

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья

УДК 633.34:631.67

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-206-219

Оценка использования фотосинтетически активной радиации соей на орошаемых землях Ростовской области

Роман Степанович Масный¹, Георгий Трифонович Балакай²,
Александр Николаевич Бабичев³, Сергей Артурович Селицкий⁴

^{1, 2, 3, 4}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0254-738X>

²balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

³babichevan2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

⁴ssilja@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>

Аннотация. **Цель:** оценка использования фотосинтетически активной радиации (ФАР) соей при применении усовершенствованной технологии возделывания на орошаемых землях Ростовской области. **Материалы и методы.** Исследования проведены на орошаемых землях в ООО «Агропредприятие «Бессергеновское» в 2019–2021 гг. Закладка полевых опытов на посевах сои, учеты и наблюдения проводились по методикам ВНИИМК и ВНИИ сои. В опытах высевались сорта сои: СК Оптима, СК Риана, Селекта 201, Селекта 302, СК Веда. Для расчета использования ФАР применялась методика А. А. Ничипоровича. Показатели солнечной радиации определялись по данным метеостанции в Гиганте. **Результаты.** В результате исследований установлены показатели, необходимые для расчета коэффициента полезного использования (КПИ, аналог КПД) ФАР в условиях Ростовской области: продолжительность вегетации сои и суммарная солнечная радиация за этот период, урожайность основной продукции и биомасса побочной продукции, отношение урожая семян сои к побочной продукции, калорийность основной и побочной продукции. Установлено, что уровень урожайности семян сортов сои в среднем за три года исследований варьирует в пределах 3,96–4,66 т/га, максимальный показатель получен у сорта СК Риана. **Выводы.** Исследования позволили определить общую массу растений сои, в т. ч. основной продукции: урожайность семян у изучаемых сортов сои от 3,96 до 4,66 т/га, и побочной – от 4,79 до 5,64 т/га абсолютно сухой массы с соотношением 1:1,21, калорийность основной и побочной продукции и рассчитать коэффициент использования суммарной радиации $K_{\text{фар}}$. Расчеты показали, что коэффициенты использования $K_{\text{фар}}$ сои зависят от поступившей суммарной солнечной радиации и массы синтезированного растениями сои вещества и достигают 1,43 и 1,48 % у сортов СК Оптима и СК Веда соответственно (это характеризует посевы данных сортов как обычные) и 1,61; 1,62 и 1,67 % у сортов Селекта 201, Селекта 302 и СК Риана соответственно (это характеризует посевы данных сортов как хорошие).

Ключевые слова: соя, фотосинтетически активная радиация, фотосинтез, солнечная радиация, урожайность

Для цитирования: Оценка использования фотосинтетически активной радиации соей на орошаемых землях Ростовской области / Р. С. Масный, Г. Т. Балакай, А. Н. Бабичев, С. А. Селицкий // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 206–219. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-206-219>.

GENERAL AGRICULTURE, CROP PRODUCTION

Original article

Assessment of the use of photosynthetically active radiation by soybean on irrigated lands in Rostov region

Roman S. Masnyi¹, Georgiy T. Balakay², Alexandr N. Babichev³,
Sergey A. Selitskiy⁴

^{1, 2, 3, 4}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹rosniipm@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0254-738X>

²balakaygt@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8021-6853>

³babichevan2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1146-7530>

⁴ssilja@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4771-4516>

Abstract. Purpose: assessment of the use of photosynthetically active radiation (PAR) by soybeans while using the improved cultivation technology on irrigated lands in Rostov region. **Materials and methods.** The studies were carried out on irrigated lands at Bes-sergenevskoe Agricultural Enterprise LLC in 2019–2021. The laying of field experiments on soybean crops, recording and observations were carried out according to the methods of VNIIMK and All-Union Scientific Research Institute of soybean. In the experiments, the following soybean varieties were sown: SK Optima, SK Riana, Selecta 201, Selecta 302, SK Veda. The method of A. A. Nichiporovich was used to calculate the use of PAR. Indicators of solar radiation were determined according to the data of the meteorological station in Gigant. **Results.** As a result of the research, the indicators necessary for calculating the capacity utilization (CU, an analogue of Efficiency) of the PAR under the conditions of Rostov region were specified: the duration of the soybean vegetation and total solar radiation for this period, the core product yield and the by-products biomass, the ratio of soybean seed yield to by-products, energy value of the core product and by-products. It has been found that the level of seed yield of soybean varieties on average for three years of research varies within the range of 3.96–4.66 t/ha, the maximum indicator was obtained for the cultivar SK Riana. **Conclusions.** The studies allowed determining the total mass of soybean plants, including the core product: the seed yield of the studied soybean varieties is from 3.96 to 4.66 t/ha, and of the by-product is from 4.79 to 5.64 t/ha absolutely dry mass with a ratio of 1:1.21, the energy content of the core and by-products and calculating the utilization capacity of the total radiation K_{far} . Calculations showed that the K_{far} soybean utilization factors depend on the total solar radiation received and the mass of the substance synthesized by soybean plants and reach 1.43 and 1.48 % for the cultivars SK Optima and SK Veda, respectively (this characterizes the crops of these varieties as ordinary) and 1.61; 1.62 and 1.67 % for cultivars Selecta 201, Selecta 302 and SK Riana, respectively (this characterizes the crops of these varieties as good).

Keywords: soybean, photosynthetically active radiation, photosynthesis, solar radiation, yield

For citation: Masnyi R. S., Balakay G. T., Babichev A. N., Selitskiy S. A. Assessment of the use of photosynthetically active radiation by soybean on irrigated lands in Rostov region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(3):206–219. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-206-219>.

Введение. Основными биотическими факторами, влияющими на величину урожайности сельскохозяйственных культур, являются экологиче-

ские, агроклиматические условия, а также техника и технологии возделывания [1–7]. Наряду с плодородием почвы, тепловыми ресурсами, влагообеспеченностью территории одним из основных факторов, влияющих на рост и развитие растений, является их освещенность в период вегетации. При этом растениями для фотосинтеза используются длины волн от 380 до 710 нм [8].

Эффективность использования фотосинтетически активной радиации (ФАР) растениями можно применять для оценки потенциальной производительности сельскохозяйственных угодий при разработке и усовершенствовании технологий их возделывания, в т. ч. на орошаемых землях, или применения других мелиоративных мероприятий и элементов технологии возделывания.

По данным А. А. Ничипоровича (1966) [9], в производственных посевах использование ФАР достигает 1,5–3,0 % и при интенсивных технологиях возделывания достигаются рекордные урожаи при 3,5–5,0 %. Наиболее продуктивное использование ФАР происходит при площади листовой поверхности более 40–50 тыс. м²/га и благоприятных условиях возделывания растений [10–12].

Если оценку эффективности различных элементов агротехники в основном производят по показателям экономическим (доход, себестоимость, рентабельность), экологическим (воздействие на природную среду), социальным (необходимость и востребованность обществом), энергетическим (затраты энергии и прирост совокупной энергии органического вещества), то для эффективного управления фотосинтезом и формированием урожая биоценозом растений наиболее приемлемой становится методика оценки физиологической способности растений синтезировать органические вещества и формировать урожайность по показателю «коэффициент использования растением фотосинтетически активной солнечной радиации». В связи с этим целью исследований являлась оценка использования ФАР

соей при применении усовершенствованной технологии возделывания на орошаемых землях Ростовской области.

Материалы и методы. Исследование, посвященное усовершенствованию технологии возделывания сои, проводилось на орошаемых землях ООО «Агропредприятие «Бессергеновское» в 2019–2022 гг. на территории Ростовской области. Возделывание перспективных сортов сои осуществлялось на фоне агротехнических мероприятий, позволяющих получать максимальные урожаи. Посев сортов сои проводился инокулированными семенами широкорядным способом (0,7 м) нормой 500 тыс. шт./га; минеральные удобрения вносились дозами с учетом обеспеченности почвы питательными веществами, рассчитанными на планируемую урожайность 4,0 т/га семян; орошение осуществлялось дождеванием, режимом орошения поддерживался уровень влажности почвы в слое 60 см не ниже 80 % наименьшей влагоемкости; посевы обрабатывались регуляторами роста и микроудобрениями. Закладка полевых опытов проводилась по методике ВНИИМК¹, учеты и наблюдения за ростом и развитием растений по методике В. Т. Синеговской, Е. Т. Наумченко, Т. П. Кобозевой [13]. Статистическую обработку результатов исследований проводили по методу дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [14]. Для определения эффективности использования солнечной радиации растениями при различных элементах технологии возделывания производились сравнительные оценки влияния солнечной радиации, урожайности основной и побочной продукции на показатели использования (коэффициент полезного использования (КПИ)) ФАР.

Для расчетов необходимо было установить показатели прихода ФАР ($Q_{\text{фар}}$, кДж/см²) для данной территории (метеостанция Гигант) за период вегетации культуры от всходов до созревания (в днях), величины урожая абсолютно сухой массы (АСВ) ($Y_{\text{биол}}$, т/га), основной (зерно, Y_3 , т/га) и побоч-

¹Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / под ред. В. М. Лукомца. Краснодар, 2010. 327 с.

ной продукции (солома, полова, опавшие листья и черешки, масса корней), калорийность 1 кг сухой биомассы (K , кДж/кг) основной и побочной продукции.

Определив эти показатели, можно рассчитать возможную биологическую урожайность при различных коэффициентах использования ФАР ($K_{\text{фар}}$, %) по формуле:

$$Y_{\text{биол}} = Q_{\text{фар}} \cdot K_{\text{фар}} \cdot 10^3 / K. \quad (1)$$

Коэффициент использования ФАР посевом сои в этом уравнении задается (например, 1, 2 или 3 %).

Для расчета потребления ФАР в России применяют несколько основополагающих методик, автором которых является А. А. Ничипорович [15]. За рубежом предлагают расширить учитываемые длины волн, влияющих на фотосинтез [16].

В данной статье для оценки использования ФАР соей на орошаемых землях применялись методические положения, изложенные у А. А. Ничипоровича (1966) [9].

Далее определяется урожайность основной продукции – зерна (Y_z , т/га), соотношение зерна и побочной продукции, подставляются показатели стандартной влажности зерна (B , %) и суммы частей основной и побочной продукции при соотношении L в формулу:

$$Y_z = Y_{\text{биол}} \cdot 100 / (100 - B) \cdot L. \quad (2)$$

Для определения коэффициента использования ФАР растениями (что равнозначно КПД ФАР) нами сгруппированы формулы (1) и (2) и выделен показатель «коэффициент использования ФАР» $K_{\text{фар}}$ по формуле:

$$K_{\text{фар}} = \frac{Y_z \cdot (100 - B) \cdot L \cdot K}{Q_{\text{фар}} \cdot 10^3 \cdot 100}. \quad (3)$$

Подставив в формулу известные результаты исследований различных вариантов опытов по подбору сортов или по элементам технологии

возделывания культуры, рассчитывают показатели и проводят сравнительную их оценку по эффективности использования ФАР ($K_{\text{фар}}$).

Результаты и обсуждения. Соблюдение агротехники возделывания сои позволяет получать урожайность 5,5 т/га зерна и более. Помимо урожайности большой интерес для науки представляет и оценка влияния элементов технологии возделывания сои на эффективность использования ФАР.

По результатам многолетних исследований (2019–2022 гг.) нами установлены показатели, необходимые для расчета КПИ ФАР в условиях Ростовской области: период вегетации сои и суммарная солнечная радиация за этот период; урожайность основной продукции и биомасса побочной продукции, отношение урожая зерна к побочной продукции; влажность этой продукции; калорийность основной и побочной продукции.

В Ростовской области в связи с южным расположением (46–50° с. ш.) продолжительность солнечного сияния составляет около 2143 ч/год. Отмечается обилие солнечной радиации в период вегетации сои 2549–2683 МДж/м². Суммарная годовая ее величина составляет около 5000 МДж/м² [17]. В таблице 1 приводятся показатели суммарной солнечной радиации на метеостанции Гигант Ростовской области.

Таблица 1 – Средняя суммарная солнечная радиация в Ростовской области [17]

Table 1 – Average total solar radiation in Rostov region [17]

Метеостанция	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Гигант, МДж/м ²	126	190	333	464	647	672	678	597	429	276	126	80
кДж/см ²	12,6	19,0	33,3	46,4	64,7	67,2	67,8	59,7	42,9	27,6	12,6	8,0

Продолжительность вегетации сои определяется от полных всходов и до созревания. Оптимальные сроки посева сои определены в период с 25 апреля до 31 мая, посев возможен и в июне в поукосных посевах и в июле – в пожнивных посевах, однако урожайность сои снижается на

15–30 % из-за посева ультраскороспелых (группа спелости 000) и очень скороспелых (группа спелости 00) сортов сои и уменьшения используемой суммарной радиации.

Пример расчета показателей суммарной радиации за вегетационный период сои, коэффициента использования ФАР ($K_{\text{фар}}$) представлен ниже с использованием фактических результатов исследований в опыте по изучению сортов сои в 2020 г.

Например, в опытах 2020 г. при посеве сортов сои 19 мая полные всходы получены 28 мая, полная спелость отмечена 21 сентября, при этом вегетационный период составил 116 дней (таблица 2).

Таблица 2 – Даты наступления фаз развития сортов сои, 2020 г.
Table 2 – Dates of the onset of the soybean varieties development phases, 2020

Сорт	Дата наступления фаз вегетации сортов сои						Продолжительность вегетации, дней
	всходы	ветвление	цветение	образование бобов	налив бобов	полная спелость	
СК Оптима (контроль)	28.05	16.06	03.07	23.07	14.08	21.09	116
СК Риана	28.05	15.06	02.07	21.07	10.08	22.09	117
Селекта 201	28.05	15.06	01.07	19.07	08.08	15.09	110
Селекта 302	28.05	17.06	05.07	26.07	17.08	30.09	125
СК Веда	28.05	16.06	02.07	21.07	11.08	15.09	113

Для сорта СК Оптима использование солнечной радиации за вегетационный период ($B_{\text{п}}$) рассчитывается на основании данных таблиц 1 и 2. В месяце, в котором провели посев (май), получили всходы, уточняется количество дней, когда осуществляется фотосинтез, и рассчитывается количество солнечной радиации за этот период ($B_{\text{п всх}}$) с использованием данных таблицы 1:

$$B_{\text{п всх}} = 64,7 \text{ кДж/см}^2 \cdot (31 - 28) / 31 \text{ день} = 6,26 \text{ кДж/см}^2.$$

Подобным образом определяется использование солнечной радиации за месяц созревания сои ($B_{\text{п созр}}$):

$$B_{\text{п созр}} = 42,9 \text{ кДж/см}^2 \quad (21/30) = 30,3 \text{ кДж/см}^2.$$

Далее подсчитывается использованная растениями суммарная радиация за вегетационный период ($Q_{\text{фар}}$):

$$Q_{\text{фар}} = 6,26 + 67,2 + 67,8 + 59,7 + 30,3 = 231,3 \text{ кДж/см}^2.$$

Уровень урожайности зерна сортов сои, полученный в 2020 г., приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Урожайность семян сортов сои, 2020 г.

Table 3 – Yield of soybean varieties seed, 2020

Сорт	Урожайность, т/га	Прибавка	
		т/га	%
СК Оптима (контроль)	3,83	—	—
СК Риана	4,51	0,39	10,2
Селекта 201	4,22	0,68	16,1
Селекта 302	4,34	0,51	11,3
СК Веда	4,08	0,25	5,8
НСР ₀₅ , т/га	0,18	—	—

Общая биологическая урожайность растений сои сорта СК Оптима в 2020 г. составила 8,04 т/га, включая массу основной продукции семян 3,83 т/га и побочной продукции 4,35 т/га, т. е. соотношение основной и побочной продукции составило 1:1,14. На одну часть семян приходится 1,14 части побочной продукции. Эти показатели учитываются при определении биологического урожая сои с учетом соотношения основной и побочной продукции ($L = 1 + 1,14 = 2,14$).

Калорийность 1 кг продукции составляет для сои, по данным А. П. Калашникова и др. [18], для семян и побочной продукции 20531 и 19274 кДж/кг соответственно, тогда суммарная калорийность (K) для нашего случая составила: $K = 1 \cdot 20531 + 1,14 \cdot 19274 = 42503,4$ кДж/кг.

Исходя из формулы (3), коэффициент использования ФАР для сорта сои СК Оптима составляет:

$$K_{\text{фар}} = \frac{3,83 \cdot (100 - 14) \cdot 2,14 \cdot 42503,4}{231 \cdot 10^3 \cdot 100} = 1,30 \text{ \%}.$$

Коэффициенты $K_{\text{фар}}$, рассчитанные подобным образом для других сортов, за 2020 г. приводятся в таблице 4, осредненные показатели за 2019–2021 гг. – в таблице 5.

Таблица 4 – Коэффициент использования фотосинтетического потенциала ФАР различными сортами сои в 2020 г.

Table 4 – The coefficient of photosynthetic PAR potential use by various soybean varieties in 2020

Сорт	Продолжительность вегетации, дней	Использовано $Q_{\text{фар}}$	Общая масса АСВ органических веществ растений, т/га			$K_{\text{фар}}$, %	Отклонения $K_{\text{фар}}$ от контроля	
			семян	побочной	всего		$\pm\Delta$, т/га	%
СК Оптима (контроль)	116	231,3	3,83	4,37	8,20	1,30	0	0
СК Риана	117	232,4	4,51	5,14	9,65	1,52	0,22	16,8
Селекта 201	110	222,4	4,22	4,81	9,03	1,48	0,18	14,2
Селекта 302	125	243,9	4,34	4,95	9,29	1,39	0,09	7,1
СК Веда	113	222,4	4,08	4,65	8,73	1,44	0,14	10,4

Таблица 5 – Коэффициент использования фотосинтетического потенциала ФАР различными сортами сои в 2019–2021 гг.

Table 5 – The coefficient of photosynthetic PAR potential use for various soybean varieties in 2019–2021

Сорт	Продолжительность вегетации, дней	Использовано $Q_{\text{фар}}$	Общая масса АСВ органических веществ растений, т/га			$K_{\text{фар}}$, %	Отклонение $K_{\text{фар}}$ от контроля	
			семян	побочной	всего		$\pm\Delta$	%
СК Оптима (контроль)	119	230,6	3,96	4,79	8,75	1,43	0	0
СК Риана	120	233,2	4,66	5,64	10,30	1,67	0,24	17
Селекта 201	113	223,8	4,33	5,24	9,57	1,61	0,18	13
Селекта 302	125	239,1	4,64	5,61	10,25	1,62	0,19	14
СК Веда	116	228,3	4,06	4,91	8,97	1,48	0,05	3,40

Если оценивать посевы по величине коэффициента использования ФАР, сорта сои СК Оптима и СК Веда с использованием ФАР 1,43 и 1,48 % характеризуются как обычные, а сорта сои СК Риана, Селекта 201 и Селекта 302 с использованием ФАР 1,67; 1,61 и 1,62 % – как хорошие. У сортов этой группы получена наибольшая урожайность семян сои (4,33–4,66 т/га)

и общая синтезированная масса 9,57–10,30 т/га. Увеличение общей органической массы обусловило рост использования ФАР по сравнению с показателями сорта СК Оптима на 0,18–0,24, или 13–17 %.

Эту тесную взаимосвязь подтверждает и математический анализ взаимосвязи между общей синтезированной массой растений и $K_{\text{фар}}$ (рисунок 1).

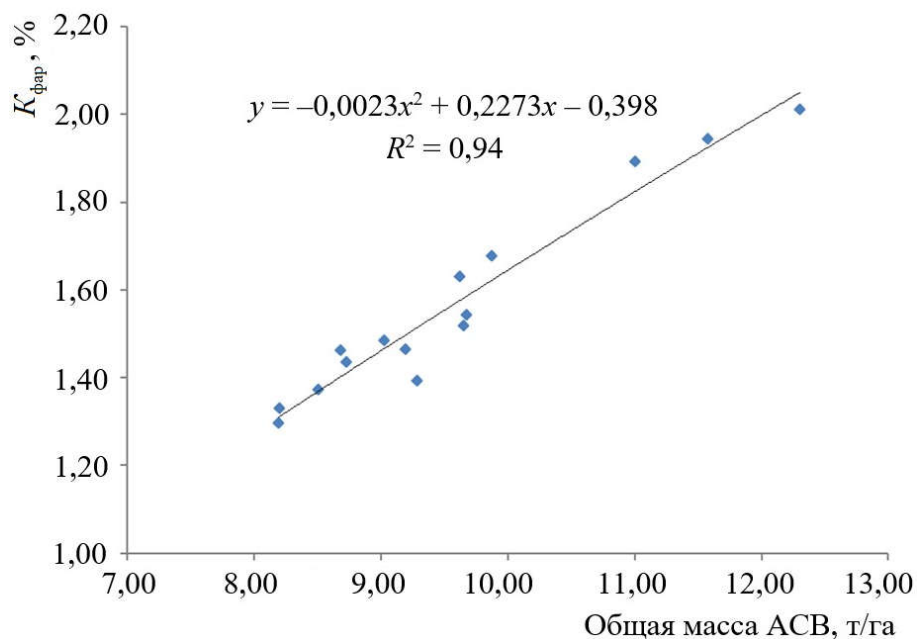


Рисунок 1 – Взаимосвязь между коэффициентом использования ФАР ($K_{\text{фар}}$) и массой синтезированного растениями сои органического вещества

Figure 1 – The relationship between the coefficient of PAR (K_{far}) use and the mass of organic matter synthesized by soybean plant

Взаимосвязь выражается уравнением $y = -0,0023x^2 + 0,2273x - 0,398$ при коэффициенте аппроксимации $R^2 = 0,94$.

Таким же образом можно рассчитывать коэффициент использования суммарной радиации (коэффициент $K_{\text{фар}}$) и производить оценку остальных элементов технологии возделывания сои, например, режима орошения, способа полива или норм удобрений и др.

Выводы. Суммарная солнечная радиация в условиях Ростовской области составляет за год около 5000 МДж/м², или около 500 кДж/см². Основная ее доля, около 60 %, поступает в теплый период года. Исследования

позволили определить общую массу растений сои, в т. ч. основной продукции: урожайность семян у изучаемых сортов сои от 3,96 до 4,66 т/га, и побочной – от 4,79 до 5,64 т/га абсолютно сухой массы с соотношением 1:1,21, калорийность основной и побочной продукции и рассчитать коэффициент использования суммарной радиации (коэффициент $K_{\text{фар}}$). Расчеты показали, что коэффициенты использования $K_{\text{фар}}$ сои зависят от поступившей суммарной солнечной радиации и массы синтезированного растением сои вещества, они достигают 1,43 и 1,48 % у сортов СК Оптима и СК Веда соответственно и 1,61; 1,62 и 1,67 % у сортов Селекта 201, Селекта 302 и СК Риана соответственно.

Список источников

1. Головина Е. В., Зотиков В. И. Продукционный процесс и адаптивные реакции к абиотическим факторам сортов сои северного экотипа в условиях Центрально-Черноземного региона РФ. Орел: Картуш, 2019. 318 с.
2. Синеговская В. Т., Душко О. С. Исследование фотосинтетических процессов сортов сои амурской селекции // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 3. С. 54–56.
3. Влияние гербицидов Дуал Голд, Зенкор и Фабиан на фотосинтетическую деятельность посевов сои в условиях Центрального Нечерноземья / В. К. Храмой, Т. Д. Сихарулидзе, О. В. Рахимова, Е. В. Гуреева // Земледелие. 2020. № 2. С. 36–38. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10209.
4. Головина Е. В. Фотосинтетическая деятельность сортов сои северного экотипа, возделываемых в условиях ЦЧР // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 3(39). С. 41–49. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-41-49.
5. Влияние сроков посева на фотосинтетическую деятельность сои в условиях лесостепной зоны Чеченской Республики / У. А. Делаев, У. Г. Зузиев, И. Я. Шишхаев, М. М. Шагаипов, С. С. Абдулаев // Оригинальные исследования. 2019. Т. 9, № 7. С. 4–11.
6. Фотосинтетический потенциал и продуктивность зерновых бобовых культур в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья / А. Л. Тойгильдин, М. И. Подсевалов, Р. А. Мустафина, И. А. Тойгильдина, Д. Э. Аюпов // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 1(127). DOI: 10.23670/IRJ.2023.127.11.
7. Бурцев А. С. Продуктивность сортов сои в посевах с различной густотой // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022. № 3(70). С. 39–41.
8. Шаповалова А. А. Экология растений: учеб.-метод. пособие. Саратов: Саратов. источник, 2015. 80 с.
9. Ничипорович А. А. Фотосинтез и урожай. М.: Знание, 1966. 48 с.
10. Фотосинтез посевов сои в зависимости от приемов выращивания / Ф. Б. Омаров, А. А. Айтемиров, М. А. Магомедова, З. Ш. Тажудинова, У. М. Магомедов // Московский экономический журнал. 2019. № 4. С. 322–336. DOI: 10.24411/2413-046X-2019-14035.

11. Фотосинтетическая активность посевов сои в зависимости от сорта в условиях Центрального Предкавказья / О. Г. Шабалдас, А. Н. Есаулко, О. И. Власова, И. А. Вольтерс // Земледелие. 2022. № 8. С. 31–34. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-8-31-34.
12. Эффективность возделывания сои в зависимости от способа посева и нормы высева / Р. А. Булавинцев, С. И. Головин, В. А. Стебаков, А. М. Полохин, А. В. Волженцев, А. В. Козлов, И. Е. Пупавцев, Т. С. Кравченко // Вестник аграрной науки. 2023. № 1(100). С. 56–62. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2023.1.56.
13. Синеговская В. Т., Наумченко Е. Т., Кобозева Т. П. Методы исследований в полевых опытах с соей: учеб.-метод. пособие / ФГБНУ ВНИИ сои. Благовещенск: ОДЕОН, 2016. 115 с.
14. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
15. Ничипорович А. А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений // Физиология фотосинтеза. М., 1982. С. 7–34.
16. Plant responses to extended photosynthetically active radiation (EPAR) / A. Pazuki, F. Aflaki, M. Pessarakli, E. Gurel, S. Gurel // Advances in Plants & Agriculture Research. 2017. 7(3). P. 313–318. DOI: 10.15406/apar.2017.07.00260.
17. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области / Ю. П. Хрусталеv, В. Н. Василенко, И. В. Свисюк, В. Д. Панов, Ю. А. Ларионов. Ростов н/Д.: Бат. кн. изд-во, 2002. 184 с.
18. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / А. П. Калашников [и др.]. М.: Агропромиздат, 1986. 352 с.

References

1. Golovina E.V., Zotikov V.I., 2019. *Produksionnyy protsess i adaptivnye reaktsii k abioticheskim faktoram sortov soi severnogo ekotipa v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnoy regiona RF* [Production Process and Adaptive Responses to Abiotic Factors of Soybean Varieties of the Northern Ecotype in the Conditions of the Central Black Earth Region of the Russian Federation]. Orel, Kartush Publ., 318 p. (In Russian).
2. Sinegovskaya V.T., Dushko O.S., 2017. *Issledovanie fotosinteticheskikh protsessov sortov soi amurskoy seleksii* [The photosynthetic processes investigation of Amur selection soybean varieties]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of the Russian Agricultural Science], no. 3, pp. 54-56. (In Russian).
3. Khramov V.K., Sikharulidze T.D., Rakhimova O.V., Gureeva E.V., 2020. *Vliyanie gerbitsidov Dual Gold, Zenkor i Fabian na fotosinteticheskuyu deyatel'nost' posevov soi v usloviyakh Tsentral'nogo Nechernozem'ya* [Influence of Dual Gold, Zencor and Fabian herbicides on the photosynthetic activity of soybean crops under the conditions of the Central Non-Black Earth Zone]. *Zemledelie* [Farming], no. 2, pp. 36-38, DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10209. (In Russian).
4. Golovina E.V., 2021. *Fotosinteticheskaya deyatel'nost' sortov soi severnogo ekotipa, vozdel'yvaemykh v usloviyakh TSCHR* [Photosynthetic activity of soybean varieties of the northern ecotype cultivated under the conditions of the Central Non-Black Earth Zone]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* [Legumes and Groat Crops], no. 3(39), pp. 41-49, DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-41-49. (In Russian).
5. Delaev U.A., Zuziev U.G., Shishkhaev I.Ya., Shagaipov M.M., Abdulaev S.S., 2019. *Vliyanie srokov poseva na fotosinteticheskuyu deyatel'nost' soi v usloviyakh lesostepnoy zony Chechenskoy Respubliki* [Influence of crop terms on photosynthetic activity of soybeans under the conditions of the wood-steppe zone of the Chechen Republic]. *Original'nye issledovaniya* [Original Research], vol. 9, no. 7, pp. 4-11. (In Russian).
6. Toygildin A.L., Podsevalov M.I., Mustafina R.A., Toygildina I.A., Ayupov D.E.,

2023. *Fotosinteticheskiy potentsial i produktivnost' zernovykh bobovykh kul'tur v usloviyakh lesostepnoy zony Srednego Povolzh'ya* [The photosynthetic potential and productivity of grain legume crops in the forest-steppe zone of the Middle Volga region]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Journal], no. 1(127), DOI: 10.23670/IRJ.2023.127.11. (In Russian).

7. Burtsev A.S., 2022. *Produktivnost' sortov soi v posevakh s razlichnoy gustotoy* [Productivity of soybean varieties in crops with different density]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Michurinsk State Agrarian University], no. 3(70), pp. 39-41. (In Russian).

8. Shapovalova A.A., 2015. *Ekologiya rasteniy: uchebno-metodicheskoe posobie* [Plant Ecology: textbook]. Saratov, Saratov Istochnik Publ., 80 p. (In Russian).

9. Nichiporovich A.A., 1966. *Fotosintez i urozhay* [Photosynthesis and Yield]. Moscow, Znanie Publ., 48 p. (In Russian).

10. Omarov F.B., Aitemirov A.A., Magomedova M.A., Tazhudinova Z.Sh., Magomedov U.M., 2019. *Fotosintez posevov soi v zavisimosti ot priemov vyrashchivaniya* [Photosynthesis of soybean crops depending on cultivation methods]. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal* [Moscow Economic Journal], no. 4, pp. 322-336, DOI: 10.24411/2413-046X-2019-14035. (In Russian).

11. Shabalda O.G., Esaulko A.N., Vlasova O.I., Volters I.A., 2022. *Fotosinteticheskaya aktivnost' posevov soi v zavisimosti ot sorta v usloviyakh Tsentral'nogo Predkavkaz'ya* [Photosynthetic activity of soybean crops depending on the variety under the conditions of the Central Forecaucasus]. *Zemledelie* [Farming], no. 8, pp. 31-34, DOI: 10.24412/0044-3913-2022-8-31-34. (In Russian).

12. Bulavintsev R.A., Golovin S.I., Stebakov V.A., Polokhin A.M., Volzhentsev A.V., Kozlov A.V., Pupavtsev I.E., Kravchenko T.S., 2023. *Effektivnost' vozdel'yvaniya soi v zavisimosti ot sposoba poseva i normy vyseva* [Soybean cultivation efficiency depending on the sowing method and seeding rate]. *Vestnik agrarnoy nauki* [Bulletin of Agrarian Science], no. 1(100), pp. 56-62, DOI: 10.17238/issn2587-666X.2023.1.56. (In Russian).

13. Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T., Kobozeva T.P., 2016. *Metody issledovaniy v polevykh opytakh s soey: uchebno-metodicheskoe posobie* [Methods of Research in Field Experiments with Soybeans: textbook]. Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveshchensk, ODEON Publ., 115 p. (In Russian).

14. Dospekhov B.A., 1985. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of Field Experience with the Basics of Statistical Processing of Research Results]. Moscow, Agropromizdat Publ., 351 p. (In Russian).

15. Nichiporovich A.A., 1982. *Fiziologiya fotosinteza i produktivnost' rasteniy* [Physiology of photosynthesis and plant productivity]. *Fiziologiya fotosinteza* [Physiology of Photosynthesis]. Moscow, pp. 7-34. (In Russian).

16. Pazuki A., Aflaki F., Pessarakli M., Gurel E., Gurel S., 2017. Plant responses to extended photosynthetically active radiation (EPAR). *Advances in Plants & Agriculture Research*, 7(3), pp. 313-318, DOI: 10.15406/apar.2017.07.00260.

17. Khrustalev Yu.P., Vasilenko V.N., Svisyuk I.V., Panov V.D., Larionov Yu.A., 2002. *Klimat i agroklimaticheskie resursy Rostovskoy oblasti* [Climate and Agro-Climatic Resources of Rostov Region]. Rostov-on-Don, Bataisk Publ., 184 p. (In Russian).

18. Kalashnikov A.P. [et al.], 1986. *Normy i ratsiony kormleniya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh: sprav. posobie* [Norms and Diets for Feeding Farm Animals: reference book]. Moscow, Agropromizdat Publ., 352 p. (In Russian).

Информация об авторах

Р. С. Масный – ведущий научный сотрудник, кандидат военных наук;

Г. Т. Балакай – главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

А. Н. Бабичев – ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук;

С. А. Селицкий – старший научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук.

Information about the authors

R. S. Masnyi – Leading Researcher, Candidate of Military Sciences;

G. T. Balakay – Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor;

A. N. Babichev – Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences;

S. A. Selitskiy – Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.06.2023; одобрена после рецензирования 15.08.2023; принята к публикации 16.08.2023.

The article was submitted 19.06.2023; approved after reviewing 15.08.2023; accepted for publication 16.08.2023.