

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.81.036

Поступила: 18.05.2025

Принята к публикации: 30.06.2025

Опубликована: 17.07.2025



Биофизические подходы оценки стрессоустойчивости и экологической пластичности ярового ячменя в современных условиях

М. Е. Ламмас¹ , А. В. Шитикова² 

¹ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова»

² ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева»

¹ e-mail: lammas.me@mail.ru

² e-mail: plant@rgau-msha.ru

Аннотация. Ячмень - одна из зерновых культур, играющая важную продовольственную роль во многих странах. В настоящее время и в будущем из-за климатических проблем ее возделывание может оказаться под угрозой. Чтобы ответить на эти вызовы, биологи и агрономы ищут способы повысить устойчивость растений к экстремальным условиям и исследуют их адаптивные возможности. Авторами статьи в 2022–2023 гг. были проведены опыты по изучению действия различных биостимуляторов роста растений (Эпин-Экстра, Циркон, Гиберелон, Альбит, Рестарт) на фотосинтетическую активность посевов ярового ячменя при разных показателях гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова (ГТК). Также была дана оценка влияния биостимуляторов на основные фотосинтетические параметры. Максимально высокие показатели по всем параметрам фотосинтетической деятельности посевов (ФДП) отмечены для препаратов Эпин-Экстра и Альбит. При использовании этих биостимуляторов площадь листьев была выше контроля на 26,3%; фотосинтетический потенциал (ФП) - на 4,4–14,3%; чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) - на 6,8–10,2%. Остальные препараты также показали положительную динамику улучшения показателей ФДП. Показатели содержания хлорофилла в листьях ячменя достигали максимальных значений в фазе появления у растения третьего настоящего листа (фаза ВВСН 13) на вариантах, обработанных биостимуляторами роста.

Ключевые слова: яровой ячмень, фотосинтез, хлорофилл, урожайность, стрессоустойчивость

DOI: <https://doi.org/10.55186/2658-3569-2025-2-03-14>



Submitted: 18.05.2025

Accepted: 30.06.2025

Published: 17.07.2025

Biophysical approaches to assessing stress resistance and ecological plasticity of spring barley in modern conditions

Maria E. Lammas ¹ , Alexandra V. Shitikova ²

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

¹ e-mail: lammas.me@mail.ru

² e-mail: plant@rgau-msha.ru

Abstract. Barley is one of the cereal crops that plays an important role in food in many countries. Currently, its cultivation may be threatened by climate problems. Biologists and agronomists are trying to find ways to increase the resistance of plants to extreme conditions and study their adaptability. The authors conducted experiments between 2022 and 2023 to study the effects of various biostimulant plant growth factors (Epin-Extra, Zircon, Gibberellin, Albit, Restart, and Zh) on photosynthetic activity in spring barley at different hydrothermal humidity coefficients. They also assessed the effect of these biostims on main photosynthetic parameters. Epin-extra and Albit preparations showed the highest rates of photosynthetic activity for all parameters. In these variants, the leaf area was higher than the control by 26.3%, the photosynthetic potential (PP) - by 4.4-14.3%, the net productivity of photosynthesis (NPP) - by 6.8-10.2%. The other preparations also gave positive dynamics in improving the PPP indicators. The chlorophyll content in barley leaves was most significant in the BBCH 13 phase in the variants with treatment with growth biostimulants.

Key words: *spring barley, photosynthesis, chlorophyll, yield, stress resistance*

DOI: <https://doi.org/10.55186/2658-3569-2025-2-03-14>

Введение. В настоящее время особую актуальность приобретают исследования фотосинтетической активности растений как один из методов изучения стресса растений и его регулирования. Именно фотосинтез является фундаментом первичной биологической продуктивности в естественных экосистемах и определяющим фактором формирования урожайности в агроценозах. (Андрианова Ю. Е., 2000: 15, 27, 56, 79, 120–133; Мокроносов А. Т., 2006: 5-16, 39-43, 78-90; Ничипорович А.А., Строганова Л.Е., 2006: 2-5; Сальникова И.А., 2021: 137-144). Стресс, вызванный изменяющимися климатическими условиями, различными биогенными факторами, резкими скачками температурных и водных режимов воздуха и почвы, влияет на скорость фотосинтеза и на содержание хлорофилла в зерне.

(Андрioнова Ю. Е., 2000: 15, 27, 56, 79, 120–133; Мокроносов А.Т., 2006: 40-58; Семинченко Е.В., 2020: 63-66; Genty B., Briantaies J.-M., Baker N.R., 1989: 87-92; Noskova E., 2020: 6-9). Повреждение фотосинтетического аппарата клетки в результате стрессовых факторов, вызывает в конечном итоге гибель клетки и снижение урожайности культуры. В современных исследованиях широко применяются флуорометрия с применением амплитудно-импульсной модуляции (PAM). (Genty B., Briantaies J.-M., Baker N.R., 1989: 87-92;

Noskova E., 2020: 6-9; Erhard Pfündel, 2007: 58).

Фотосинтез и дыхание растений являются двумя фундаментальными и важнейшими физиологическими процессами, в то время как решающая роль антиоксидантной системы в реакции на абиотические факторы по-прежнему является предметом изучения при исследовании физиологического стресса. (Андрианова Ю. Е., 2000: 15, 27, 56, 79, 120–133; Мокроносов А.Т., 2006: 40-58; Семинченко Е.В., 2020: 63-66). Фотосинтез и дыхание — два фундаментальных физиологических процесса в растениях: первый включает первичную фиксацию углерода, передачу световой энергии и выделение кислорода, а второй связан с выделением углерода, производством энергии и соответствующим метаболизмом субстратов, таких как те, что обеспечивают углеродный скелет. Они играют ключевую роль в поддержании углеродного баланса. Эти процессы важны для поддержания углеродного поглощения в наземных экосистемах. А также они участвуют в реакции на изменение климата и обратной связи с ним. Изменения климата могут повлиять на ключевые биологические метаболические процессы и их обратную связь. Например, стрессовые факторы окружающей среды могут спровоцировать образование активных форм кислорода (АФК) в хлоропластах (где происходит

фотосинтез), в то время как высокий уровень CO₂ в будущем может ослабить эти стрессовые факторы. (Андрианова Ю.Е., 2000: 15, 27,56,79,120-133; Мокроносов А.Т., 2006: 5-16, 39-43, 78-90; Ничипорович А.А., Строганова Л.Е., 2006: 25-29; Сальникова И.А., 2021: 106-110; Lisitsyn E., 2020: 3-5; Allorement G., Osorio S., Vu J. L., Falconet D., Jouhet J., Kuntz M., Fernie A. R., Lerbs-Mache S., Macherel D., Courtois F., Finazzi G., 2015: 707-719).

Материалы и методы. Целью исследования является оценка влияния биостимуляторов на фотосинтетическую активность и стрессоустойчивость ярового ячменя с использованием биофизических и физиологических методов.

Авторы ставили перед собой следующие задачи:

- сравнить эффективность различных биостимуляторов роста растений (Эпин-Экстра, Циркон, Гибберелон, Альбит, Рестарт);
- оценить влияние обработки на ключевые фотосинтетические параметры.

Исследование проводили на растениях ярового ячменя сорта “Нур” в 2022–2023 гг. в условиях Московской области. Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая с содержанием гумуса – 2,1%, фосфора – 28,8 мг/100 г почвы, калия – 10,1 мг/100 г почвы, азота – 0,83 мг/ 100 г почвы.

При проведении предпосевной обработки семян ярового ячменя было проведено разделение на 6 групп со своим вариантом обработки:

1. Контроль (обработка водой);
2. Эпин-Экстра, Р (200 мл/т);
3. Циркон, Р (2 мл/т);
4. Гибберелон, ВРП (80 г/т);
5. Альбит, ТПС (30 мл/т);
6. Рестарт, Ж (0,3 мл/т).

Предпосевная обработка семян проводилась при расходе рабочего раствора 10 л/т. Обработка растений по вегетации осуществлялась двукратно: в фазе кущения (ВВСН 23) и в фазе начала выхода в трубку (ВВСН 30). Расход рабочей жидкости - 200 л/га.

В экспериментах по изучению устойчивости к стрессу у растений ячменя использовалась флуориметрическая техника РАМ-2100. Измерения листьев выполнялись с помощью специального держателя-клипсы 2030-В для листьев, оснащенного микроквантовым датчиком и термопарой Ni-CrNi. Свет измерялся с помощью крошечного диффузора (~ 1 мм). Содержание хлорофилла определялось с помощью спектрофотометра UNICO 2100.

Результаты. В научной литературе часто упоминаются установленные данные о том, что сам процесс фотосинтеза служит одной из основных защитных систем растения от стрессовых факторов и, как следствие,

важным условием для получения высококачественного урожая. При этом многие ученые обращают внимание на то, что при увеличении листовой поверхности, поглощение солнечной энергии также увеличивается, а сам процесс фотосинтеза ускоряется. (Адрианова Ю.Е., 2000: 46-47; Корнеев Д.Ю., 2002: 124; Lisitsyn E., 2020: 3-5; Noskova E., 2020: 6-9; Allorement G., Osorio S., Vu J. L., Falconet D., Jouhet J., Kuntz M.,

Fernie A. R., Lerbs-Mache S., Macherel D., Courtois F., Finazzi G., 2015: 707-719).

Настоящее исследование включало в себя изучение показателей фотосинтеза, составляющих основу активного процесса фотосинтеза.

В таблице 1 представлены данные по измерению максимальной площади листьев ярового ячменя.

Таблица 1. Максимальная площадь листьев, (тыс. м²/га)

Table 1. Maximum leaf area (thousand m²/ha)

Вариант		2022 (ГТК 1,1)	2023 (ГТК 1,4)	Среднее за 2 года
обработка семян	Контроль	27,5	31,8	29,7
	Эпин-Экстра	31,8	34,9	33,4
	Циркон	31,6	35,6	33,6
	Гиберелон	31,1	35,4	33,3
	Альбит	32,4	36,5	34,5
	Рестарт	30,5	33,1	31,8
обработка растений	Контроль	35,7	36,7	36,2
	Эпин-Экстра	36,9	38,1	37,5
	Циркон	36,4	38,0	37,2
	Гиберелон	35,9	37,7	36,8
	Альбит	36,7	38,2	37,5
	Рестарт	35,8	37,5	36,7
НСР ₀₅		1,93	2,26	-

В процессе анализа полученных данных был сделан вывод о том, что уменьшение в контрольном варианте площади листьев

на 7,1–16,2% при обработке семян, и на 1,4–3,6% при обработке растений,

связано с положительным действием стимулирующих препаратов. Максимально высокие показатели отмечены для препаратов Эпин-Экстра и Альбит с площадью листьев 37,5 тыс. м²/га (на контроле - 36,2 тыс. м²/га). Тенденция к увеличению площади листьев наблюдается во всех

опытных вариантах с исследуемыми препаратами.

Фотосинтетический потенциал (ФП) вырос на 4,4–14,3% во всех опытных вариантах с исследуемыми препаратами, что отражено в таблице 2.

Таблица 2. Фотосинтетический потенциал, (тыс. м²/га*дн.)

Table 2. Photosynthetic potential (thousand m²/ha*day)

Вариант		2022 (ГТК 1,1)	2023 (ГТК 1,4)	Среднее за 2 года
обработка семян	Контроль	967,0	1058,6	1012,8
	Эпин-Экстра	1068,0	1158,7	1113,4
	Циркон	1089,1	1222,1	1155,6
	Гиберелон	1059,9	1065,3	1062,6
	Альбит	1107,6	1007,7	1057,7
	Рестарт	1055,0	1094,8	1074,9
обработка растений	Контроль	1230,7	1376,2	1303,5
	Эпин-Экстра	1359,3	1506,3	1432,8
	Циркон	1386,1	1589,7	1489,4
	Гиберелон	1348,9	1384,9	1366,9
	Альбит	1470,0	1423,2	1446,6
	Рестарт	1409,7	1310,1	1359,9
НСР ₀₅		58,4	59,2	-

Максимальное значение ФП (1489,4 тыс. м²/га*дн.) зафиксировано для варианта с препаратом Циркон. Остальные варианты с биостимуляторами также показали

положительную динамику в сравнении с контролем.

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) представлена в таблице 3.

Таблица 3. Чистая продуктивность фотосинтеза, (г/м²*дн.)Table 3. Net productivity of photosynthetic processes, (g/m²*day)

Вариант		2022 (ГТК 1,1)	2023 (ГТК 1,4)	Среднее за 2 года
обработка семян	Контроль	6,1	5,4	5,8
	Эпин-Экстра	6,9	5,7	6,3
	Циркон	7,3	5,9	6,6
	Гибберелон	7,1	5,8	6,5
	Альбит	6,9	5,9	6,4
	Рестарт	6,2	5,3	5,8
обработка растений	Контроль	6,7	5,1	5,9
	Эпин-Экстра	7,4	5,4	6,4
	Циркон	7,2	5,7	6,5
	Гибберелон	7,3	5,5	6,4
	Альбит	7,4	5,5	6,5
	Рестарт	7,2	5,3	6,3
НСР ₀₅		5,3	5,7	-

ЧПФ экспериментальных образцов нарастала на 6,8–10,2% в сравнении с необработанными фрагментами опыта. Фитогормон Гибберелон и индуктор роста Циркон показали максимальную эффективность в сравнении с остальными препаратами, а ЧПФ выросла до значения 6,5 и 6,6 г/м²*дн.,

соответственно. Аналогичные показатели обозначены у антистрессового биопрепарата Альбит.

В работе фотосистемы ФС2 также есть незначительные колебания, но для достоверности результатов, данный эксперимент будет продолжен и далее (Рис.1).

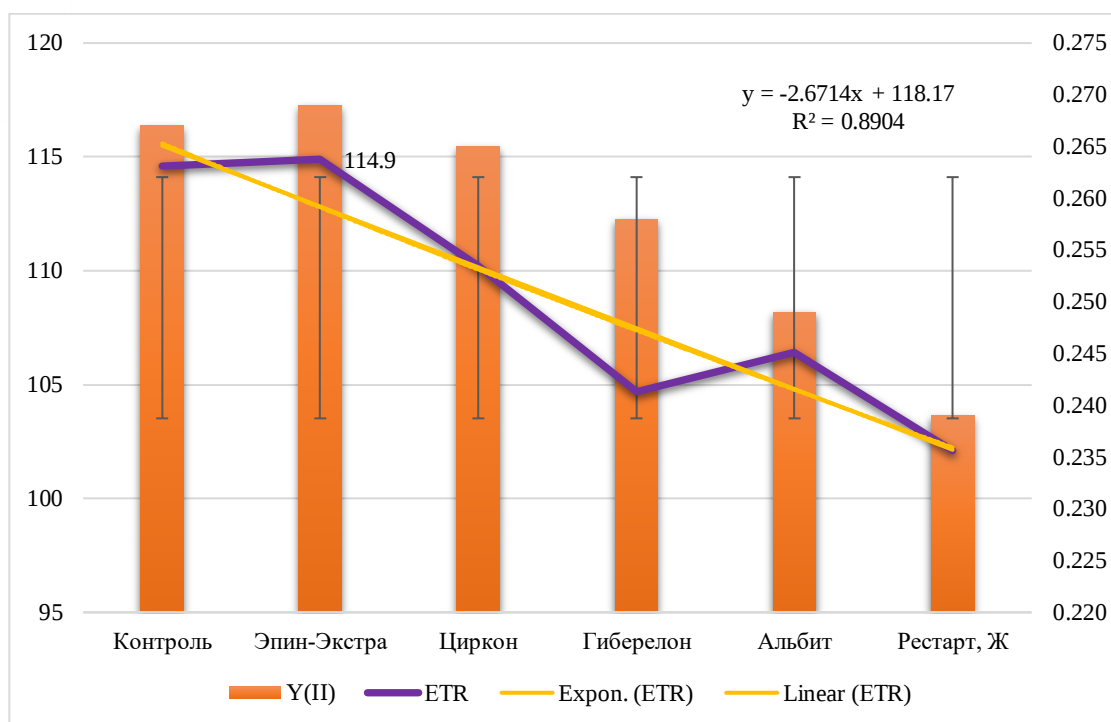


Рисунок 1. Изменение доли световой энергии, используемой PS II в процессе электронного транспорта (Y(II)), 2022–2023 гг.

Figure 1. Change in the share of light energy used by PS II in the electron transport process (Y(II)), 2022-2023.

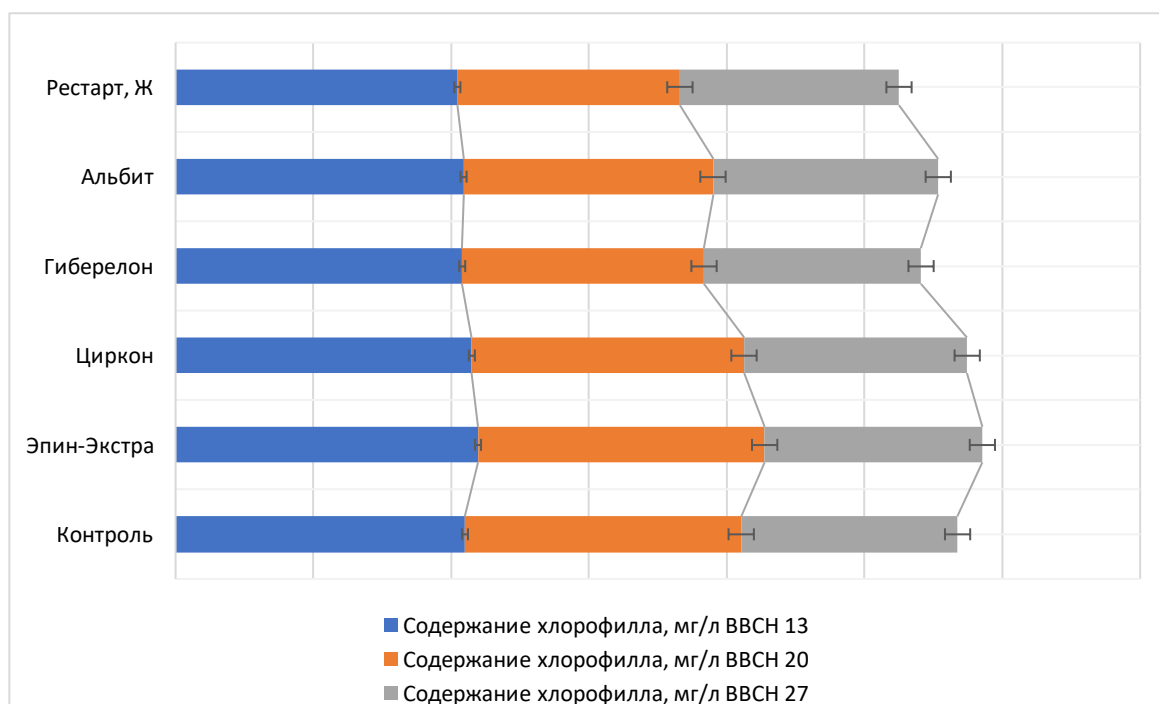


Рисунок 2. Содержание хлорофилла в листьях ярового ячменя

Figure 2. Chlorophyll content in spring barley leaves

В эксперименте с флуоресценцией активных различий не выявлено. Однако стоит отметить, что природный антистрессор Эпин-Экстра показал положительную динамику в сравнении с остальными препаратами и контролем. В данной части эксперимента важно учитывать все механизмы действия препаратов, и детально углубиться в этот вопрос. ETR 114,9 ммоль/электронов/м²с, что превышает контрольный на 0,3 ммоль/электронов/м²с.

Анализ динамики содержания хлорофилла в листьях ярового ячменя позволил установить факт, что при смене фаз от начальной ВВСН 13 до ВВСН 27 содержание хлорофилла снижается вследствие роста растения и дальнейшего перехода из зеленого растения в активный рост зерновки. Наибольшее значение

хлорофилла (4.39 мг/л) установлено в фазу 3 листьев (ВВСН 13). Данное значение превышает контроль на 4,5%. Далее, по росту фаз растений, содержание хлорофилла снизилось в среднем по всем вариантам исследования на 28,1%.

Обсуждение. Обработка семян и растений во время вегетации биостимуляторами роста способствует:

- росту листьев растения;
- стимуляции активной работы фотосинтетического аппарата растений;
- повышению содержания хлорофилла;
- защите от стрессовых факторов.

Это приводит к максимизации фотосинтетической активности растения и, как следствие, повышению продуктивности и качества урожая.

Сведения об авторах

Ламмас Мария Евгеньевна – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории испытаний элементов агротехнологий, агрохимикатов и пестицидов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова» (127434, Москва, ул. Прянишникова, 31-А, тел. +7 (915) 992-10-72); **ORCID:** [0000-0001-6619-1565](https://orcid.org/0000-0001-6619-1565); **E-mail:** lammas.me@mail.ru

Шитикова Александра Васильевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, и.о. директора Института агробиотехнологии ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, г. Москва, Лиственничная аллея, д. 3 (учебный корпус №3), каб. 307, тел. +7 (499) 976-18-25); **ORCID** [0000-0002-5943-0430](https://orcid.org/0000-0002-5943-0430); **E-mail:** plant@rgau-msha.ru

Information about the authors

Maria E. Lammas – candidate of Agricultural Sciences, researcher at the laboratory for testing elements of agricultural technologies, agrochemicals and pesticides, All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov (127434, Moscow, Pryanishnikova st., 31-A, tel. +7 (915) 992-10-72); **ORCID:** [0000-0001-6619-1565](https://orcid.org/0000-0001-6619-1565); **E-mail:** lammas.me@mail.ru

Alexandra V. Shitikova – doctor of Agricultural Sciences, Professor, Acting Director of the Institute of Agrobiotechnology of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Moscow, Listvennichnaya Alley, 3 (academic building No. 3), office 307, tel. +7 (499) 976-18-25); **ORCID** [0000-0002-5943-0430](https://orcid.org/0000-0002-5943-0430); **E-mail:** plant@rgau-msha.ru

© Ламмас М. Е., Шитикова А. В., 2025

Для цитирования: Ламмас М. Е., Шитикова А. В. Биофизические подходы оценки стрессоустойчивости и экологической пластичности ярового ячменя в современных условиях // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral», No 2/2025 <https://doi.org/10.55186/2658-3569-2025-2-03-14>, EDN: DCUKCM

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. – М.: Наука, 2000. – 135 с. EDN: ZVJDOH
2. Корнеев Д. Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. – К.: Альтерпрес, 2002. – 188 с.
3. Мокроносов А.Т., Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 448 с. EDN: QKOLXF
4. Ничипорович А.А., Строганова Л.Е. Методические указания по учету и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений в посевах. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 136 с.
5. Сальникова И. А., Рожнов Н. И. Фотосинтетическая деятельность и урожайность зерна сортов ярового ячменя в зависимости от применяемых биопрепаратов // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: МАТЕРИАЛЫ XVIII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Брянск, 24–25 мая 2021 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2021. – С. 137-144. EDN: PBOOOB
6. Семинченко Е. В. Фотосинтетический потенциал ярового ячменя в условиях Нижнего Поволжья / Е. В. Семинченко // Аграрная наука. – 2020. – № 3. – С. 63-66. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-336-3-63-66; EDN: VTNJBD
7. Alloreant G., Osorio S., Vu J. L., Falconet D., Jouhet J., Kuntz M., Fernie A. R., Lerbs-Mache S., Macherel D., Courtois F., Finazzi G. Adjustments of embryonic photosynthetic activity modulate seed fitness in *Arabidopsis thaliana* // *New Phytol.* –2015. – Vol. 205. – P. 707–719. DOI: 10.1111/nph.13044
8. Genty B., Briantaies J.-M., Baker N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence // *Biochimica et Biophysica Acta.* – 1989.–Vol. 990. – P. 87–92. DOI: 10.1016/S0304-4165(89)80016-9
9. Heinz Walz GmbH. 2007. Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer, operator's guide. Erhard Pfündel (ed). – Effeltrich, Germany. – 58 p.
10. Lisitsyn E. Reaction of barley cultivars to changes of weather conditions based on multi-year yield dynamics // *Sciences of Europe.* – 2020. – No 52-1(52). – P. 3-5.
11. Noskova E., Shchennikova I., Lisitsyn E. Assessment of barley collection's samples on drought resistance // *Sciences of Europe.* 2020: 53-3(53);6-9.

REFERENCES

1. Andrianova Yu.E., Tarchevsky I.A. Chlorophyll and plant productivity. – Moscow: Nauka, 2000. – 135 p.
2. Korneev D. Y. Informational possibilities of the chlorophyll fluorescence induction method. – Kyev: Alterpres, 2002. – 188 p.
3. Mokronosov A.T., Gavrilenko V.F., Zhigalova T.V. Photosynthesis. Physiological, ecological and biochemical aspects. – Moscow: Publishing center "Academy", 2006. – 448 p.
4. Nichiporovich A.A., Stroganova L.E. Methodological guidelines for accounting and control of the most important indicators of the processes of photosynthetic activity of plants in crops. – Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1961. – 136 p.
5. Salnikova I. A., Rozhnov N. I. Photosynthetic activity and grain yield of spring barley varieties depending on the biologies used // Agroecological aspects of sustainable development of the agroindustrial complex: PROCEEDINGS OF the XVIII INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE, Bryansk, May 24-25, 2021. – Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2021. – P. 137-144.
6. Semichenko E.V. Photosynthetic potential of spring barley in the conditions of the Lower Volga region // Agrarian science. 2020;3:63-66. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-336-3-63-66>
7. Allorement G., Osorio S., Vu J. L., Falconet D., Jouhet J., Kuntz M., Fernie A. R., Lerbs-Mache S., Macherel D., Courtois F., Finazzi G. Adjustments of embryonic photosynthetic activity modulate seed fitness in Arabidopsis thaliana // New Phytol. 2015;205:707–719. <https://doi.org/10.1111/nph.13044>
8. Genty B., Briantaies J.-M., Baker N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence // Biochimica et Biophysica Acta. 1989;990:87–92. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(89\)80016-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(89)80016-9)
9. Heinz Walz GmbH. 2007. Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer, operator's guide. Erhard Pfündel (ed). – Effeltrich, Germany. – 58 p
10. Lisitsyn E. Reaction of barley cultivars to changes of weather conditions based on multi-year yield dynamics // Sciences of Europe. 2020; 52-1(52):3-5.
11. Noskova E., Shchennikova I., Lisitsyn E. Assessment of barley collection's samples on drought resistance // Sciences of Europe. 2020; 53-3(53):6-9.