

DOI
УДК 631.87

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ КАРБОНОВОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

А. А. Лукманова, Ф. З. Кадырова, Р. И. Сафин

Реферат. В работе приведена оценка пригодности различных генотипов (сортов) яровой пшеницы для применения в углеродном земледелии. Для этих целей определялись показатели углеродного следа (carbon footprint) и баланса парниковых газов при возделывании каждого из генотипов. Исследования проводились в 2022 году на опытных полях Казанского государственного аграрного университета, в условиях достаточного увлажнения, особенно в первой половине вегетации растений. Агротехнология возделывания сортов была рекомендованной для зоны Предкамья Республики Татарстан. Расчет углеродного следа (CFP) проводился по объему выбросов парниковых газов (ПГ) в кг эквивалента диоксида углерода (экв. CO₂) на кг получаемого продукта (зерна). Для определения объемов выбросов парниковых газов использовались данные по расходу топлива, синтетических удобрений, пестицидов, а также учитывались прямые и косвенные выбросы N₂O, связанные с минерализацией растительных остатков пшеницы. Объектами исследований выступали девятнадцать генотипов яровой пшеницы отечественной селекции. В условиях 2022 года урожайность различных сортов яровой пшеницы колебалась в широком диапазоне (от 2,64 т/га у сорта Тулайковская 108 до 4,75 т/га у сорта Ульяновская 105), в среднем по всем сортам достигнув уровня 3,76 т/га. Результаты оценки величины CFP показали, что в среднем он составил порядка 0,49 кг CO₂ экв. на кг⁻¹, причем коэффициент вариации показателя для всех сортов был равен 9,99%, что свидетельствует о слабой вариабельности. Минимальные значения углеродного следа были у сортов Хаят (0,40 кг CO₂ экв. на кг⁻¹), Ульяновская 105 и Уралосибирская 2 (0,42 кг CO₂ экв. на кг⁻¹). Для большинства изучаемых сортов яровой пшеницы баланс парниковых газов был отрицательным (в среднем -386,08 кг CO₂ экв. на га). Однако у сортов Иделле, Тулайковская надежда и Злата баланс был положительным, что связано с поступлением в почву значительного объема растительных остатков и соломы у данных сортов. Таким образом, из 19 сорта яровой пшеницы, только 3 имеют перспективы для применения в углеродном земледелии. Полученные результаты подтвердили необходимость в изучении углеродного следа и баланса парниковых газов при оценке генотипов яровой пшеницы в селекционных программах для углеродного земледелия.

Ключевые слова: парниковые газы, углеродное земледелие, углеродный след, селекция, оценка генотипов, яровая пшеница.

Введение. Среди основных рисков, оказывающих влияние на мировое сельское хозяйство, особое место занимают глобальные климатические изменения. Проблеме оценке влияния изменения климата на сельское хозяйство России посвящено большое количество исследований [1, 2, 3]. В частности, на основании анализа многолетних агрометеорологических данных, было установлено, что среднегодовая температура воздуха в РФ выросла с 1966 по 2020 гг. на 1,69 °C, что привело к увеличению повторяемости опасных метеорологических явлений, в том числе и засух [4]. На территории Татарстана в XXI веке, среднегодовой рост температуры воздуха составил 0,49 °C, но при этом количество осадков в период вегетации упало на 10%, что свидетельствует об усилении засушливости климата [5].

По мнению ряда ученых [6, 7, 8], в большинстве случаев, основной причиной климатических изменений выделяется деятельность человека, в том числе и в области сельского хозяйства [9]. При этом, основным механизмом антропогенного влияния на климат планеты является выделение в атмосферу парниковых газов (ПГ), важнейшими из которых являются CO₂, CH₄ и N₂O [10]. На глобальную продовольственную систему приходится порядка 21–37% ежегодных выбросов парниковых газов. Так, на сельскохозяйственную

деятельность приходится около половины всех антропогенных выбросов метана и около трех четвертей антропогенных выбросов N₂O [11]. В Российской Федерации объемы выбросов парниковых газов, обусловленных деятельностью сельскохозяйственного производства, за период 2015-2019 гг. составили, в среднем 112,2 млн. т CO₂ экв [12].

Один из инструментов, позволяющих всесторонне оценить экологические последствия производства сельскохозяйственной продукции является оценка жизненного цикла (life cycle assessment - LCA) [13]. Углеродный след (CF) используется для оценки объемов выбросов парниковых газов (ПГ), связанных с различными экономическими процессами и продуктами [14]. Его определяют как баланс выбросов ПГ за весь жизненный цикл продукта или процесса его производства. Определенные величины углеродного следа при производстве продукции растениеводства получило широкое распространение за рубежом. В частности, в условиях Египта углеродный след для пшеницы составил 0,239, а для кукурузы 0,307 кг CO₂ экв на 1 кг урожая зерна [15]. В Финляндии аналогичные показатели для овса оценивались в 0,570 кг CO₂ экв., для ячменя в 0,570 кг CO₂-экв., для пшеницы – 0,590 кг CO₂ экв. и для ржи в 0,87 кг CO₂ экв. на 1 кг зерна [16]. В Китае кукуруза имела самый низкий углеродный след – 0,48 кг

CO₂ экв., пшеница – 0,75 кг CO₂ экв., а рис имел самый высокий углеродный след – порядка 1,60 кг CO₂ экв. на единицу урожая [17]. Для расчета углеродного следа при производстве продукции растениеводства разработаны соответствующие калькуляторы [18, 19].

Одним из наиболее интересных направлений, связанных с разработкой приемов по снижению углеродного следа при возделывании сельскохозяйственных культур является создание сортов с минимальными его значениями. Так, детальный анализ, проведенный в Германии, показал, что за более чем три десятилетия, селекционный прогресс привел к значительному сокращению углеродного следа при производстве пшеницы и ржи. Стремительно растущие урожаи компенсировали увеличивающиеся выбросы парниковых газов на единицу площади, а создание сортов с более низким углеродным следом представляет собой одну из мер по смягчению последствий изменения климата в сельскохозяйственном секторе [20]. Именно поэтому, существует необходимость в оценке генотипов (сортов, гибридов) с точки зрения углеродного следа, особенно с точки зрения их использования в системе карбонового (углеродного) земледелия.

Условия, материалы и методы. Расчеты велись для трех парниковых газов (ПГ) двуокиси углерода (CO₂), метана (CH₄) и закиси азота (N₂O) с коэффициентами

конвертации – 1, 34 и 298 в CO₂ эквивалент (CO₂) [10]. Исследование охватывает выбросы парниковых газов в течение всего жизненного цикла (в системных границах «от начала до конца») в соответствии со стандартом DIN EN ISO 14040, который обобщает все соответствующие соотношения и коэффициенты выбросов (EF) для всех потоков ПГ [21]. При этом учитываются выбросы при производстве ресурсов (топливо, оборудование, семена, удобрения, пестициды) и выбросы на поле (выбросы от сгорания топлива при обработке почвы, посева, внесении удобрения, защите растений и уборке урожая), а также прямые и косвенные выбросы N₂O согласно методологии The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Данные по урожайности приводились к стандартной влажности – 14%. В результате определяются два показателя:

1. общие выбросы ПГ на гектар (GHGL; кг CO₂ экв. га⁻¹)

2. углеродный след на единицу продукции (CFP; кг CO₂ экв. на кг⁻¹) [51], который рассчитывается по следующей формуле:

$$CFP = GHGL/Y, \quad (1)$$

где CFP – углеродный след на единицу продукции, кг CO₂ экв. на кг⁻¹ продукции;

GHGL – суммарный выброс ПГ на 1 га, кг CO₂ экв. га⁻¹.

Y – урожайность, кг/га.

Таблица 1 – Расход ресурсов и выбросы парниковых газов (ПГ) при возделывании яровой пшеницы, 2022 г

Вид ресурса	Фактически использовались	Расход ресурса на 1 га, кг (л)	Коэффициент перевода в выбросы парниковых газов, кг CO ₂ экв.	Суммарные выбросы ПГ, кг CO ₂ экв. /га
Топливо	Дизельное топливо	41,55 л	98,48 г CO ₂ МДж ⁻¹	150,8
Удобрения (производство)	Азофоска (N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆)	150,0 кг	2,9 кг для N, для фосфора – 0,71 кг, для калия – 0,46 кг	98,4
	Аммиачная селитра (N _{34,4})	100,0 кг	2,9 кг для N	99,8
Пестициды (гербициды)	Балерина супер + Ластик Экстра	0,4+0,8 л/га	17,3	20,8
Удобрения (эмиссия закиси азота)	N _{50,4}	50,4	7,6	383,0
Семена	Семена	250	0,5	125
Итого:				877,8

Для расчетов использовали следующие коэффициенты, широко применяемые в мире для расчета углеродного следа [18, 22]:

– для дизельного топлива энергоёмкость 36,3 МДж л⁻¹ и выбросы парниковых газов 98,48 г CO₂ МДж⁻¹, т.е. в среднем при сгорании одного литра дизельного топлива выделяется 0,78 кг CO₂ экв;

– выбросы ПГ при производстве удобрений: для азота – 2,9 кг экв. CO₂ кг⁻¹,

для фосфора – 0,71 кг CO₂ экв. кг⁻¹, для калия – 0,46 кг CO₂ экв. кг⁻¹.

Выбросы N₂O - от внесения азотных удобрений в почву была рассчитаны с использованием коэффициента IPCC, исходя из того, что 2,55% от внесенных в почву азотных удобрений превращается в N₂O;

– выбросы, связанные с производством пестицидов в среднем оцениваются в 17,3 кг

CO₂ экв. кг⁻¹. Для биопестицидов аналогичные значения составляли 3,9 CO₂ экв. на 1 кг.

– также прямые и косвенные выбросы N₂O, связанные с минерализацией растительных остатков, согласно методологии IPCC, в среднем для зерновых культур составляют 4,68 кг CO₂ экв. кг⁻¹ N (с учетом особенностей накопления азота различными культурами). Для более точного расчета выбросов закиси азота от поступления растительных остатков в почву использовалась следующая формула:

Прямые выбросы:

$$N_2O = (U * R * D * DN) * 0,0125 * (44/28), \quad (2)$$

где U – урожайность, кг/га;

R – отношение растительных остатков к массе растениеводческой продукции;

D – доля сухого вещества в культуре;

DN – доля азота в культуре.

Для оценки связывания CO₂ в почве, учитывался баланс поступления сухого органического вещества (COB).

Полевые опыты с яровой пшеницей проводились в 2022 году на опытных полях Казанского ГАУ. Выращивались следующие сорта яровой мягкой пшеницы: Архат; Екатерина. 3. Злата. 4. Иделле. 5. Йолдыз. 6. Казанская юбилейная; 7. Маргарита; Симбирцит; Тулайковская 108; Тулайковская надежда. Ульяновская 105; Уралосибирская 2; Хаят; Черноземноуральская 2; Экада 109; Экада 113; Экада 66; Экада 70; Эстер. Агротехнология возделывания всех сортов

одинаковая. Посев проводился 15 мая 2022 года с нормой высева – 5,0 млн. в.с. на 1 га. Обработка почвы – безотвальная (почвоуглубление ПП-7). Предшественник – озимые зерновые. Согласно технологической карте, расход материальных ресурсов представлен в таблице 1.

Кроме выбросов парниковых газов, связанных с производством и применением материальных ресурсов, при расчете углеродного следа, учитываются прямые и косвенные выбросы N₂O, связанные с минерализацией растительных остатков.

Результаты и обсуждение. Результаты оценки урожайности и выбросов парниковых газов для различных сортов яровой пшеницы приведены в таблице 2.

В условиях 2022 года урожайность различных сортов яровой пшеницы колебалась в широком диапазоне (от 2,64 т/га у сорта Тулайковская 108 до 4,75 т/га у сорта Ульяновская 105), в среднем по всем сортам достигнуто уровня 3,76 т/га.

При этом коэффициент вариации показателя был на уровне 14,75% (средняя вариабельность), что связано с благоприятными погодными условиями для формирования урожая культуры.

В тоже время, выход растительных остатков у разных сортов сильно колебался (от 4,54 т/га у сорта Тулайковская 108 до 11,48 т/га у сорта Иделле), причем величина коэффициента вариации достигла уровня 23,83% (значительная вариабельность).

Таблица 2 – Урожайность и выбросы парниковых газов, связанные с минерализацией растительных остатков различных сортов яровой пшеницы, 2022 г

Сорт	Урожайность, т/га	Выход растительных остатков, т/га*	Отношение растительных остатков/ продукция, R	Суммарные выбросы ПГ, кг CO ₂ экв /га
Архат	3,97	6,35	1,60	884,85
Екатерина	3,02	5,25	1,74	731,19
Злата	3,31	7,33	2,22	1020,68
Иделле	4,70	11,48	2,44	1600,00
Йолдыз	3,85	7,20	1,87	1002,37
Казанская юбилейная	4,18	6,76	1,62	942,27
Маргарита	3,22	4,98	1,55	693,63
Симбирцит	3,67	6,53	1,78	909,74
Тулайковская 108	2,64	4,54	1,72	632,63
Тулайковская надежда	3,57	8,04	2,25	1120,36
Ульяновская 105	4,75	8,29	1,75	1155,32
Уралосибирская 2	4,49	7,63	1,70	1062,46
Хаят	4,08	5,38	1,32	749,86
Черноземноуральская 2	4,03	7,24	1,80	1008,39
Экада 109	3,82	6,72	1,76	936,84
Экада 113	3,80	6,79	1,79	946,16
Экада 66	3,33	4,98	1,50	693,46
Экада 70	3,53	5,96	1,69	829,80
Эстер	3,39	5,47	1,61	762,44
Среднее	3,76	6,68	1,77	930,66
Коэффициент вариации, %	14,75	23,83	15,20	23,84

Примечание: * – выход растительных остатков определялся на основании взвешивания во время уборки урожая

АГРОНОМИЯ

Таблица 3 – Углеродный след на единицу продукции (CFP), кг CO₂ экв. на кг⁻¹ продукции сортов яровой пшеницы, 2022 г

Сорт	Урожайность, т/га	Общие выбросы ПГ на гектар (GHGL) кг CO ₂ экв. га ⁻¹	CFP, кг CO ₂ экв. на кг ⁻¹
Архат	3,97	1762,65	0,44
Екатерина	3,02	1608,99	0,53
Злата	3,31	1898,48	0,57
Иделле	4,70	2477,80	0,53
Йолдыз	3,85	1880,17	0,49
Казанская юбилейная	4,18	1820,07	0,44
Маргарита	3,22	1571,43	0,49
Симбирцит	3,67	1787,54	0,49
Тулайковская 108	2,64	1510,43	0,57
Тулайковская надежда	3,57	1998,16	0,56
Ульяновская 105	4,75	2033,12	0,43
Уралосибирская 2	4,49	1940,26	0,43
Хаят	4,08	1627,66	0,40
Черноземноуральская 2	4,03	1886,19	0,47
Экада 109	3,82	1814,64	0,47
Экада 113	3,80	1823,96	0,48
Экада 66	3,33	1571,26	0,47
Экада 70	3,53	1707,60	0,48
Эстер	3,39	1640,24	0,48
Среднее	3,76	1808,46	0,49
Коэффициент вариации, %	14,75	12,27	9,99

Величина отношения растительных остатков/продукция (коэффициент R) в среднем для яровой пшеницы равна 1,3, тогда как в опытах

в среднем она достигла уровня 1,77, что связано с благоприятными условиями для нарастания биомассы растений в условиях 2022 года.

Таблица 4 – Баланс поступления СОВ в почву для различных сортов яровой пшеницы, 2022 г

Сорт	Урожайность, т/га	Вынос СОВ с урожаем, т/га	Поступление с корневыми и пожнивными остатками, т/га	Поступление с соломой и половой, т/га	Баланс, т/га	Связано в почве кг CO ₂ экв. на 1 га
Архат	3,97	3,45	1,49	2,64	0,68	1213,0
Екатерина	3,02	2,63	1,03	2,18	0,58	1034,6
Злата	3,31	2,88	1,13	3,05	1,30	2319,0
Иделле	4,70	4,09	1,60	4,78	2,29	4085,0
Йолдыз	3,85	3,35	1,31	3,00	0,96	1712,5
Казанская юбилейная	4,18	3,64	1,42	2,81	0,59	1052,5
Маргарита	3,22	2,80	1,09	2,07	0,36	642,2
Симбирцит	3,67	3,19	1,25	2,72	0,78	1391,4
Тулайковская 108	2,64	2,29	0,90	1,89	0,5	891,9
Тулайковская надежда	3,57	3,11	1,21	3,34	1,44	2568,7
Ульяновская 105	4,75	4,13	1,62	3,45	0,94	1676,8
Уралосибирская 2	4,49	3,91	1,53	3,17	0,79	1409,2
Хаят	4,08	3,55	1,39	2,24	0,08	142,7
Черноземноуральская 2	4,03	3,50	1,37	3,01	0,88	1569,8
Экада 109	3,82	3,32	1,30	2,80	0,78	1391,4
Экада 113	3,80	3,31	1,29	2,82	0,8	1427,1
Экада 66	3,33	2,89	1,13	2,07	0,31	553,0
Экада 70	3,53	3,07	1,20	2,48	0,61	1088,1
Эстер	3,39	2,95	1,15	2,28	0,48	856,2
Среднее					0,80	1422,37

При этом у ряда сортов показатель близок к расчетному (у сорта Хаят коэффициент $R = 1,32$, у сорта Экада $66 R = 1,50$), у других различает почти в 1,5-2 раза (у сорта Иделле $R = 2,44$, у сорта Злата $R = 2,22$, у сорта Тулайковская надежда $R = 2,25$).

В целом, коэффициент вариации показателя был на уровне 15,2%. С учетом различия поступления растительной массы почвы, суммарные выбросы ПГ от минерализации растительных остатков и выделения закиси азота колебались от 632,63 (у сорта Тулайковская 108) до 1600,00 (у сорта Иделле) кг CO_2 экв /га.

С учетом полученных данных по выбросу парниковых газов, был рассчитан показатель углеродного следа на единицу урожая (CFP) яровой пшеницы (табл. 3).

Результаты оценки величины CFP показал, что в среднем он составил порядка 0,49 кг CO_2 экв. на $кг^{-1}$, причем коэффициент вариации был равен 9,99%, что свидетельствует о слабой вариабельности. При этом, при сравнении показателей табл. 2 и 3, видно, что именно величина CFP является наиболее стабильной. В целом, величины CFP в опытах были на одном уровне, с показателями полученными в других странах [15, 16, 17]. Вместе с тем, среди изучаемых сортов можно выделить сорта с минимальными значениями CFP – Хаят (0,40 кг CO_2 экв. на $кг^{-1}$), Ульяновская 105 и

Уралосибирская 2 (0,43 кг CO_2 экв. на $кг^{-1}$). У большинства других сортов показатели были близки к средним значениям, причем показатель коэффициента вариации признака был на уровне 9,99%, что говорит о слабой вариабельности.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование показателя углеродного следа на единицу продукции (CFP) может стать одним из методов оценки селекционного материала, в том числе пригодности сортов для углеродного земледелия.

Результаты расчетов поступления сухого органического вещества (COB) в почву и объемов связанных в ней ПГ у различных сортов яровой пшеницы представлены в таблице 4.

Как видно из данных таблицы 4, в условиях 2022 года, у большинства сортов яровой пшеницы отмечался небольшой положительный баланс поступления COB в почву. Однако величина такого баланса у разных сортов была различна. Так, если в среднем для всех сортов баланс был на уровне +0,80 т/га, то для сорта Иделле он составил +2,29 т/га, для сорта Тулайковская надежда + 1,44 т/га и у сорта Злата + 1,30 т/га. У данных сортах отмечались и максимальные значения накопления в почве ПГ (кг CO_2 экв. на 1 га).

Для оценки пригодности сортов для углеродного земледелия определялся баланс прихода и выделения ПГ (табл. 5).

Таблица 5 – Баланс ПГ при возделывании различных сортов яровой пшеницы, кг CO_2 экв. на 1 га, 2022 г

Сорт	Связано в почве кг CO_2 экв. на 1 га	Общие выбросы ПГ на гектар (GHGL) кг CO_2 экв. на га	Баланс ПГ, кг CO_2 экв. на га
Архат	1213,0	1762,65	-549,65
Екатерина	1034,6	1608,99	-574,39
Злата	2319,0	1898,48	420,52
Иделле	4085,0	2477,80	1607,2
Йолдыз	1712,5	1880,17	-167,67
Казанская юбилейная	1052,5	1820,07	-767,57
Маргарита	642,2	1571,43	-929,23
Симбирцит	1391,4	1787,54	-396,14
Тулайковская 108	891,9	1510,43	-618,53
Тулайковская надежда	2568,7	1998,16	570,54
Ульяновская 105	1676,8	2033,12	-356,32
Уралосибирская 2	1409,2	1940,26	-531,06
Хаят	142,7	1627,66	-1484,96
Черноземноуральская 2	1569,8	1886,19	-316,39
Экада 109	1391,4	1814,64	-423,24
Экада 113	1427,1	1823,96	-396,86
Экада 66	553,0	1571,26	-1018,26
Экада 70	1088,1	1707,60	-619,5
Эстер	856,2	1640,24	-784,04
Среднее			-386,08

Для большинства сортов яровой пшеницы, баланс ПГ складывался отрицательным (в среднем -386,08 кг CO_2 экв. на га). Однако для сорта Иделле данный показатель был положительным (+1607,2 кг CO_2 экв. на га). Также положительными показателями были у сортов Тулайковская надежда (570,54 кг CO_2 экв.

на га) и Злата (420,52 кг CO_2 экв. на га).

Выводы. Проведенные исследования показали, что оценка углеродного следа и баланса парниковых газов при производстве яровой пшеницы может стать одним из методов оценки генотипов культуры, в том числе и с точки зрения их использования в карбоновом

(углеродном) земледелии.

Полевые опыты, проведенные в 2022 году показали, что с точки зрения пригодности для углеродного земледелия, из 19 сортов яровой пшеницы, преимущество имели три – Иделле,

Тулайковская надежда и Злата

Работа выполнена в рамках реализации проекта «Разработка элементов углеродного земледелия в условиях растущих климатических рисков».

Литература

1. Адаптация сельского хозяйства России к глобальным изменениям климата / Под ред. И.Г. Ушачева и А.Г. Папцова. М.: ВНИИЭСХ, 2015. 42 с.
2. Зинченко А. П., Демичев В. В. Изменение климата и инклюзивное развитие сельского хозяйства в регионах России // Доклады ТСХА, Москва, 02–04 декабря 2020 года. Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. С. 278-281.
3. Краснощеков В. Н., Ольгаренко Д. Г., Рожкова О. Н. Изменение климата и сельское хозяйство России: проблемы и решения // Природообустройство. 2017. № 2. С. 80-88.
4. Ключеров Д. А., Баранов Д. А. Климатические изменения в России: исторические тенденции развития // Аграрная история. 2021. №8. С.57-74.
5. Шайтанов О. Л., Низамов Р. М., Захарова Е. И. Оценка влияния глобального потепления на климат Татарстана // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. №4 (40). С.102-112.
6. Шерстюков Б. Г. Изменения климата: причины и прогноз // Земля и Вселенная. 2017. № 3. С. 30-44.
7. Причины наблюдаемых изменений климата / П. В. Спорышев, В. М. Катцов, В. П. Мелешко [и др.] // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2014. № 574. С. 39-124.
8. Ревенко Л. С. Солдатенкова О. И., Ревенко Н. С. Глобальная продовольственная проблема: новые вызовы для мира и России // Экономика. Налоги. Право. 2022. №4. С. 54-55.
9. Константинов А. В. Роль и место антропогенного изменения климата в системе обеспечения экономической безопасности в секторах экономики // Социально-экономические явления и процессы. 2014. Т. 9. № 8. С. 61-66.
10. Anthropogenic and natural radiative forcing / G. Myhre, D. Shindell, F.-M. Bréon, et al. // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, eds T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, and J. Boschung, et al. (Cambridge; New York, NY: Cambridge University Press). 2013. P.659–740.
11. Lynch J., Cain M., Frame D. and Pierrehumbert R. Agriculture's Contribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct From Predominantly Fossil CO2-Emitting Sectors // Front. Sustain. Food Syst. 2021. 4:518039. doi: 10.3389/fsufs.2020.518039
12. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.
13. Caffrey K. R., Veal M. V. Conducting an agricultural life cycle assessment: Challenges and perspectives // Sci. World J. 2013. Dec 10;2013:472431. doi: 10.1155/2013/472431.
14. Fantozzi F., Bartocci F. P. Carbon footprint as a tool to limit greenhouse gas emissions // Greenhouse Gases. 2016.
15. Carbon footprint for wheat and corn under Egyptian conditions. Future of Food / A.A. Farag, M. M. H.EL-Moula, M. M.Maze, R. A.El Gendy, H.A. Radwan // Journal on Food, Agriculture and Society. 2018. Vol. 6 (2). P. 41-54.
16. Rajaniemi M., Mikkola H., Ahokas J. Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production // Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue. 2011. Vol. 1. P. 189-195.
17. Carbon footprint of grain production in China / D. Zhang, J. Shen, F. Zhang et al. // Sci. Rep. 2017. Vol. 7. 4126 <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04182-x>
18. Ho J. A. Calculation of the carbon footprint of Ontario wheat // Studies by Undergraduate Researchers at Guelph. 2011. Vol. 4, No. 2. P. 49-55
19. Peter C. Do greenhouse gas emission calculations from energy crop cultivation reflect actual agricultural management practices? – A review of carbon footprint calculators // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. vol. 67. P. 461-476.
20. Breeding progress reduces carbon footprints of wheat and rye / L. Riedesel, F. Laidig, S. Hadasch, D. Rentel, B.Hackauf, H.-P. Piepho, T. Feike // J. Cleaner Prod. 2022. P. 377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134326>
21. DIN EN ISO 14040. Umweltmanagement – "Okobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. DIN, 2021. Beuth Verlag GmbH, p. 36.
22. Strategies for reducing the carbon footprint of field crops for semiarid areas. A review / Y. Gan, C. Liang, C. Hamel, H. Cutforth, H. Wang // Agronomy. Developm. 2011. Vol. 31. P.643–656.

Сведения об авторах:

Лукманова Айзиля Ахнаповна – аспирант, e-mail: aizilya@mail.ru

Кадырова Фануся Загитовна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: fanusa51@rambler.ru

Сафин Радик Ильясович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой, e-mail: radiksaf2@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия.

SUITABILITY EVALUATION OF DIFFERENT VARIETIES SPRING WHEAT FOR CARBON FARMING

A. A. Lukmanova, F. Z. Kadyrova, R. I. Safin

Abstract. The paper presents an assessment of the suitability of various genotypes (cultivars) of spring wheat for use in carbon farming. For these purposes, indicators of the carbon footprint and the balance of greenhouse gases in the cultivation of each of the genotypes were determined. The studies were carried out in 2022 on the experimental fields of

the Kazan State Agrarian University, under conditions of sufficient moisture, especially in the first half of the plant growing season. Agrotechnology for cultivation of varieties was recommended for the area of the Pre-Kama region of the Republic of Tatarstan. The calculation of the carbon footprint (CFR) was carried out on the basis of greenhouse gas (GHG) emissions in kg of carbon dioxide equivalent (CO₂ equivalent) per kg of product (grain). To determine the volume of greenhouse gas emissions, data on the consumption of fuel, synthetic fertilizers, pesticides were used, and direct and indirect N₂O emissions associated with the mineralization of wheat plant residues were also taken into account. The objects of research were nineteen genotypes of spring wheat of domestic selection. In the conditions of 2022, the yield of various varieties of spring wheat fluctuated over a wide range (from 2.64 t/ha for the Tulaikovskaya 108 variety to 4.75 t/ha for the Ulyanovsk 105 variety), reaching an average of 3.76 t/ha for all varieties. The results of the assessment of the CFP value showed that on average it amounted to about 0.49 kg CO₂ eq. per kg⁻¹, and the coefficient of variation of the indicator for all varieties was 9.99%, which indicates a weak variability. The lowest carbon footprints were found in Khayat (0.40 kg CO₂ eq/kg⁻¹), Ulyanovskaia 105 and Ura-Losibirskaya 2 (0.42 kg CO₂ eq/kg⁻¹). For most of the studied spring wheat varieties, the greenhouse gas balance was negative (on average -386.08 kg CO₂ eq. per ha). However, in the varieties Idelle, Tulaikovskaya Nadezhda and Zlata, the balance was positive, which is associated with the entry into the soil of a significant amount of plant residues and straw in these varieties. Thus, out of 19 varieties of spring wheat, only 3 have prospects for use in carbon farming. The results obtained confirmed the need to study the carbon footprint and balance of greenhouse gases when assessing spring wheat genotypes in breeding programs for carbon farming.

Key words: greenhouse gases, carbon farming, carbon footprint, breeding, genotyping, spring wheat.

References

1. Adaptation of Russian agriculture to global climate change / Ed. I.G. Ushachev and A.G. Paptsova. M.: VNIIESKh, 2015. 42 p.
2. Zinchenko A. P., Demichev V. V. Climate change and inclusive development of agriculture in the regions of Russia // Doklady TSHA, Moscow, December 02–04, 2020. Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy. K.A. Timiryazev, 2021. S. 278-281.
3. Krasnoshchekov V. N., Olgarenko D. G., Rozhkova O. N. Climate Change and Agriculture in Russia: Problems and Solutions // Prirodobustroy. - 2017. No. 2. P. 80-88.
4. Klyucherov D. A., Baranov D. A. Climate change in Russia: historical development trends // Agrarian history. 2021. No. 8. pp.57-74.
5. Shaitanov O. L., Nizamov R. M., Zakharova E. I. Assessment of the impact of global warming on the climate of Tatarstan // Leguminous and cereal crops. 2021. No. 4 (40). pp.102-112.
6. Sherstyukov B. G. Climate change: causes and forecast // Earth and Universe. 2017. No. 3. S. 30-44.
7. Causes of observed climate changes / P. V. Sporyshev, V. M. Kattsov, V. P. Meleshko [et al.] // Proceedings of the Main Geophysical Observatory im. A.I. Voeikov. 2014. No. 574. S. 39-124.
8. Revenko L. S. Soldatenkova O. I., Revenko N. S. Global food problem: new challenges for the world and Russia // Economics. Taxes. Right. 2022. №4. pp. 54-55.
9. Konstantinov A. V. The role and place of anthropogenic climate change in the system of ensuring economic security in economic sectors // Socio-economic phenomena and processes. 2014. V. 9. No. 8. S. 61-66.
10. Anthropogenic and natural radiative forcing / G. Myhre, D. Shindell, F.-M. Bréon, et al. // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, eds T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, and J. Boschung, et al. (Cambridge; New York, NY: Cambridge University Press). 2013. R. 659–740.
11. Lynch J., Cain M., Frame D. and Pierrehumbert R. Agriculture's Contribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct From Predominantly Fossil CO₂-Emitting Sectors/ // Front. Sustain. food system. 2021. 4:518039. doi:10.3389/fsufs.2020.518039
12. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2020. State report. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 2021. 864 p.
13. Caffrey K. R., Veal M. V. Conducting an agricultural life cycle assessment-ment: Challenges and perspectives// Sci. World J. 2013. Dec 10;2013:472431. doi: 10.1155/2013/472431.
14. Fantozzi F., Bartocci F. P. Carbon footprint as a tool to limit greenhouse gas emissions // Greenhouse Gases. 2016.
15. Carbon footprint for wheat and corn under Egyptian conditions. Future of Food / A.A. Farag, M. M. H. EL- Moula, M. M. Maze, R. A.El Gendy, H.A. Radwan // Journal on Food, Agriculture and Society. 2018 Vol. 6(2). R. 41-54.
16. Rajaniemi M., Mikkola H., Ahokas J. Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production // Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue. 2011 Vol. 1. R. 189-195.
17. Carbon footprint of grain production in China / D. Zhang, J. Shen, F. Zhang et al. //Sci. Rep. 2017 Vol. 7.4126 https://doi.org/10.1038/s41598-017-04182-x
18. Ho J. A. Calculation of the carbon footprint of Ontario wheat// Studies by Undergraduate Researchers at Guelph. 2011 Vol. 4, no. 2. R. 49-55
19. Peter C. Do greenhouse gas emission calculations from energy crop cultivation reflect actual agricultural management practices? – A review of carbon footprint calculators// Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. vol. 67. R. 461-476.
20. Breeding progress reduces carbon footprints of wheat and rye / L. Riedesel, F. Laidig, S. Hadasch, D. Rentel, B. Hackauf, H.-P. Piepho, T. Feike // J. CleanerProd. 2022., P. 377. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134326
21. DIN EN ISO 14040. Umweltmanagement – "Okobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. DIN, 2021. Beuth Verlag GmbH, p. 36.
22. Strategies for reducing the carbon footprint of field crops for semiarid areas. A review / Y. Gan, C. Liang, C. Hamel, H. Cutforth, H. Wang // Agronomy Sust. Developm. 2011 Vol. 31. R.643-656.

Authors:

Lukmanova Aizilya Akhnapovna – postgraduate student, e-mail: aizilya@mail.ru
 Kadyrova Fanusya Zagitovna - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, e-mail: fanusa51@rambler.ru
 Safin Radik Ilyasovich - Doctor of Agricultural Sciences, Head of department, e-mail: radiksaf2@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.