, рассчитанных по климатическим сценариями RCP4.5 и RCP8.5 по десятилетиям: 2021 – 2030 гг. (первый период), 2031 – 2040 гг. (второй период), 2041 – 2050 гг. (третий период).

При этом использовались наблюдения за ростом и развитием трав, которые распространены преимущественно в Степи Украины. Это разнотравные злаки: тонконог луговой (*Poa pratensis* L.), костер бороздчатый или типчак и костер валесский (*F. valesiaca*), кипец гребенчатый (*Koeleria cristata*), а также житняк гребенчатый (*Agropyron pectinatum*), тонконог узколистый, тимopheевка степная (*Phleum phleoides*) и некоторые виды других дикорастущих трав.

Для оценки условий вегетации рассматривались: длительность периода начало вегетации – цветение трав, средняя температура за этот период, сумма осадков, суммарное испарение, испаряемость, гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова (ГТК), относительная влагообеспеченность, сумма фотосинтетически-активной радиации (ФАР).

Расчеты продуктивности трав выполнялись с помощью базовой модели оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур [17], в основе которой лежит сформулированная в работе [18] концепция максимальной продуктивности посевов. Расчеты выполнялись по трем агроэкологическим категориям урожайности: потенциальной урожайности (ПУ), которая определяется поступлениям солнечной радиации; метеорологически возможной урожайности (МВУ), уровень которой ограничивается температурным режимом и режимом увлажнения; действительно возможной урожайности (ДВУ) определяемой естественным плодородием почвы.

Суммарный баланс содержания органического углерода в почве определяется по методу [17].

Основные результаты исследования. Северная Степь. По средним многолетним данным сезонное развитие трав начинается в конце марта. По сценарию изменения климата RCP4.5 оно будет начинаться в начале апреля во всех трех расчетных периодах. По сценарию изменения климата RCP8.5 сезонное развитие трав начнется в первый сценарный период на 10 дней позже средних многолетних сроков (табл. 1), во второй расчетный период он начнется на 6 дней позже, а в третий период ожидается, что начало вегетации почти совпадет со средним многолетним сроком.

Расчеты по сценариям RCP4.5 и RCP8.5 показали, что поступление ФАР в первый расчетный период будет увеличиваться и составит соответственно 136 и 114 % от

средней многолетней величины. В 2031–2040 гг. поступление ФАР по сценарию RCP4.5 будет составлять соответственно 142 и 130 % от средней величины. В третий расчетный период поступление ФАР по сценарию RCP4.5 будет выше на 28 % от средней многолетней величины, а по сценарию RCP8.5 – выше на 18 %.

ПУ всей сухой массы трав при средних многолетних условиях составляет 465 ц га¹. По климатическому сценарию RCP4.5 увеличение прихода ФАР будет способствовать увеличению ожидаемой величины ПУ.

Таблица 1 – Агрометеорологические условия вегетации трав Северной Степи при средних многолетних условиях и в условиях изменения климата

Пе-риод, годы	Дата начала вегетации	Средняя температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм	Суммарное испарение (E), мм	Испаряемость (E ₀), мм	Относительная влагообеспеченность (E/E ₀), отн. ед.	Средний ГТК, отн. ед.	Сумма ФАР, кДж см ²
1980–2010	27.03	13,1	83	98	189	0,52	0,89	51,6
RCP4.5								
2021–2030	2.04	12,5	93	109	193	0,56	0,93	73,4
2031–2040	4.04	12,1	117	120	173	0,69	1,46	70,0
2041–2050	4.04	13,1	83	99	201	0,49	0,85	66,0
RCP8.5								
2021–2030	8.04	14,1	78	97	179	0,54	0,92	58,9
2031–2040	2.04	12,8	98	112	192	0,58	0,90	67,1
2041–2050	29.03	12,7	107	110	154	0,72	1,24	61,0

По сценарию RCP8.5 ПУ всей сухой массы также на протяжении всех расчетных периодов будет выше средней многолетней величины составит 120 – 130 % от средней величины, но ниже, чем ожидаемая по сценарию RCP4.5. (табл. 2).

Средняя за рассматриваемый период вегетации трав температура воздуха по средним многолетним данным составляла 13,1 °С. В случае реализации сценария RCP4.5 в два первых периода средняя температура ожидается ниже средней многолетней (12,1–12,5 °С). В третий период – она будет равна средней многолетней. По сценарию RCP8.5 средняя температура воздуха в первый период будет на 1 °С выше среднемноголетней, во второй и третий периоды на 0,3–0,4 °С ниже.

Таблица 2 – Формирование урожая трав Северной Степи при средних многолетних условиях и в условиях изменения климата

Период, годы	Вся сухая масса, ц га ⁻¹			Фотосинтетический потенциал, м ² ·м ⁻²	Урожай трав при их влажности 16 %, т га ⁻¹			Баланс органического углерода в почве, т С га ⁻¹
	потенциального урожая	метеорологически возможного урожая	действительно возможного урожая		надземной массы	подземной массы	общей массы	
1980–2010	465	218	150	73,2	3,5	13,9	17,4	0,105
RCP4.5								
2021–2030	689	303	209	100,4	4,9	19,4	24,3	0,146
2031–2040	667	318	219	119,5	5,1	20,4	25,5	0,153
2041–2050	575	256	177	81,2	4,1	16,4	20,5	0,123
RCP8.5								
2021–2030	605	265	183	87,5	4,2	16,9	21,2	0,128
2031–2040	569	276	190	92,9	4,5	17,9	22,4	0,135
2041–2050	556	312	215	105,4	5,0	20,0	25,0	0,150

По климатическому сценарию RCP4.5 ожидается увеличение сумм осадков в первый период на 12 %, во второй период – на 41 % по сравнению с многолетним значением. Количество осадков в третий период ожидается на уровне среднего многолетнего. Дефицит влаги ($E_0 - E$) в первый период несколько снизится с 91 до 84 мм, незначительно повысится влагообеспеченность от 0,52 до 0,56 отн. ед. Также незначительно вырастет величина ГТК, которая, тем не менее, характеризует период как засушливый.

Во втором периоде за счет увеличения количества осадков и снижения температуры воздуха возможно существенное уменьшение дефицита влаги до 53 мм, что значительно улучшит влагообеспеченность и повысит ГТК до 1,46 отн. ед. Третий период будет характеризоваться как засушливый (ГТК = 0,85): увеличится дефицит влаги до 102 мм и ухудшится влагообеспеченность до 0,49 отн. ед.

По сценарию RCP8.5 сумма осадков за рассматриваемый период вегетации трав будет увеличиваться от одного сценарного периода к другому. В первый сценарный период ожидается, что количество осадков будет несколько ниже многолетней величины (94 %) во второй период сумма осадков возрастет на 18 %, в третий период – на 29 % выше среднеемноголетней величины (табл. 1). Дефицит влаги во второй период снизится от 91 до 80 мм. Произойдет незначительное повышение влагообеспеченности от 0,54 до 0,58 отн. ед. и увеличение величины ГТК, который, в третьем периоде возможно существенное уменьшение дефицита влаги до 44 мм, значительное улучшение влагообеспеченности (на 0,20 отн. ед.) и повышение ГТК до 1,24 отн. ед.

Таким образом, при сравнении агрометеорологических условий, которые сложатся в случае реализации климатических сценариев RCP4.5 и RCP8.5, ожидается, что температурный режим и условия увлажнения (по показателю ГТК), будут лучшими в первый и второй сценарные периоды по климатическому сценарию RCP4.5. В третий сценарный период ожидается улучшение условий вегетации луговой растительности по климатическому сценарию RCP8.5 по сравнению со сценарием RCP4.5.

Изменение влаго-температурных показателей повлечет за собой изменение их фотосинтетической продуктивности. Так, по сценарию RCP4.5 ожидается, что наивысший уровень относительной площади листьев будет во второй период ($3,04 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$) (рис. 1).

В достаточно засушливых условиях третьего периода сформируется меньшая площадь листового аппарата ($1,83 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$). По сценарию RCP8.5 формирование ассимиляционного аппарата будет идти аналогично динамике площади листьев при средних многолетних агрометеорологических условиях. Ожидается, что в период максимального развития ее величина составит: в первый период $2,44 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$, во второй – $2,28 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$, в третьей – $3,07 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$.

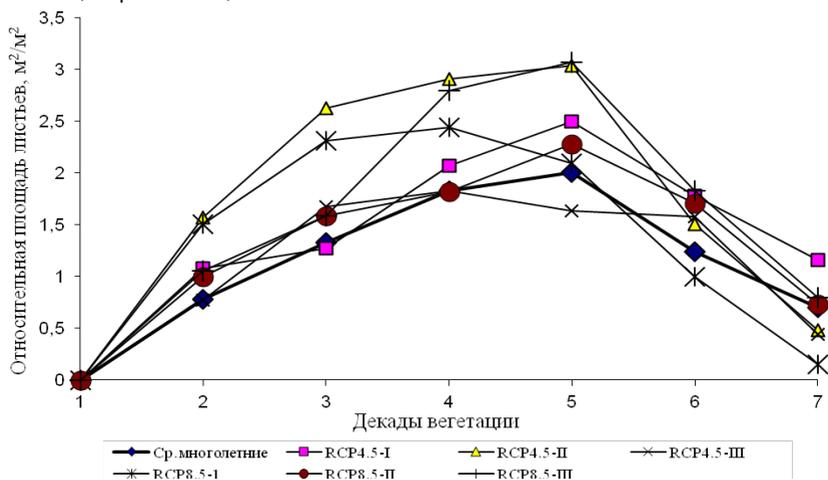


Рис. 1 – Динамика площади листьев трав в период возобновление вегетации - цветение по сравнению средней многолетней и сценарных расчетных данных. I, II, III – соответственно первый, второй, третий расчетные периоды по сценариям RCP 4.5 и RCP 8.5. Северная Степь.

Интенсивность фотосинтеза листьев трав по сценарию RCP4.5 при интенсивном нарастании ассимиляционной поверхности (вторая – четвертая декады вегетации) в первый и третий сценарные периоды будет достигать 4,5–7,0 мг CO₂ дм⁻² час⁻¹, что близко к средним многолетним значениям. На фоне повышенных значений ФАР сформируется и высокий фотосинтетический потенциал травостоя во все сценарные периоды. В первый-второй периоды он будет выше на 37-63 % среднего многолетнего значения, в третий, относительно засушливый период, ожидается, что он будет на 11 % выше среднего значения (рис. 2).

Во второй сценарный период интенсивность фотосинтеза листьев будет достигать 4,9–6,3 мг CO₂ дм⁻² час⁻¹, что несколько выше средних многолетних значений.

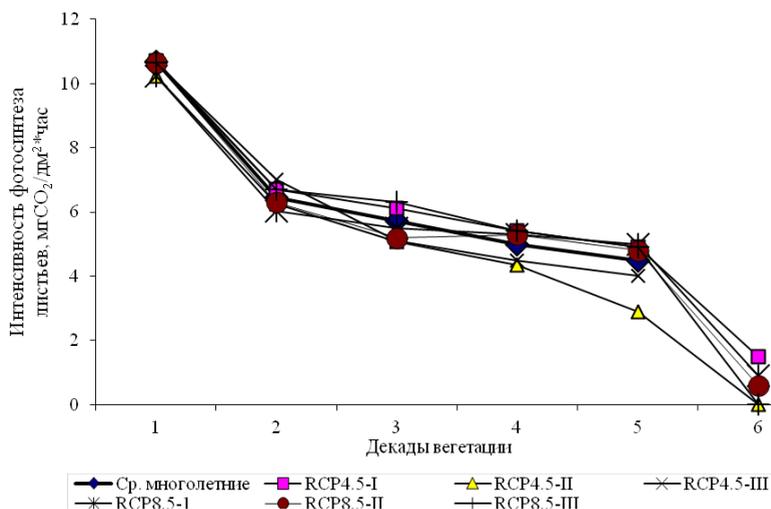


Рисунок 2 – Динамика интенсивности фотосинтеза листьев трав в сравнении среднего многолетнего и сценарных расчетных данных. I, II, III – соответственно первый, второй и третий расчетные периоды по сценариям Северная Степь.

Третий период будет наиболее благоприятным по температурному режиму и режиму увлажнения, что обусловит повышение интенсивность фотосинтеза на 0,1–0,6 мг CO₂ дм⁻² час⁻¹ выше по сравнению с многолетним значением. При такой фотосинтетической деятельности фотосинтетический потенциал травостоя по обоим климатическим сценариями сформируется достаточно высокий (87,5–105,4 м² м⁻²). Следует отметить, что в первые два сценарных периода фотосинтетический потенциал ожидается выше по сценарию RCP4.5 чем по сценарию RCP8.5. Для первого и второго сценарных периодов предполагается его превышение на 20–27 % многолетнего значения. Для третьего периода ожидается превышение этой величины на 44 % от средней величины (табл. 2).

Уровень МВУ всей сухой массы трав по сценарию RCP4.5 в первом периоде ожидается выше на 39 % от среднего многолетнего, во втором периоде - на 46 % выше среднего. Для третьего относительно засушливого периода уровень МВУ будет не-

сколько ниже сравнительно с первым и вторым периодом и будет выше на 17 % от среднего многолетнего значения.

При средних многолетних условиях урожай надземной массы трав при влажности 16 % составляет 3,5 т га⁻¹. При агрометеорологических условиях первого периода он будет равен 4,9 т га⁻¹, что составит 140 % от средней многолетней величины, в третий более засушливый период он составит 117 %. Соотношение надземной части биомассы к подземной составит около 0,25.

По климатическому сценарию RCP8.5 при небольшом повышении температуры воздуха (на 1 °С) и некотором недостатке осадков (на 6 % ниже) в первый и второй расчетные периоды уровень МВУ ожидается соответственно 265 и 276 ц га⁻¹ всей сухой растительной массы. Это будет составлять 122–127 % от среднего многолетнего значения. В третий период, величина МВУ ожидается на уровне 312 ц га⁻¹, что на 43 % выше средних значений.

Естественное плодородие почвы корректирует уровень ДВУ трав. По обоим сценариям ДВУ для первого и второго сценарных периодов ожидается 183 и 190 ц га⁻¹ всей сухой растительной массы соответственно, что будет выше на 22–27 % среднего значения, в третий периода предполагается, что уровень ДВУ будет самым высоким и составит 215 ц га⁻¹ (143 % среднемноголетнего).

Баланс содержания органического углерода в почве по обоим сценариям на участках луговой растительности ожидается положительным и составит для сценария RCP4.5 для двух первых сценарных периодов 0,146–0,153 т С га⁻¹ за год, а для третьего периода – 0,128–0,150 т С га⁻¹ за год, что соответственно будет выше на 17–46 % от среднего многолетнего значения. По сценарию RCP8.5 он в первый и второй периоды будет ниже, чем по сценарию RCP4.5.

Урожай надземной массы трав при влажности трав 16 % составляет 4,3 т га⁻¹ при средних многолетних условиях. По сценарию RCP4. в первый и третий сценарные периоды он ожидается на 8–15 % выше среднего многолетнего значения. В более благоприятных по влагообеспеченности условиях второго периода он будет на уровне 4,6 т га⁻¹.

По сценарию RCP8.5 урожай надземной массы трав для первого и второго периодов будет ниже, чем ожидаемый по сценарию RCP4.5 и составит 4,2–4,5 т га⁻¹. В условиях третьего сценарного периода предполагается, что урожай будет достигать 5,0 т га⁻¹, это на 43 % выше среднемноголетнего.

Южная Степь. Сезонное развитие трав по средним многолетним данным начинается в середине третьей декады марта. По климатическому сценарию RCP4.5 в первый и второй сценарные периоды сезонное развитие трав ожидается почти на уровне средних многолетних сроков (на 1–2 дня раньше). В третьем периоде начало вегетации будет несколько позже средних многолетних сроков (табл. 3). Во всех трех сценарных периода предполагается увеличение поступления ФАР, на 2–6 % больше оно будет в первые два периода, меньшим - в третьем периоде.

Таблица 3 – Агрометеорологические условия вегетации трав Южной Степи при средних многолетних условиях и в условиях изменения климата

Период, годы	Дата начала вегетации	Средняя температура воздуха, °С	Сумма осадков мм	Суммарное испарение (Е), мм	Испаряемость (Е ₀), мм	Относительная влагообеспеченность (Е/Е ₀), отн.ед.	Средний ГТК, отн. ед.	Сумма ФАР, кДж·см ⁻²
1980–2010	24.03	12,2	83	96	191	0,50	0,87	60,5
RCP4.5								
2021–2030	22.03	12,0	61	76	181	0,42	0,64	75,0
2031–2040	23.03	11,6	82	91	162	0,56	0,83	74,8
2041–2050	29.03	13,3	68	84	164	0,51	0,77	63,9
RCP8.5								
2021–2030	16.03	11,9	98	106	162	0,65	0,89	70,5
2031–2040	24.03	11,9	97	105	164	0,64	0,97	70,0
2041–2050	20.03	12,5	98	106	166	0,64	0,94	67,4

По сценарию изменения климата RCP8.5 сезонное развитие трав начнется в первый и третий сценарные периоды на 4–8 дней раньше многолетних сроков (табл. 3), во второй период начало вегетации совпадет с многолетними сроками.

Поступление ФАР по средним многолетним данным составляет 60,5 кДж·см⁻² за период. По сценарию RCP4.5 во все три сценарных периода ожидается значительное увеличение прихода ФАР; на 6–24 % оно будет больше в первые два периода, меньшим – в третьем периоде (табл. 3). По сценарию RCP8.5 поступления ФАР будет больше, чем по средним многолетним данным на 11–16 % (табл. 4).

При средних многолетних условиях ПУ всей сухой массы трав в Южной Степи составит 385 ц га⁻¹, в то время как по сценарию RCP4.5 в течение двух первых расчетных периодов она будет выше на 24–27 % от средней многолетней величины, а в третьем периоде ПУ сухой массы увеличится только на 8% (табл. 4).

Средняя температура воздуха за рассматриваемый период вегетации трав по многолетним данным составила 12,2 °С. По обоим сценариям в два первых сценарных периода она ожидается 11,6–12,0 °С, что несколько ниже многолетней. В третий период предполагается, что она будет на 1,1 °С выше многолетней по сценарию RCP4.5 и на 0,3 °С по сценарию RCP8.5.

Таблица 4 – Формирование урожая трав Южной Степи при средних многолетних условиях и в условиях изменения климата

Период, годы	Вся сухая масса, ц·га ⁻¹			Фотосинтетический потенциал м ² ·м ⁻²	Урожай трав при их влажности 16 % , т·га ⁻¹			Баланс органического углерода в почве, т С·га ⁻¹
	потенциального урожая	метеорологически возможного урожая	действительно возможного урожая		надземной массы	подземной массы	общей массы	
1980–2010	385	160	104	49,0	1,3	11,5	12,8	0,077
RCP4.5								
2021–2030	490	194	134	59,7	1,5	14,0	15,5	0,093
2031–2040	476	202	139	62,0	1,6	14,5	16,1	0,097
2041–2050	419	180	125	56,0	1,4	13,0	14,4	0,087
RCP8.5								
2021–2030	470	218	150	66,1	1,8	15,7	17,5	0,105
2031–2040	460	200	138	61,0	1,6	14,4	16,0	0,096
2041–2050	472	208	144	53,6	1,7	15,0	16,7	0,100

В течение трех сценарных периодов увлажнение будет неравномерным. По климатическому сценарию RCP4.5 в первом и третьем периодах ожидается уменьшение суммы осадков за период вегетации трав на 18 %. Увлажнение второго сценарного периода предполагается близким к климатической норме.

По сценарию RCP8.5 количество осадков будет ожидаться одинаковым во все три сценарных периода и составит 97–98 мм, что будет выше климатической нормы на 17–18 %. Это будет способствовать уменьшению дефицита влаги ($E_0 - E$) от 95 до 56–60 мм и улучшение влагообеспеченности от 0,50 до 0,64–0,65 отн. ед. (табл. 3).

Дефицит влаги по сценарию RCP4.5 в первый период вырастет от 95 до 105 мм, ухудшится влагообеспеченность трав от 0,50 до 0,42 отн. ед. Величина ГТК уменьшится от 0,87 до 0,64 отн. ед. Во втором периоде дефицит влаги уменьшится до 71 мм, улучшится влагообеспеченность (на 0,06 отн. ед.) и повысится ГТК до 0,83 отн. ед.

Третий сценарный период сравнительно со вторым периодом будет менее благоприятным для формирования урожая трав. Его характеризует более высокая температура воздуха (на 1,4 °С) и меньшее количество осадков. За этот период ГТК будет составлять 0,77 отн. ед. Дефицит влаги возрастет до 80 мм, соответственно уменьшится влагообеспеченность трав до 0,51 отн. ед.

Сравнивая агрометеорологические условия, которые сложатся в случае реализации климатических сценариев RCP4.5 и RCP8.5, следует отметить, что по температурному режиму и режиму увлажнения условия вегетации естественной растительности в Южной Степи по сценарию RCP8.5 ожидаются более благоприятные, чем при реализации сценария RCP4.5.

По сценарию RCP4.5 формирование ассимиляционного аппарата трав (рис. 3) будет идти аналогично динамике площади листьев при средних многолетних агрометеорологических условиях. При достаточно засушливых условиях первого периода сформируется меньшая площадь ассимиляционного аппарата ($1,40 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$). Второй сценарный период будет характеризоваться наиболее высоким уровнем относительной площади листьев ($1,88 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$), а в условиях третьего периода площадь листьев составит $1,52 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$. По сценарию RCP8.5 уровень площади листьев в период максимального развития будет более высоким по сравнению с многолетним значением. Второй сценарный период будет характеризоваться наиболее высоким уровнем относительной площади листьев ($1,88 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$) за счет лучших условий увлажнения и несколько сниженного температурного режима, а в условиях третьего периода площадь листьев составит $1,52 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$. По сценарию RCP8.5 площадь листьев в период максимального развития будет более высокая по сравнению с многолетним значением. Ожидается, что в третьем сценарном периоде он будет характеризоваться относительно меньшей площадью листьев ($1,54 \text{ м}^2 \text{ м}^{-2}$).

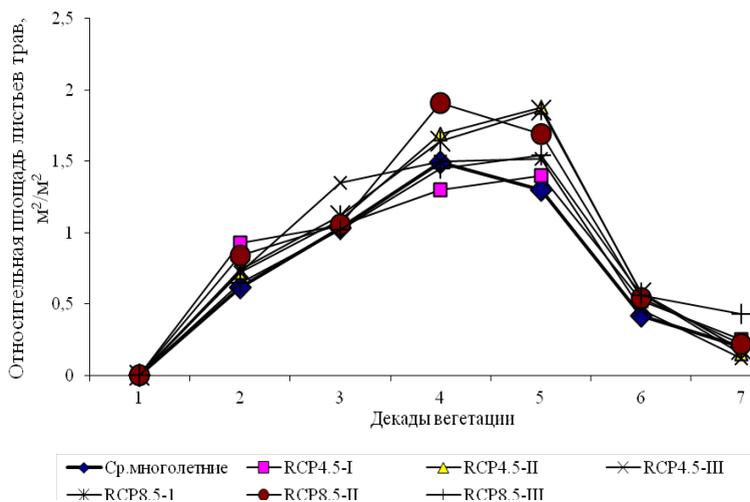


Рисунок 3 – Динамика площади листьев трав в период возобновления вегетации - цветение в сравнении средней многолетней и сценарных расчетных данных. I, II, III – соответственно первый, второй и третий расчетные периоды по сценариям RCP 4.5 и RCP 8.5. Южная Степь.

В период интенсивного нарастания ассимиляционной поверхности (вторая – четвертая декады вегетации) интенсивность фотосинтеза листьев трав (рис. 4) по сценарию RCP4.5 в первый и третий сценарные периоды будет достигать $5,0\text{--}6,6 \text{ мг CO}_2 \text{ дм}^{-2} \text{ час}^{-1}$, что близко к уровню фотосинтеза при средних многолетних условиях.

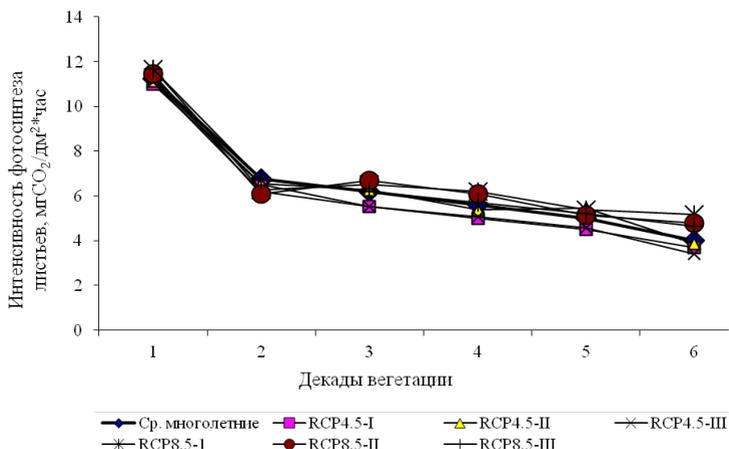


Рисунок 4 – Динамика интенсивности фотосинтеза листьев трав в период начала вегетации – цветение в сравнении среднего многолетнего и сценарных расчетных данных. I, II, III – соответственно первый, второй и третий расчетные периоды по сценариям RCP 4.5 и RCP 8.5. Южная Степь.

Фотосинтетический потенциал травостоя в эти периоды ожидается на уровне 114–126 % от среднемноголетних значений. В условиях сравнительно высокой влагообеспеченности второго периода интенсивность фотосинтеза будет выше от многолетней величины, за счет чего сформируется более высокий уровень фотосинтетического потенциала травостоя сравнительно с первым и третьим периодами.

По сценарию RCP8.5 интенсивность фотосинтеза листьев трав (рис. 4) в первый и второй сценарные периоды будет достигать 5,1–6,2 мг CO₂ дм⁻² час⁻¹, т.е. находится практически на уровне фотосинтеза в средних многолетних условиях. Фотосинтетический потенциал травостоя соответственно сформируется в эти периоды (124–134 % от значений среднего многолетнего). В условиях третьего периода сформируется несколько меньший уровень фотосинтетического потенциала травостоя сравнительно с первым и вторым периодами (109 % от значений среднего многолетнего).

В случае реализации сценария RCP4.5 уровень МВУ всей сухой массы трав в первом периоде ожидается на 21 % выше среднего многолетнего значения, большим он предполагается и во втором периоде (на 26 % выше среднего). Для третьего периода уровень МВУ снизится до 180 ц га⁻¹, он будет составлять 112 % от значения среднего многолетнего, которое равняется 160 ц/га.

Уровень ДВУ всей сухой массы трав, обусловленный естественным плодородием почвы, будет ожидать в первом и третьем сценарных периодах на 20–28 % выше среднего многолетнего. Для второго периода в более благоприятных агрометеорологических условиях уровень ДВУ достигнет 139 ц га⁻¹, что составляет 134 % от среднего многолетнего (табл. 4).

Урожай надземной массы трав при их влажности 16 % составляет 1,3 т га⁻¹

(табл.4) при средних многолетних условиях. В первом и третьем сценарных периодах (сценарий RCP4.5) он будет составлять 108–115 % от среднего многолетнего. В более благоприятных по влагообеспеченности условиях второго периода он будет на уровне 1,6 т га⁻¹. Соотношение надземной части биомассы к подземной будет равно около 0,11.

По сценарию RCP8.5 в первом периоде величина МВУ всей сухой массы трав ожидается на уровне 136 % от среднего многолетнего, несколько меньшим урожай будет во втором и третьем периодах (125–130 % от среднего). Уровень ДВУ всей сухой массы трав, обусловленный естественным плодородием почвы, предполагается в первом периоде 144 % от среднего многолетнего. Для второго и третьего периодов уровень ДВУ будет равен 138–144 ц га⁻¹, что составит 133–138 % от среднего многолетнего (табл. 4).

При средних многолетних условиях урожай надземной массы трав при влажности 16 % равен 1,3 т га⁻¹ (табл. 4). Для будущих условий первого сценарного периода он ожидается на уровне 138 % от многолетнего, для второго и третьего сценарных периодов он будет составлять 123–131 % от многолетнего значения и находиться на уровне 1,3 т га⁻¹. Соотношение надземной части биомассы к подземной будет равно около 0,11.

Сравнение ожидаемого урожая надземной массы трав в Южной Степи по обоим климатическими сценариями показывает, что за исключением второго сценарного периода более благоприятные условия формирования урожая по климатическому сценарию RCP8.5 позволят ожидать и высший уровень урожайности трав, чем при реализации сценария RCP4.5.

По обоим сценариям баланс органического углерода в почве на участках степной растительности ожидается положительным и составит для первого и третьего сценарных периодов 0,087–0,105 т С га⁻¹ за год, для второго периода 0,096–0,097 т С га⁻¹ за год, что соответственно будет выше на 13–36 и 25–26 % от среднего многолетнего значения.

Обсуждение результатов и заключение. Результаты исследования продуктивности трав в степях Украины хорошо совпадают с разработками [4] относительно результатов средних многолетних величин продуктивности луговой и степной растительности.

Экспериментальные измерения баланса углерода в почве, проведенные в различных почвенно-климатических условиях, позволяют сопоставить полученные нами результаты моделирования с результатами других авторов. В условиях Европы предполагается [19] значимое увеличение содержания органического углерода в почве к 2050 году. Полученные нами данные согласуются приведенными в работе [20] данными, характеризующими изменение содержания органического углерода в почве в Европе до 2100 года. Ожидается в связи с изменением климата увеличение баланса органического углерода в почве от 3 до 13 %.

В условиях изменения климата при реализации сценариев в разные периоды по десятилетиям будут происходить неоднозначные изменения условий формирования продуктивности луговой и степной растительности. Изменение влажно-температурных условий повлечет незначительное увеличение площади поверхности листьев, которое

в свою очередь будет способствовать увеличению биомассы растений. Почти во все три периода по расчетам ожидается рост агроэкологических категорий урожайности трав.

В целом за некоторым исключением (третий сценарный период) агрометеорологические условия формирования урожая, которые ожидаются за климатическими сценариями, будут складываться лучшими в Северной Степи по сценарию RCP4.5, а в Южной Степи по сценарию RCP8.5. В сравнении по обоим сценариям агрометеорологические условия формирования продуктивности трав ожидаются лучшими в Северной Степи, а уровень урожайности луговой растительности будет втрое выше по сравнению с урожайностью в Южной Степи.

Баланс содержания углерода в почве также несколько увеличится и будет составлять в Северной Степи 0,123-0,153 т С га⁻¹ за год, а в Южной Степи – 0,087-0,105 т С га⁻¹ за год. Произойдет также и изменение соотношения надземной и подземной части растений.

Приведенные выше результаты оценки влияния возможных изменений климата на формирование продуктивности луговой и степной растительности, баланс органического углерода в почве под природной растительностью получены впервые.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конопля М. І. Конопля О. М., Душинова Л. В. Сучасний стан та проблеми охорони степової рослинності Сходу України. *Зб. наук. праць. Фальцфейнівські читання*. Херсон, 2001. С. 75–77.
2. Кондратюк Е. Н., Чуприна Т. Т. Ковыльные степи Донбасса. Современное состояние и перспективы восстановления. Киев: Наукова думка, 1992. 171 с.
3. Шищенко П. Г. Антропогенные преобразования современных ландшафтов. *Природная среда и хозяйственная деятельность человека*. Киев: Изд. Киев. ун-та, 1985. С. 114–131.
4. Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
5. Титлянова А. А., Афанастев Н. А., Наумова Н. Б. и др. Сукцессии и биологический круговорот Новосибирск: ВО, Наука, Сиб. изд. фирма, 1993. 157 с.
6. Билык Г. І., Ткаченко В. С. и др. Современное состояние растительного покрова заповедника «Михайловская целина» на Сумщине. *Украинский ботанический журнал*. 1972. № 29 (6). С. 696–702.
7. Романова Э. П. Современные ландшафты Европы. М: Изд. МГУ, 1997. 302 с.
8. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / За ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: ТЕС, 2015. 520 с.
9. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / За ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: Екологія, 2011. 694 с.
10. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах змін клімату / За ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: ТЕС, 2018. 546 с.
11. Парахин Н. В., Кобозев И. В., Горбачев И. В. и др. Кормопроизводство. М.: Колос, 2006. 432 с.
12. Танфильев В. Г. О долголетии злаковых, бобовых и некоторых вторых трав. *Труды Ставропольского НИИСХ*. 1975. Вып. 17. С. 99–105.

13. Чибилев А. А. Лик степи. Экологогеографические очерки о степной зоне СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 192 с.
14. Полевой А. Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. *Метеорология, климатология и гидрология*. 2004. Вып. 48. С. 195–205.
15. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 264 с.
16. Образцов А. С. Системный метод: применение в земледелии. М.: Агропромиздат, 1990. 303 с.
17. Hopkins A., Del Prado A. Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigation options: a review. *Grass and Forage Science. The Journal of the British Grassland Society and the Official Journal of the European Grassland Federation*. 2007. Vol. 62, Issue 2. Pp. 118–126.
18. Burri S., Sturm P., Prechs U.E., A. Knoch A., Buchmann N. The impact of extreme summer drought on the short-term carbon coupling of photosynthesis to soil CO₂ efflux in a temperate grassland. *Biogeosciences*. 2014. Vol. 11 (7). Pp. 961–975.
19. Chang J., Ciais P., Viovy N., Soussana J.-F., Klumpp K., Sultan B. Future productivity and phenology changes in European grasslands for different warming levels: implications for grassland management and carbon balance. *Carbon Balance and Management*. 2017. Vol. 12 (11). Pp. 27–89.
20. Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., Bouwer L.M. et al. *EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research*. *Reg Environ Change*. 2014. Vol. 14 (2). Pp. 563–578.