
ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

GEOPONICS AND CROPPING

Научная статья

УДК 633.34:581.134.1

EDN: CGYHNN

<https://doi.org/10.24412/2949-2211-2026-4-3-5-11>

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ СОРТАМИ КУЛЬТУРНОЙ И ФОРМАМИ ДИКОЙ СОИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА

Оборская Юлия ВасильевнаВсероссийский научно-исследовательский институт сои, г. Благовещенск, Россия, ouv@vniisoi.ru

Аннотация. С использованием метода флуоресценции хлорофилла оценены эффективность фотосистемы II (ФС II) и продуктивность сортов культурной и форм дикой сои. В полевом опыте 2025 г. сорт Ласточка характеризовался наибольшим максимальным квантовым выходом ФС II в фазе полного цветения ($F_v/F_m = 0,764$), а также наибольшими массой 1000 семян и продуктивностью одного растения. У сорта Татьяна выявлены высокие значения q_L и q_P , которые могут отражать особенности регуляции фотохимического тушения; у сорта Лучистая отмечено снижение эффективности ФС II на поздних этапах развития. Среди форм дикой сои наиболее стабильные показатели функционирования ФС II установлены у КМ-319; КТ-156 отличалась высокой функциональной пластичностью, а КБел-3 сочетала восстановление после начального стресса со стабильной работой ФС II в фазе налива семян. Полученные результаты показывают возможность использования параметров флуоресценции хлорофилла в качестве дополнительных критериев при отборе стрессоустойчивых генотипов сои.

Ключевые слова: соя, *Glycine max*, *Glycine soja*, солнечная энергия, фотосистема II, флуоресценция хлорофилла, РАМ-флуориметрия, F_v/F_m , абиотический стресс, продуктивность.

Для цитирования: Оборская Ю. В. Эффективность использования солнечной энергии сортами культурной и формами дикой сои по результатам анализа флуоресценции хлорофилла // Агронаука. 2026. Том 4. № 3. С. 5–11. EDN: CGYHNN. <https://doi.org/10.24412/2949-2211-2026-4-3-5-11>

Original article

EFFICIENCY OF SOLAR ENERGY USE BY CULTIVATED AND WILD SOYBEAN GENOTYPES BASED ON CHLOROPHYLL FLUORESCENCE ANALYSIS

Yulia V. OborskayaFederal State Budget Scientific Institution Federal Research Center «All-Russian Scientific Research Institute of Soybean», Blagoveshchensk, Russia, ouv@vniisoi.ru

Abstract. Chlorophyll fluorescence was used to assess photosystem II (PSII) performance and productivity in cultivated soybean cultivars and wild soybean accessions. In the 2025 field trial, Lastochka exhibited the highest maximum quantum yield of PSII at full flowering ($F_v/F_m = 0.764$), as well as the greatest 1,000-seed weight and plant productivity. Tatyana was characterized by high q_L and q_P values, which may reflect a distinct regulation of photochemical quenching, whereas Luchistaya showed a decline in PSII efficiency at later developmental stages. Among the wild accessions, KM-319 displayed the most stable PSII performance; KT-156 showed high functional plasticity; and KBel-3 combined recovery from initial stress with stable PSII performance during seed filling. The results indicate that chlorophyll fluorescence parameters can

© Оборская Ю. В. 2026

be used as supplementary criteria for screening stress-tolerant soybean genotypes in breeding programs.

Keywords: soybean, *Glycine max*, *Glycine soja*, wild soybean, photosystem II, chlorophyll fluorescence, PAM fluorometry, Fv/Fm, abiotic stress, productivity.

For citation: Oborskaya YuV. Efficiency of solar energy use by cultivated and wild soybean genotypes based on chlorophyll fluorescence analysis [Effektivnost' ispol'zovaniya solnechnoi energii sortami kul'turnoi i formami dikoi soi po rezul'tatam analiza fluorestsentsii khlorofilla]. *Agronauka = Agrosience*. 2026;4:3:5–11 (in Russ.). EDN: CGYHNH. <https://doi.org/10.24412/2949-2211-2026-4-3-5-11>

Введение

Эффективность использования солнечной энергии в процессе фотосинтеза – один из ключевых факторов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Урожайность сорта и биохимический состав продукции зависят как от условий выращивания, так и от количества поглощённых фотонов и поступления продуктов фотосинтеза в формирующиеся семена [1, 2, 3].

К стрессовым факторам относятся засуха и высокая температура, вызывающие существенные изменения физиолого-биохимических процессов в растительном организме. Поскольку в фотосинтезе участвуют пигментный аппарат, фотосистемы, электрон-транспортная цепь и механизмы фиксации CO₂, повреждение любого из этих компонентов может снизить фотосинтетическую активность растения и его продуктивность [4].

Фотосистема II (ФС II) играет центральную роль в формировании и регуляции электронного транспорта в хлоропластах. Поэтому показатели эффективности ФС II широко используют для мониторинга функционального состояния фотосинтетического аппарата. Одним из наиболее чувствительных методов оценки изменений биоэнергетического состояния растений является анализ флуоресценции хлорофилла [1, 5].

В физиологии растений применяют неинвазивное измерение флуоресценции хлорофилла для оценки активности ФС II. Одним из инструментальных подходов является импульсно-модулированная флуориметрия (*Pulse Amplitude Modulation*, PAM). Получаемые показатели могут использоваться в селекции для оценки функционального состояния фотосинтетического аппарата и отбора

устойчивых генотипов [1, 5].

Параметр Fv/Fm характеризует максимальный квантовый выход ФС II и служит индикатором фотохимической активности фотосинтетического аппарата. У большинства высших растений в нестрессовых условиях его оптимальное значение составляет около 0,83 [5]. Снижение Fv/Fm может свидетельствовать о стрессовом воздействии и нарушении функций фотосинтетического аппарата, в том числе при избытке света.

Цель исследования – выявить генотипы сои с повышенной фотосинтетической активностью на основе оценки функционирования фотосистемы II в листьях сортов культурной и форм дикой сои.

Условия, материалы и методы

Исследования проводили в полевых условиях на луговой чернозёмовидной почве конкурсного питомника лаборатории селекции (с. Садовое Тамбовского района Амурской области). Объектами исследования служили сорта культурной сои Лучистая (стандарт), Ласточка и Татьяна, а также формы дикой сои КТ-156 (стандарт), КМ-319 и КБел-3.

Сою высевали ручными сажалками 28 мая на глубину 5 см при прогревании почвы до 10 градусов Цельсия. Площадь делянки составляла 6,75 м², ширина междурядий – 45 сантиметров. Каждая делянка включала пять рядков длиной 3 м; в каждом рядке высевали по 31 семени. Повторность опыта четырёхкратная, размещение делянок систематическое. Прополку и уборку проводили вручную.

С помощью анализатора эффективности фотосинтеза MINI-PAM-II определяли мак-

симальный квантовый выход ФС II (Fv/Fm), эффективный квантовый выход ФС II [Y(II)], коэффициенты фотохимического (qL, qP) и нефотохимического (qN, NPQ) тушения. Измерения выполняли в фазы третьего тройчатого листа (V3), полного цветения (R2), начала образования бобов (R3) и налива семян (R6). Показатели регистрировали на листьях верхнего, среднего и нижнего ярусов каждого растения, после чего рассчитывали среднее значение. Повторность измерений пятикратная.

Закладку опыта, наблюдения и учёты проводили в соответствии с методикой полевого опыта [6], шкалой фаз развития сои

W. R. Fehr [et al.] [7] и методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [8]. Аналитические расчёты выполняли в программе Microsoft Excel 2000. Результаты обрабатывали по Б. А. Доспехову. Статистическую значимость различий между средними значениями оценивали с помощью t-критерия Стьюдента при уровне значимости 5 % ($p < 0,05$) [6].

Результаты и обсуждение

Полученные в 2025 г. данные показали выраженную динамику показателей флуоресценции хлорофилла в онтогенезе растений сои (рисунок 1).

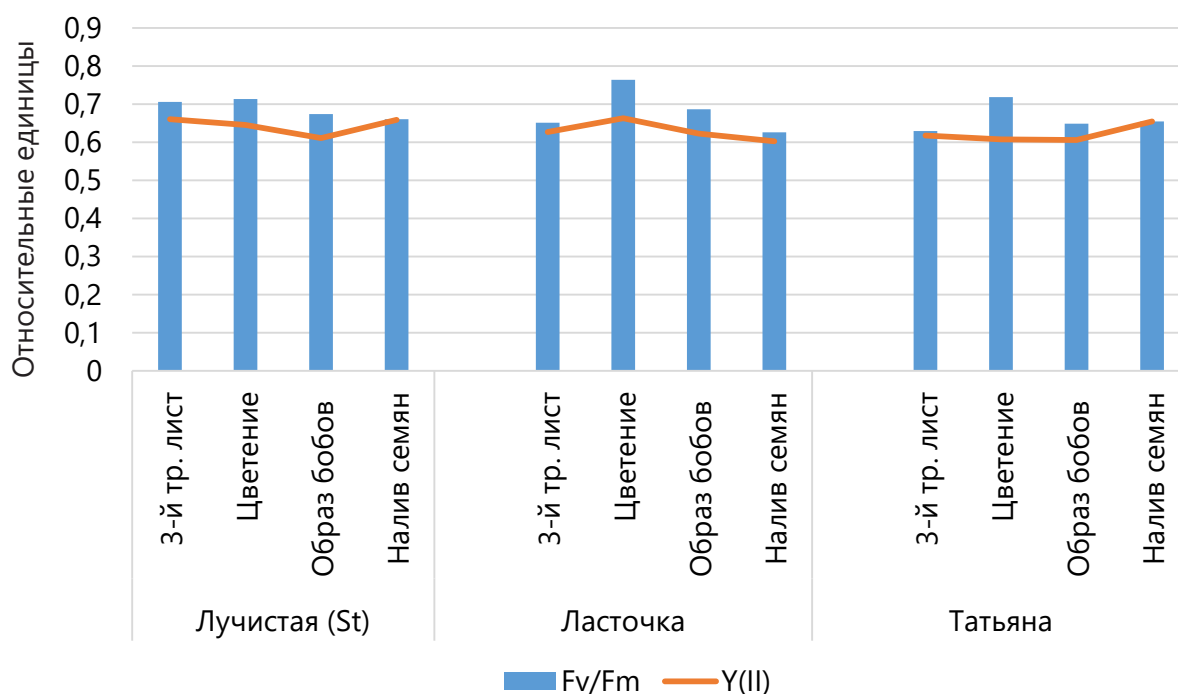


Рисунок 1 – Динамика показателей флуоресценции хлорофилла в листьях сортов сои по фазам развития, относительные единицы, 2025 г.

Figure 1 – Dynamics of chlorophyll fluorescence parameters in soybean cultivar leaves by developmental stage, relative units, 2025

У стандартного сорта Лучистая в фазе третьего тройчатого листа значение Fv/Fm составило 0,706, а доля открытых реакционных центров qP – 0,967. В фазе полного цветения Fv/Fm незначительно увеличилось до 0,714, тогда как Y(II) составил 0,646, или 90,5 % от значения Fv/Fm. В период от начала образования бобов до налива семян Fv/Fm

снизился с 0,674 до 0,661 при резком увеличении коэффициента нефотохимического тушения qN до 1,351. Это может указывать на активацию защитного рассеивания избыточной энергии в виде тепла.

У сорта Ласточка в фазе третьего тройчатого листа значение Fv/Fm было ниже оптимального (0,652), однако доля открытых

реакционных центров оставалась высокой ($qP = 0,957$). В фазе полного цветения Fv/Fm достиг максимального среди изученных сортов значения – 0,764. В фазе начала образования бобов показатель снизился до 0,687, а в фазе налива семян – до 0,626. При этом высокое значение qP (0,964) сохранялось и в фазе налива семян, что свидетельствует о значительной доле открытых реакционных центров.

У сорта Татьяна в фазе третьего тройчатого листа также отмечены сравнительно низкое значение Fv/Fm (0,630) и высокие значения коэффициентов фотохимического тушения qL и qP . В фазе полного цветения Fv/Fm увеличилось до 0,719, тогда как $Y(II)$ составил 0,608. Повышенные значения qL и qP в фазе начала образования бобов могут отражать особый механизм поддержания открытого состояния реакционных центров при стрессовом воздействии. В целом полученные данные указывают на специфическую регуляцию фотохимического тушения у данного сорта.

Масса 1000 семян варьировала от 149,9 г у стандартного сорта Лучистая до 216,6 г у сорта Ласточка. Продуктивность одного растения изменялась от 9,5 г у сорта Татьяна до 12,3 г у сорта Ласточка (рисунок 2). Наибольшая масса 1000 семян отмечена у сортов Ласточка и Татьяна.

Таким образом, в условиях 2025 г. сорт Ласточка сочетал наибольшую массу 1000 семян с максимальной продуктивностью одного растения. Сорт Татьяна формировал крупные семена, но характеризовался наименьшей продуктивностью одного растения. Например, при возделывании сои фермерские хозяйства нередко используют единые схемы внесения удобрений без учета различий в содержании питательных веществ на отдельных участках. Это приводит к несоответствию между нормами внесения удобрений и потребностями растений, способствует нерациональному использованию ресурсов и отрицательно влияет на рост и урожайность сельскохозяйственных культур.

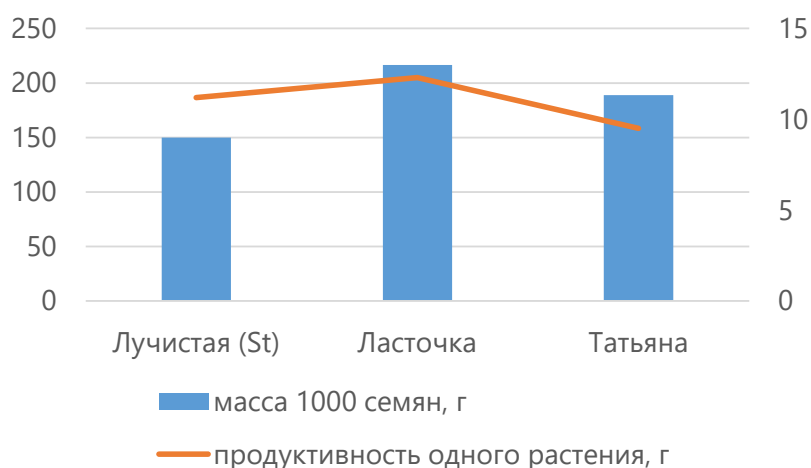


Рисунок 2 – Масса 1000 семян и продуктивность одного растения изучаемых сортов сои, г, 2025 г.
Figure 2 – 1000-seed weight and productivity per plant of the soybean varieties studied, g, 2025

Среди форм дикой сои наиболее стабильные показатели функционирования ФС II выявлены у КМ-319: значения Fv/Fm по представленным фазам изменялись в узком

диапазоне (0,693 → 0,708 → 0,663), $Y(II)$ снижался без резких перепадов, а доля открытых реакционных центров оставалась высокой ($qP \geq 0,937$) (рисунок 3).

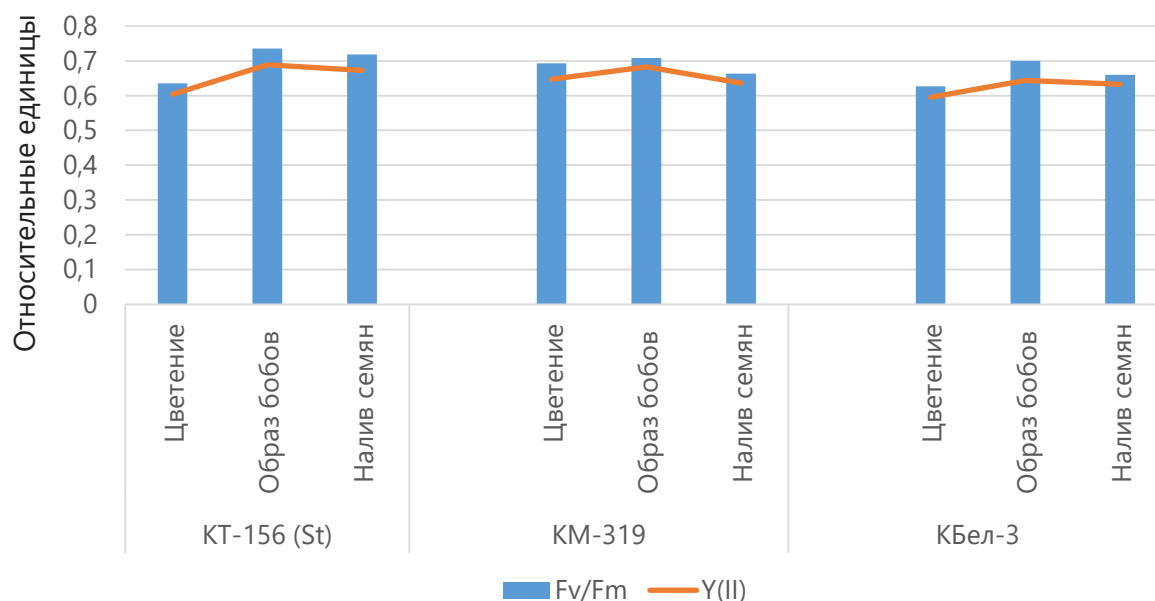


Рисунок 3 – Динамика показателей флуоресценции хлорофилла в листьях форм дикой сои по фазам развития, относительные единицы, 2025 г.

Figure 3 – Dynamics of chlorophyll fluorescence parameters in the leaves of wild soybean forms by developmental stage, relative units, 2025

Форма дикой сои КТ-156 (стандарт) характеризовалась высокой пластичностью функционирования ФС II. От фазы полного цветения к началу образования бобов Fv/Fm увеличилось с 0,635 до 0,735, а в фазе налива семян Y(II) сохранялся на уровне выше 0,67. Такая динамика указывает на способность фотосинтетического аппарата восстанавливаться в ходе онтогенеза.

У формы дикой сои КБел-3 отмечена умеренная устойчивость: значение Fv/Fm

увеличилось с 0,627 до 0,700, а в фазе налива семян показатели Fv/Fm и Y(II) составили 0,660 и 0,633 соответственно. Это свидетельствует о восстановлении после начального стресса и сохранении функциональной активности ФС II.

Формы дикой сои КТ-156 (стандарт) и КМ-319 сочетали небольшую массу 1000 семян – 34,0 и 33,5 г – с относительно высокой продуктивностью одного растения – 72,7 и 75,5 г соответственно (рисунок 4).

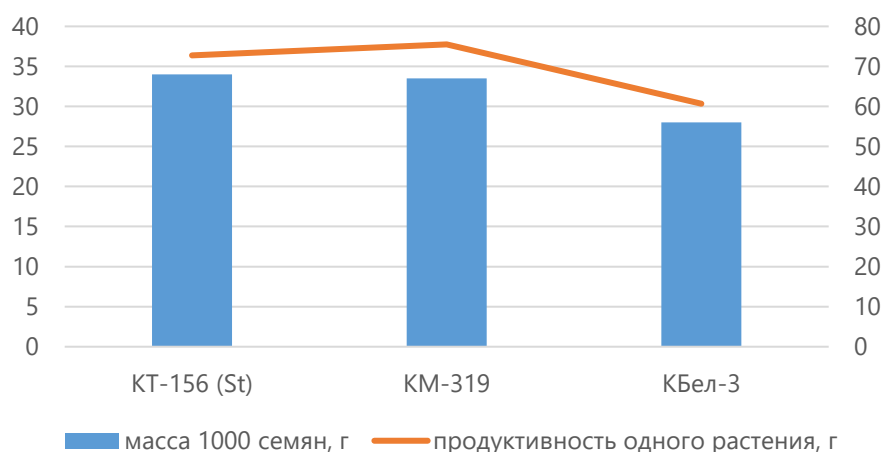


Рисунок 4 – Масса 1000 семян и продуктивность одного растения изучаемых форм дикой сои, г, 2025 г.

Figure 4 – 1000-seed weight and productivity per plant of the studied wild soybean forms, g, 2025

Выводы

В условиях вегетационного периода 2025 г. сорт Ласточка характеризовался наибольшим значением Fv/Fm в фазе полного цветения, а также максимальными массой 1000 семян и продуктивностью одного растения. У сорта Татьяна высокие значения qL и qP могут отражать особенности регуляции фотохимического тушения. У сорта Лучистая эффективность ФС II снижалась на поздних этапах развития.

Среди форм дикой сои наиболее та-

бильные показатели функционирования ФС II выявлены у КМ-319. Форма КТ-156 отличалась высокой пластичностью ФС II, а КБел-3 – восстановлением после начального стресса и сохранением функциональной активности ФС II в фазе налива семян.

Полученные результаты показывают, что параметры флуоресценции хлорофилла могут использоваться как дополнительные критерии при оценке стрессоустойчивости и отборе генотипов сои для селекционных программ.

Список источников

1. Kalaji HM, Jajoo A, Oukarroum A [et al.]. The use of chlorophyll fluorescence kinetics analysis to study the performance of photosynthetic machinery in plants. *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance* / ed. by P. Ahmad, S. Rasool. Amsterdam: Academic Press, 2014. Vol. 2. P. 347–385. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800875-1.00015-6>
2. Ничипорович А. А. Энергетическая эффективность фотосинтеза и продуктивность растений. Пушчино: НЦБИ АН СССР, 1979. 37 с.
3. Ort DR, Merchant SS, Alric J [et al.]. Redesigning photosynthesis to sustainably meet global food and bioenergy demand. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015. Vol. 112, No. 28. P. 8529–8536. <https://doi.org/10.1073/pnas.1424031112>
4. Tanveer M, Shahzad B, Sharma A, Khan EA. 24-Epibrassinolide application in plants: an implication for improving drought stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019. Vol. 135. P. 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.013>
5. Kalaji HM, Schansker G, Ladle RJ [et al.]. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues. *Photosynthesis Research*. 2014. Vol. 122, No. 2. P. 121–158. <https://doi.org/10.1007/s11120-014-0024-6>
6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник. 6-е изд., стер.; перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М.: Альянс, 2011. ISBN 978-5-903034-96-3.
7. Fehr WR, Caviness CE, Burmood DT, Pennington JS. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science*. 1971. Vol. 11, No. 6. P. 929–931. <https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x>
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / под ред. В. И. Головачёва, Е. В. Кириловской. М.: Калининская областная типография, 1989. Вып. 2. 195 с.

References

1. Kalaji HM, Jajoo A, Oukarroum A [et al.]. The use of chlorophyll fluorescence kinetics analysis to study the performance of photosynthetic machinery in plants. *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*. In P. Ahmad, S. Rasool (Eds.). Amsterdam: Academic Press. 2014;2:347–385. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800875-1.00015-6>
2. Nichiporovich, AA. Energeticheskaya effektivnost fotosinteza i produktivnost rastenii [Energy efficiency of photosynthesis and plant productivity]. Pushchino: NTsBI AN SSSR. 1979;37. (In Russ.).
3. Ort DR, Merchant SS, Alric J [et al.]. Redesigning photosynthesis to sustainably meet global food and bioenergy demand. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015;112(28):8529–8536. <https://doi.org/10.1073/pnas.1424031112>
4. Tanveer M, Shahzad B, Sharma A, Khan EA. 24-Epibrassinolide application in plants: An implication

for improving drought stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019;135:295–303. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.013>

5. Kalaji HM, Schansker G, Ladle RJ [et al.]. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: Practical issues. *Photosynthesis Research*. 2014;122(2):121–158. <https://doi.org/10.1007/s11120-014-0024-6>

6. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovaniy) [Field experiment methodology (with fundamentals of statistical processing of research results)] (6th ed.). Moscow: Alyans. 2011. (In Russ.).

7. Fehr WR, Caviness CE, Burmood DT, Pennington JS. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science*. 1971;11(6):929–931. <https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x>

8. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaistvennykh kultur: zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kultury [Methodology for state variety testing of agricultural crops: cereals, groats, grain legumes, maize and forage crops] / Golovachev VI, Kirilovskaya EV. (Eds.). Moscow: Kalininskaya oblastnaya tipografiya. 1989;2:195. (In Russ.).

Информация об авторах

Ю. В. Оборская – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник.

Information about the authors

Yu. V. Oborskaya – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher.

**Статья поступила в редакцию 07.08.2026;
одобрена после рецензирования 20.08.2026;
принята к публикации 27.09.2026**

**The article was submitted 07.08.2026;
approved after reviewing 20.08.2026;
accepted for publication 27.09.2026**