

## ДЕЙСТВИЕ ОСТРОГО УФ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯЧМЕНЯ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ВЕГЕТАЦИИ

Оксана Александровна Гусева, младший научный сотрудник

Павел Николаевич Цыгвинцев, кандидат биологических наук

Любовь Ивановна Гончарова, кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Калужская обл., г. Обнинск, Россия

E-mail: gusevaoks65@yandex.ru

**Аннотация.** Представлены результаты полевого и вегетационного экспериментов по действию острого УФ (А+В) облучения на ячмень яровой (*Hordeum vulgare* L.). Было смоделировано 20%-е истощение озонового слоя, суточная дополнительная доза УФ-А излучения – 58 кДж/м<sup>2</sup>, УФ-В – 12 кДж/м<sup>2</sup>. В вегетационном эксперименте выявлено снижение показателей зерновой продуктивности: урожай зерна с растения и масса 1000 зерен в 1,5 и 1,1 раза соответственно, высота растения и сухая биомасса – в среднем в 1,2 раза относительно контроля. Установлено достоверное повышение содержания флавоноидов в листьях ячменя в 1,2 раза и достоверное снижение содержания малонового диальдегида (МДА) в клеточных мембранах в 1,5 раза относительно контроля. Сразу после облучения фотосинтетические показатели флуоресценции хлорофилла F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> и Y(II) уменьшились в 1,4 и 1,3 раза по отношению к контролю соответственно. Данные, полученные спустя 30 дн. после облучения, показали, что поврежденные компоненты ФС II имеют механизмы восстановления повреждений, вызванных влиянием УФ радиации. В полевом эксперименте обнаружено достоверное снижение высоты в 1,1 и урожая зерна с растения в 1,4 раза относительно контроля, недостоверное уменьшение массы 1000 зерен в 1,2 и сухой биомассы в 1,4 раза.

**Ключевые слова:** ультрафиолетовое (А+В) излучение, ячмень яровой, МДА, флавоноиды, флуоресценция хлорофилла, урожайность, биомасса

## THE EFFECT OF ACUTE UV RADIATION ON BARLEY PRODUCTIVITY UNDER DIFFERENT GROWING CONDITIONS

O.A. Guseva, Junior Researcher

P.N. Tsygvintsev, PhD in Biological Sciences

L.I. Goncharova, PhD in Biological Sciences

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Kaluga region, Obninsk, Russia

E-mail: gusevaoks65@yandex.ru

**Abstract.** The results of field and vegetation experiments on the effect of acute UV (A+B) irradiation on barley (*Hordeum vulgare* L.) are presented. 20% depletion of the ozone layer was simulated, the daily additional dose of UV-A radiation was 58 kJ/m<sup>2</sup>, UV-B – 12 kJ/m<sup>2</sup>. In the vegetation experiment, a decrease in grain productivity indicators was revealed: the grain yield from the plant and the mass of 1000 grains by 1.5 times and 1.1 times, respectively, the height of the plant and dry biomass by an average of 1.2 times relative to the control. It also revealed a significant increase in the content of flavonoids in barley leaves by 1.2 times and a significant decrease in the content of MDA in cell membranes by 1.5 times relative to the control. Immediately after irradiation, photosynthetic parameters of chlorophyll fluorescence F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> and Y(II) decreased by 1.4 times and 1.3 times relative to the control, respectively. The data obtained 30 days after irradiation showed that the damaged components of FS II have mechanisms for repairing damage caused by the influence of UV radiation. In the field experiment, a significant decrease in height by 1.1 times and grain yield from the plant by 1.4 times relative to the control was found, an unreliable decrease in the mass of 1000 grains by 1.2 times and dry biomass by 1.4 times was also observed.

**Keywords:** ultraviolet (A+B) irradiation, barley, malondialdehyde, flavonoids, chlorophyll fluorescence, grain harvest, biomass

Глобальные изменения химического состава атмосферы при сокращении защитного озонового слоя могут значительно влиять на рост и развитие фито- и агроценозов. Снижение концентрации стратосферного озона приводит к увеличению солнечного УФ-А и УФ-В излучения, количество которого зависит от широты и профиля озонового слоя над определенным местом поверхности Земли. [10, 15] Многочисленные исследования по изучению усиленного УФ излучения показали как негативное, так и положительное воздействие на растения и их компоненты. Так, предпосевное облучение УФ-С семян зерновых [10], лекарственных трав [9] улучшало всхожесть семян, обеспечивая их дезинфекцию, у трав

повышалось содержание биологически активных и питательных веществ. Исключение УФ-В излучения из естественного солнечного спектра с помощью пленок-фильтров в полевых условиях способствовало росту и урожайности исследуемых сортов сорго. [10]

Один из видов негативного влияния больших доз УФ радиации – окислительный стресс, возникающий в результате индуцирования избыточной выработки свободных радикалов, что, в конечном счете, приводит к образованию активных форм кислорода (АФК). Для нейтрализации АФК клетки растений используют антиоксидантную систему, в которую входят низкомолекулярные соединения и высокомолекулярные ферменты. [4] УФ излучение стимулирует накопление

вторичных метаболитов (фенолы, флавоноиды, алкалоиды, каротиноиды, глюкозинолаты, терпеноиды) в сельскохозяйственных культурах. [6, 11]

Повышенные дозы УФ излучения пагубно влияют на функционирование фотосинтетического аппарата растений. УФ-В излучение нарушает работу марганцевого кластера, пигмента P680, редокс-активного тирозина, связанных и несвязанных молекул пластохинонов. Это ведет к деградации белков реакционного центра фотосистемы II (ФС II) – D1 и D2, вследствие чего угнетается фотосинтетический процесс. [8] В результате повреждений, происходящих на клеточном уровне, может меняться проникновение света в листовую пластину и плотность устьиц, из-за этого уменьшается площадь листьев, сокращается производство биомассы и снижается продуктивность.

Цель работы – оценить влияние острого УФ (А+В) излучения на морфофизиологические параметры и продуктивность ячменя ярового в вегетационном и полевом исследованиях.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сравнительное действие острого УФ облучения растений ячменя изучали в полевом и вегетационном экспериментах на яровом ячмене сорта *Владимир*. В теплице растения выращивали в сосудах (в каждом по 13 растений) на дерново-подзолистой супесчаной почве, повторность – трехкратная. В микро-полевом эксперименте на исследовательском поле ФГБНУ ВНИИРАЭ ячмень произрастал на делянках 1x1,5 м, норма высева – 400 сем./м<sup>2</sup>. Учет урожая проводили на площадках 0,5x0,5 м. Размеры учетных площадок и число повторностей в вегетационном эксперименте обуславливались размерами установки облучения.

Растения облучали УФ (А+В) излучением на стадии выхода в трубку (34 этап органогенеза), которая наиболее чувствительна к воздействию стрессовых факторов. [15] Для имитации истощения озонового слоя на 20% в полевом эксперименте мощность дополнительного УФ-В и УФ-А излучений на уровне почвы составляла 0,8 и 4,0 Вт/м<sup>2</sup> соответственно. Облучение проводили при ясной, безоблачной погоде в течение четырех часов (с 11-00 до 15-00). Аналогичная мощность и длительность облучения была в вегетационном эксперименте. При этом дополнительные дозы УФ-В и УФ-А – 12 и 58 кДж/м<sup>2</sup>.

Источник УФ-А излучения – лампы Black Light Blue (фирма Philips), УФ-В – ЛЭР-40 (ОАО «Лисма-ВНИИС»). Мощность излучения определяли с помощью спектрофотометра AvaSpec-2048 и программного обеспечения AvaSoft 2.0.

В обоих экспериментах показателями оценки влияния сочетанного УФ облучения служили морфологические параметры: показатели зерновой продуктивности, урожай зерна с растения, масса 1000 зерен, высота растения и сухая биомасса.

В вегетационном эксперименте дополнительно на следующие сутки после облучения оценивали: содержание малонового диальдегида (МДА) в листовой меристеме и флавоноидов спектрофотометрическим методом на приборе UNICO-1200 (Санкт-Петербург). [7, 14]

С помощью амплитудно-импульсного флуориметра Junior-PAM (Walz Inc., Effeltrich, Germany) измеряли параметры флуоресценции хлорофилла сразу после облучения и в фазе начального колошения ячменя (52 этап органогенеза) спустя 30 дн. после облучения. По измеренным уровням флуоресценции хлорофилла вычисляли: максимальный ( $F_v/F_m$ ) и эффективный ( $Y(II)$ , после адаптации тканей к свету) фотохимические квантовые выходы ФС II; коэффициенты фотохимического (qP) и нефотохимического тушения (qN). Показатели флуориметра фиксировали полнофункциональным ПО Wincontrol-3.

Данные статистически обрабатывали с помощью MS Office Excel. Достоверность различий вариантов опыта устанавливали по *t*-критерию Стьюдента (уровень значимости  $p < 0,05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Фотосинтетические показатели и их ответ на влияние острого УФ (А+В) излучения.** Фотосинтез – важный процесс в растительных клетках, необходим для производства биомассы. Поскольку он зависит от светособирающих свойств хлорофиллов, можно ожидать, что снижение их содержания уменьшит накопление биомассы. [17] Измерение параметров флуоресценции хлорофилла проводили с полноценно раскрывшегося пятого листа на 34 этапе органогенеза сразу после облучения УФ (А+В) излучением и спустя 30 дн. на стадии начального колошения растений (52 этап органогенеза). На рис. 1А видно, что сразу после облучения показатели фотохимиче-

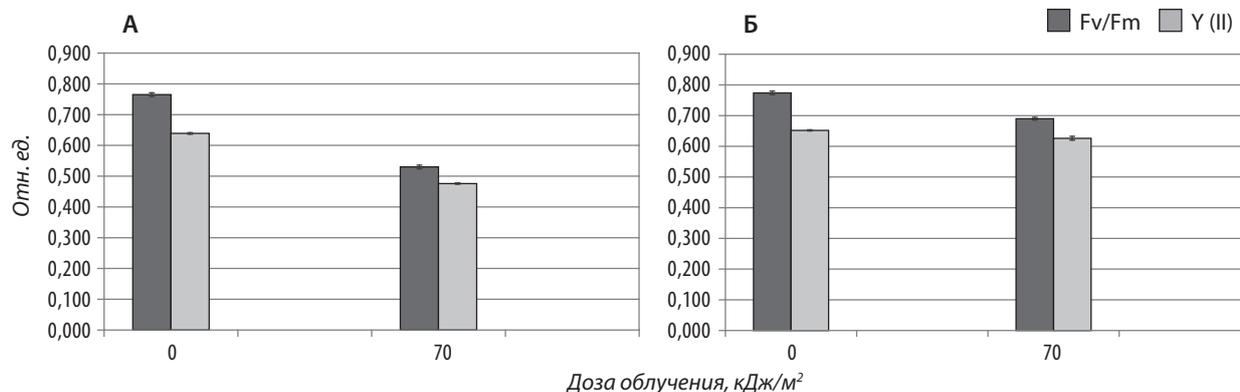


Рис. 1. Максимальный ФС II ( $F_v/F_m$ ) и эффективный ( $Y(II)$ ) фотохимические квантовые выходы в листьях ячменя сразу после облучения (А) и спустя 30 дн. (Б).

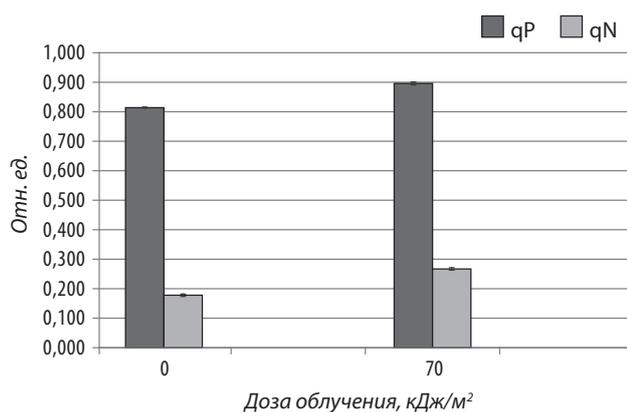


Рис. 2. Коэффициенты фотохимического (qP) и нефотохимического (qN) тушения флуоресценции хлорофилла сразу после облучения комбинированным УФ (А+В) излучением.

ского квантового  $F_v/F_m$  и эффективного квантового  $Y(II)$  выходов снизились в 1,4 и 1,3 раза соответственно относительно контроля. Снижение системы  $F_v/F_m - Y(II)$  отождествляют с повреждением комплексов фотосистемы II, что может указывать на постепенное разрушение фотосинтетического аппарата в листовой пластине. Спустя 30 дн. после облучения (рис. 1Б) поврежденные компоненты ФС II имеют механизмы восстановления повреждений, полученных из-за влияния УФ радиации. В то же время воздействие дозы облучения 70 кДж/м<sup>2</sup> вызвало изменения в функционировании компонентов ФС II, поскольку величина  $F_v/F_m$  ниже контроля в 1,1, а  $Y(II) - 1,04$  раза соответственно.

В работе наблюдали прямую зависимость снижения величин максимального и эффективного фотохимических квантовых выходов флуоресценции хлорофилла и исследуемых морфологических показателей, такая же взаимосвязь выявлена в других исследованиях. [3]

**Коэффициент фотохимического тушения флуоресценции хлорофилла – qP и коэффициент нефотохимического тушения – qN.**

На рисунке 2 видно, что сразу после облучения дозой 70 кДж/м<sup>2</sup> УФ (А+В) излучения коэффициент qP увеличивается в 1,1 раза относительно контроля. Это может быть связано с акцептированием электронов реакционными центрами фотосистемы II. Увеличение qP в листьях ячменя означает, что ко-

личество окисленных пластохинонов  $Q_A$  в момент освещения повышалось на 10%. Коэффициент qN меньше qP как в контроле, так и исследуемом варианте, что показывает правильное функционирование системы qP-qN, в нормальных условиях коэффициент qP должен быть выше qN.

Данные по коэффициентам qP и qN, полученные спустя 30 дн. после облучения, подтверждают вышеизложенную концепцию: коэффициент qP выше qN (рис. 3А, Б). Однако при добавлении актиничного света (рис. 3А) коэффициент нефотохимического тушения qN возрастает в 1,1 раза относительно контроля. Это указывает на то, что повышенный уровень qN может восприниматься сигнальными системами растительной клетки как индикатор высокой освещенности листовой пластины, когда нужен меньший размер антенны ФС II, чтобы избежать индуцируемую светом высокой интенсивности фотосинтетическую активность ФС II и преобразовать излишнюю энергию в тепло. При отключении актиничного света система qP-qN приходит в нормальное состояние (рис. 3Б). Наши данные согласуются с результатами других авторов, полученными при изучении листовых пластин и саженцев клена мелколистного [16], створок стручков, семенных оболочек и листьев горчицы черной. [3]

**Биохимические показатели и их ответ на влияние острого УФ (А+В) излучения.**

Основная роль фенольных соединений, таких как конъюгаты гидроксикоричных кислот и флавоноидных гликозидов в эпидермисе листовой пластины, заключается в защите тканей листа от повреждений, вызванных УФ излучением и другими стрессовыми факторами. [13] Облучение дозой 70 кДж/м<sup>2</sup> комбинированного УФ (А+В) излучения на стадии выхода в трубку привело к достоверному повышению содержания флавоноидов в листьях ячменя в 1,2 раза относительно контроля (табл. 1). Аналогичные результаты были получены в работах [9, 12, 13] у рапса, произрастающего в теплице, на корневых культурах вайды красильной и у салата листового, выращенного в тепличных и полевых условиях.

Окислительный стресс – причина перекисного окисления липидов (ПОЛ), нарушающего структуру клеточных мембран, снижая их пластичность и проницаемость. Один из метаболитов при ПОЛ – малоновый диальдегид (МДА), увеличение содержания которого показывает, что компоненты растительной

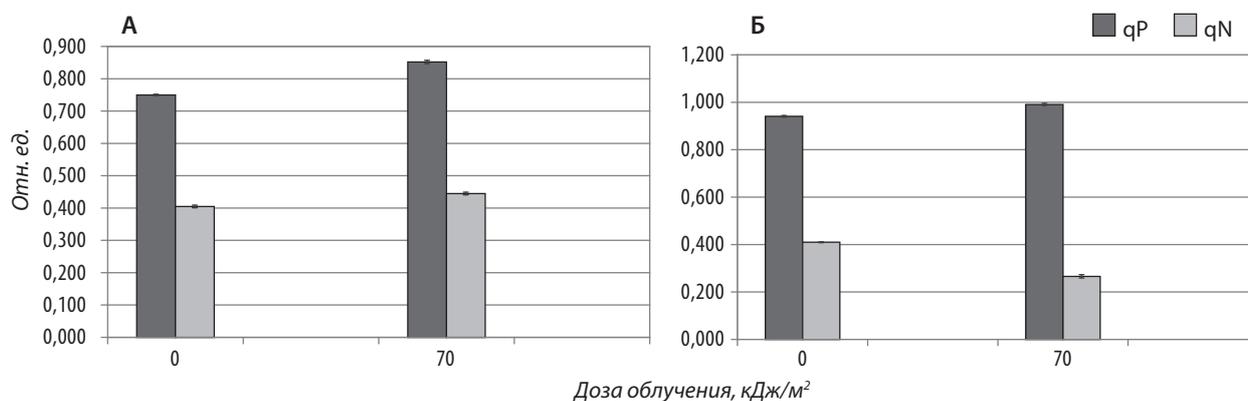


Рис. 3. Коэффициенты фотохимического (qP) и нефотохимического (qN) тушения флуоресценции хлорофилла спустя 30 дн. после облучения комбинированным УФ (А+В) излучением: А – при влиянии актиничного света; Б – без него.

Таблица 1.

Параметр	Контроль	УФ (А+В), 70 кДж/м <sup>2</sup>
Флавоноиды, мг/100г	361,93±10,95	417,37±5,57*
МДА, мМоль/г	18,36±1,19	12,60±0,65*

Примечание. \* – Достоверное отличие от контроля,  $p < 0,05$  (то же в табл. 2).

Таблица 2.

Параметр	Теплица		Поле	
	контроль	УФ (А+В)	контроль	УФ (А+В)
Высота растения, см	61,3±1,1	58,6±0,7	61,8±1,0	56,3±1,0*
Урожай зерна с растения, г	1,64±0,06	1,43±0,04	0,94±0,07	0,7±0,05*
Масса 1000 зерен, г	54,1±0,8	51,4±0,26	51,6±0,3	43,3±0,2
Сухая биомасса, г	1,01±0,04	0,86±0,03	1,28±0,05	0,95±0,01

клетки находятся в стадии высокого уровня окислительного стресса. В нашем исследовании выявлено достоверное снижение содержания МДА в 1,5 раза относительно контроля (табл. 1). Основную роль в фотозащите выполняли флавоноиды, поскольку наблюдался существенный рост их аккумуляции.

#### Морфологические показатели и их ответ на действие острого комбинированного УФ (А+В) излучения.

Влияние дозы облучения 70 кДж/м<sup>2</sup> на ячмень в теплице проявлялось в снижении показателей зерновой продуктивности: урожай зерна с растения и масса 1000 зерен относительно контроля в 1,5 и 1,1 раза соответственно, а также высоты растения в 1,1 и сухой биомассы в 1,2 раза (табл. 2). В полевом эксперименте установлено достоверное снижение высоты в 1,1 и урожая зерна с растения в 1,4 раза относительно контроля, а также уменьшение массы 1000 зерен в 1,2 и сухой биомассы в 1,4 раза.

То есть, дополнительное острое УФ излучение в условиях теплицы и поля оказало ингибирующее воздействие на рост, биологическую урожайность и зерновую продуктивность ячменя ярового. В полевом эксперименте масса сухой соломы оказалась выше, чем в вегетационном опыте как в контрольных, так и исследуемых вариантах. В полевых условиях растения произрастали под действием солнечного хронического УФ-А облучения от начала всходов до уборки урожая, и к моменту дополнительного острого УФ (А+В) излучения выработали механизмы защиты от стрессового фактора. Схожая тенденция выявлена в работе [1] при изучении влияния низких доз хронического УФ-А облучения на листовом салате. Однако дополнительное острое облучение проростков ячменя на стадии выхода в трубку негативно повлияло на формирование конуса нарастания, из которого формируется главный колос, и развиваются боковые стебли и колосья. Вследствие этого зерновая урожайность оказалась низкой в вегетационном и полевом опытах. Полученные результаты согласуются с данными других работ: снижение высоты при влиянии острого УФ-В и комбинированного УФ (А+В) излучения у саженцев клена мелколистного в полуполевых условиях [16], сорго [10] в полевом эксперименте. А уменьшение массы 1000 зерен и числа зерен в главном колосе установлено у ячменя и пшеницы [2], в соцветиях татарской гречихи. [17]

Таким образом, влияние острого УФ (А+В) излучения на ячмень, произрастающий в полевом опыте (хроническое солнечное УФ облучение + однократное дополнительное УФ (А+В) облучение в дозе 70 кДж/м<sup>2</sup>) и теплице (отсутствие УФ облучения при вегетации + однократное дополнительное УФ (А+В) облучение в дозе 70 кДж/м<sup>2</sup>), приводило к заметному снижению общего роста, зерновой продуктивности, биомассы, чистой скорости фотосинтеза, индуцировало увеличение содержания соединений антиоксидантной защиты – флавоноидов, и снижение МДА, участвующего в защите растительной клетки от окислительного стресса.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гусева О.А., Цыгвинцев П.Н., Гончарова Л.И. Влияние низких доз хронического УФ-А излучения на салат листовой // Современные проблемы радиобиологии, радиэкологии и агроэкологии: Сборник докладов IV Межд. науч.-практ. конф., Обнинск, 22–24 сентября 2021 года. Обнинск: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии». 2021. С. 35–38.
2. Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В. Влияние ультрафиолетового излучения на посевные качества и вегетацию яровой пшеницы и ярового ячменя // АПК России. – 2019. – Том 26, №3. – С. 344–349.
3. Смоликова Г.Н. Лебедев В.Н., Лопатов В.Е. и др. Динамика фотохимической активности фотосистемы II при формировании семян *Brassica Nigra* L. // Вестник С.-Пб университета. Физиология, Биохимия, Биофизика. 2015. Сер. 3. Вып. 3. С. 53–65.
4. Тоайма В.И.М., Радюкина Н.Л., Дмитриева Г.А., Кузнецов Вл.В. Оценка антиоксидантного потенциала лекарственных растений при действии УФ-В-облучения. // Вестник РУДН, серия Агрономия и животноводство, Физиология растений. 2009. Т. № 4. С. 12–19.
5. Цыгвинцев П.Н., Гончарова, Л.И., Крюков, А.Е. Влияние предпосевного УФ-облучения семян на морфологические показатели проростков ячменя // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 4. С. 42–44.
6. Bravo S., Garcia-Alonso J., Martin-Pozuelo G. et al. Effects of postharvest UV-C treatment on carotenoids and phenolic compounds of vine-ripe tomatoes // International Journal of Food Science and Technology. 2013. V. 48. P. 1744–1749.
7. Heath R.L., Packer, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation // Archives of Biochemistry and Biophysics. 1968. V. 125. № 1. P. 189–198.
8. Jansen M., Gaba V., Greenberg B.M. et al. Low threshold levels of ultraviolet-B in a background of photosynthetically active radiation trigger rapid degradation of the D2 protein of photosystem II // Plant J. 1996a. V. 9. P. 693–699.
9. Jiao J., Gai Q.-Y., Yao L.-P. et al. Ultraviolet radiation for flavonoid augmentation in *Isatis tinctoria* L. hairy root cultures mediated by oxidative stress and biosynthetic gene expression // Industrial Crops & Products. 2018. V. 118. P. 347–354.
10. Kataria S., Guruprasad, K.N. Intraspecific variations in growth, yield and photosynthesis of sorghum varieties to ambient UV (280–400 nm) radiation // Plant Science. 2012. V. 196. P. 85–92.

11. Klein F.R.S., Reis A., Kleinowski Al.M. et al. UV-B radiation as an elisor of secondary metabolite production in plants of the genus *Alternanthera* // *Acta Botanica Brasili-ca*. 2018. V. 32. T. 4. P. 615-623.
12. Lee J.-H., Shibata S., Goto Ei. Time-course of changes in photosynthesis and secondary metabolites in canola (*Bras-sica napus*) under different UV-B irradiation levels in a plant factory with artificial light // *Frontiers in Plant Sci-ence*. 2021. V. 12. P. 1-13.
13. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M. Shift in accu-mulation of flavonoids and phenolic acids in lettuce attrib-utable to change in ultraviolet radiation and temperature // *Scientia Horticulturae*. 2018. V. 239. P. 193-204.
14. Tevini M., Iwazik W., Thoma U. Some effects of enhanced UV-B irradiation on the growth and composition of plants. // *Planta*. 1981. V. 153. P. 388-394.
15. Tsygvintsev P.N., Guseva O.A., Tatarova M.Yu. Effect of acute UV irradiation of barley in different stages of organo-genesis on yield // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*487 (2019) 012032, doi:10.1088/1757-899X/487/1/0120321.
16. Yao X., Liu Q. Changes in morphological, photosynthetic and physiological responses of Mono Maple seedlings to enhanced UV-B and to nitrogen addition // *Plant Growth Regul.* 2006. V. 50. P. 165-177.
17. Yao Y., Xuan Z., Y. Li et al. Effects of ultraviolet-B radiation on crop growth, development, yield and leaf pigment concentration of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) under field conditions // *European Journal of Agronomy*. 2006. P. 215-222. doi:10.1016/j.eja.2006.05.004.
5. Cygvincev P.N., Goncharova, L.I., Kryukov, A.E. Vliyanie predposevnogo UF-oblucheniya semyan na morfofiziolog-icheskie pokazateli prorstkov yachmenya // *Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*. 2015. № 4. S. 42-44.
6. Bravo S., Garcia-Alonso J., Martin-Pozuelo G. et al. Effects of postharvest UV-C treatment on carotenoids and phenolic compounds of vine-ripe tomatoes // *International Journal of Food Science and Technology*. 2013. V. 48. P. 1744-1749.
7. Heath R.L., Packer, L. Photoperoxidation in isolated chlo-roplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid perox-oxidation // *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 1968. V. 125. № 1. P. 189-198.
8. Jansen M., Gaba V., Greenberg B.M. et al. Low threshold levels of ultraviolet-B in a background of photosynthetically active radiation trigger rapid degradation of the D2 protein of photosystem II // *Plant J*. 1996a. V. 9. P. 693-699.
9. Jiao J., Gai Q.-Y., Yao L.-P. et al. Ultraviolet radiation for flavonoid augmentation in *Isatis tinctoria* L. hairy root cultures mediated by oxidative stress and biosynthetic gene expression // *Indudtrial Crops & Products*. 2018. V. 118. P. 347-354.
10. Kataria S., Guruprasad, K.N. Intraspecific variations in growth, yield and photosynthesis of sorghum varieties to ambient UV (280-400 nm) radiation // *Plant Science*. 2012. V. 196. P. 85-92.
11. Klein F.R.S., Reis A., Kleinowski Al.M. et al. UV-B radi-ation as an elisor of secondary metabolite production in plants of the genus *Alternanthera* // *Acta Botanica Brasili-ca*. 2018. V. 32. T. 4. P. 615-623.
12. Lee J.-H., Shibata S., Goto Ei. Time-course of changes in photosynthesis and secondary metabolites in canola (*Bras-sica napus*) under different UV-B irradiation levels in a plant factory with artificial light // *Frontiers in Plant Sci-ence*. 2021. V. 12. P. 1-13.
13. Sytar O., Zivcak M., Bruckova K., Brestic M. Shift in accu-mulation of flavonoids and phenolic acids in lettuce attrib-utable to change in ultraviolet radiation and temperature // *Scientia Horticulturae*. 2018. V. 239. P. 193-204.
14. Tevini M., Iwazik W., Thoma U. Some effects of enhanced UV-B irradiation on the growth and composition of plants. // *Planta*. 1981. V. 153. P. 388-394.
15. Tsygvintsev P.N., Guseva O.A., Tatarova M.Yu. Effect of acute UV irradiation of barley in different stages of organo-genesis on yield // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*487 (2019) 012032, doi:10.1088/1757-899X/487/1/0120321.
16. Yao X., Liu Q. Changes in morphological, photosynthetic and physiological responses of Mono Maple seedlings to enhanced UV-B and to nitrogen addition // *Plant Growth Regul.* 2006. V. 50. P. 165-177.
17. Yao Y., Xuan Z., Y. Li et al. Effects of ultraviolet-B radi-ation on crop growth, development, yield and leaf pigment concentration of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum*) under field conditions // *European Journal of Agronomy*. 2006. P. 215-222. doi:10.1016/j.eja.2006.05.004.

#### REFERENCES

1. Guseva O.A., Cygvincev P.N., Goncharova L.I. Vliyanie nizkih doh hronicheskogo UF-A izlucheniya na salat listovoj // *Sovremennye problemy radiobiologii, radioekologii i agroekologii: Sbornik dokladov IV Mezhd. nauch.-prakt. konf., Obninsk, 22-24 sentyabrya 2021 goda*. Obninsk: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut radiologii i agroekologii». 2021. S. 35-38.
2. Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V., Bidej I.A., Elizarova O.V. Vliyanie ul'trafiioletovogo izlucheniya na posevnye kachestva i vegetaciyu yarovoj pshenicy i yarovogo yachmenya // *APK Rossii*. – 2019. – Tom 26, №3. – S. 344-349.
3. Smolikova G.N. Lebedev V.N., Lopatov V.E. i dr. Dinamika fotohimicheskoy aktivnosti fotosistemy II pri formirovani semyan *Brassica Nigra* L. // *Vestnik S.-Pb universiteta. Fiziologiya, Biohimiya, Biofizika*. 2015. Ser. 3. Vyp. 3. S. 53-65.
4. Toajma V.I.M., Radyukina N.L., Dmitrieva G.A., Kuznecov VI.V. Ocenka antioksidantnogo potenciala lekarstvennyh rastenij pri dejstvii UF-V-oblucheniya. // *Vestnik RUDN, seriya Agronomiya i zhivotnovodstvo, Fiziologiya rastenij*. 2009. T. № 4. S. 12-19.