

**УДК 539.1.047:535-31:633.162**

**ВЛИЯНИЕ ОСТРОГО УФ ОБЛУЧЕНИЯ НА РАСТЕНИЯ ЯЧМЕНЯ (*Hordenum vulgare* L.)**

*О.А. Гусева, П.Н. Цыгвинцев, Л.И. Гончарова*

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии РФ,  
249032, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail:  
[gusevaoks65@yandex.ru](mailto:gusevaoks65@yandex.ru)

В вегетационном эксперименте исследовано влияние острого УФ (А+В) облучения в дозах 35, 70, 105 кДж/м<sup>2</sup> на фотосинтетический аппарат и продуктивность ячменя. Показано, что первичное воздействие УФ на растения ячменя осуществляется через повреждения ФС II, при этом со временем активность фотосистемы может восстанавливаться, но сохраняются дозозависимые и адаптивные изменения в системе тепловой диссипации света излишней интенсивности. Повреждения в ФС II приводят к снижению урожайности с увеличением дозы облучения.

*Ключевые слова: УФ, острое облучение, ячмень, фотосинтез, урожайность*

**INFLUENCE OF ACUTE UV IRRADIATION ON BARLEY (*Hordenum vulgare* L.)**

*Guseva O.A., Tsygvintsev P.N., Goncharova L.I.*

*Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kievskoe shosse, 109 km, Obninsk,  
Kaluga region, Russian Federation, e-mail: [gusevaoks65@yandex.ru](mailto:gusevaoks65@yandex.ru)*

The effect of acute UV (A + B) irradiation on barley photosynthesis and productivity with doses of 35, 70, 105 kJ/m<sup>2</sup> in a vegetation experiment was studied. It is shown that the primary effect of UV on barley plants is through PSII damage. While over time the activity of the photosystem can be restored, dose-dependent changes in the system of excessive intensity light dissipation remain. In PSII damage leads to a decrease in yield with an increase in the radiation dose.

*Keywords: UV, acute irradiation, barley, photosynthesis, yield*

Солнечный спектр излучения, кроме теплового и фотосинтетически активного диапазона (PAR, 400-700 нм), включает длины волн в ультрафиолетовом диапазоне: УФ-А (320-400 нм), УФ-В (280-320 нм) и в УФ-С (200-280 нм). До поверхности Земли из-за поглощения кислородом атмосферы и слоем стратосферного озона доходит только УФ-А излучение. УФ-В является незначительной составляющей в общем потоке солнечного УФ излучения (от 10 до 20%), однако по эффективности воздействия на него приходится до 80-90%. При снижении толщины озонового слоя доля УФ-В излучения возрастает и может влиять на метаболические процессы растений, такие как рост, морфологию, цветение, опыление, фотосинтез и транспирацию [1, 2]. Поэтому оценка механизмов повреждения, восстановления и защиты растений при образовании «озоновых дыр» имеет значение для понимания экофизиологической роли УФ-В излучения.

В данной работе было изучено влияние УФ (А+В) излучения на функцию фотосистемы II (ФС II) в листьях ячменя с использованием стационарной

(адаптированной к свету) флуоресценции хлорофилла (ФХ), а также оценена урожайность растений в конце вегетации.

Объектом исследования был ячмень яровой (*Hordeum vulgare* L.) сорта «Владимир», выращенного в сосудах с воздушно-сухой дерново-подзолистой супесчаной почвой (4,5 кг), в трехкратной повторности. Плотность посева на сосуд – 13 растений. Растения в период роста стебля (34 этап по фенологической шкале по международному коду [3]) облучали тремя дозами УФ 35 кДж/м<sup>2</sup> (5 УФ-В и 30 УФ-А), 70 кДж/м<sup>2</sup> (12 УФ-В и 58 УФ-А) и 105 кДж/м<sup>2</sup> (18 УФ-В и 87 УФ-А), имитируя воздействие солнечной УФ радиации при различном снижении толщины озонового слоя. В качестве источника УФ-А излучения использовались лампы Black Light BLUE, а в качестве источника УФ-В излучения – лампы LER-40. Действие УФ излучения оценивали по изменению ФХ сразу после облучения и спустя 30 дней после облучения (на 34 и 51 этапах органогенеза растений). Измерение проводилось с полноценно раскрывшегося 5 листа с помощью амплитудно-импульсного флуориметра Junior-PAM (Walz Inc., Effeltrich, Germany).

Облучение ячменя сочетанием УФ (А+В) на стадии роста стебля вызывает дозозависимое снижение максимального фотохимического квантового выхода ( $F_v/F_m$ ), которое при максимальной дозе 105 кДж/м<sup>2</sup> по отношению к контролю составило 50%. Эффект острого УФ облучения сохраняется через месяц после воздействия, у облученных растений максимальный квантовый выход на 10% ниже контроля. Это указывает на то, что нарушаются репарационные механизмы, происходящие в хлоропластах в ответ на стресс, для сохранения функций ФС II, поскольку избыточный поток УФ излучения, энергия которого не может быть реализована в фотосинтетических реакциях, считается одним из основных факторов инактивации комплексов ФС II. Схожие данные были получены в исследовании Pfundel на виноградных листьях и в работе Смоликовой на горчице черной [4, 5].

Изменения в фотохимических реакциях комплексов ФС II могут быть обусловлены физиологически восстановимыми повреждениями пластохинонов, роль которых выполняют процессы фотохимического и нефотохимического тушения флуоресценции. При максимальной дозе УФ (А+В) излучения величина фотохимического тушения ( $q_P$ ), измеренная сразу после облучения, на 16% выше контрольного значения. Такое повышение эффективности  $q_P$  связано с акцептированием электронов реакционными центрами ФС II. С течением времени наблюдается восстановление механизма фотохимического тушения, что можно объяснить заменой поврежденного пула пластохинонов.

Также с увеличением дозы сразу после облучения повышаются значения нефотохимического тушения ( $q_N$ ), и данная закономерность сохраняется у растений даже спустя 30 суток после облучения. Это говорит об изменениях в механизмах тепловой диссипации при влиянии доз облучения УФ, т.е. компоненты фотосистемы II не справляется с выведением излишнего тепла из клеток листа.

Изучение влияния острого УФ облучения на морфологические параметры, такие как сухая биомасса, высота растений, масса 1000 зерен и урожайность, показали их снижение при увеличении дозы облучения. По всем показателям наблюдается снижение относительно контроля при максимальной дозе облучения. Так сухая биомасса снизилась на 28% по сравнению с контрольной величиной, высота растений – на 5%, урожай и масса 1000 зерен были ниже на 13% и 7% соответственно. Это указывает на

то, что УФ излучение в дозах, превышающих естественный фон, оказывает негативное влияние на формирование и урожайность ячменя.

Таким образом, первичное воздействие УФ на растения ячменя осуществляется через повреждения ФС II, при этом со временем активность фотосистемы может восстанавливаться, но сохраняются дозозависимые и, по своему характеру, адаптивные изменения в системе тепловой диссипации света излишней интенсивности. Однако изменения, происходящие при повреждениях компонентов ФС II, влияют на рост растений и формирование урожая зерна.

#### **Список использованной литературы**

1. Van Rensen J.J.S., Vredenberg W.J. et. al. Time sequence of the damage to the acceptor and donor sides of photosystem II by UV-B radiation as evaluated by chlorophyll a fluorescence // Photosynth Res. – 2007. – Vol. 94. – P. 291-297.
2. Tsygvintsev P.N., Guseva O.A., Tatarova M.Yu. Effect of acute UV irradiation of barley in different stages of organogenesis on yield // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2019. – P. 1-5. – 487 012032.
3. Zadoks, J., Chang T., C. Konzak. A decimal code for the growth stages of cereals // Weed research. - 1974. – 14. - P. 415-421.
4. Pfundel E.E. Action of UV and visible radiation on chlorophyll fluorescence from dark-adapted grape leaves (*Vitis vinifera* L.) // Photosynth Res. – 2003. – Vol. 75. – P. 29–39.
5. Смоликова Г.Н., Лебедев В.Н. 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.

**Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и  
агроэкологии**

**ВЛИЯНИЕ ОСТРОГО УФ ОБЛУЧЕНИЯ  
НА РАСТЕНИЯ ЯЧМЕНЯ (*Hordeum  
vulgare* L.)**

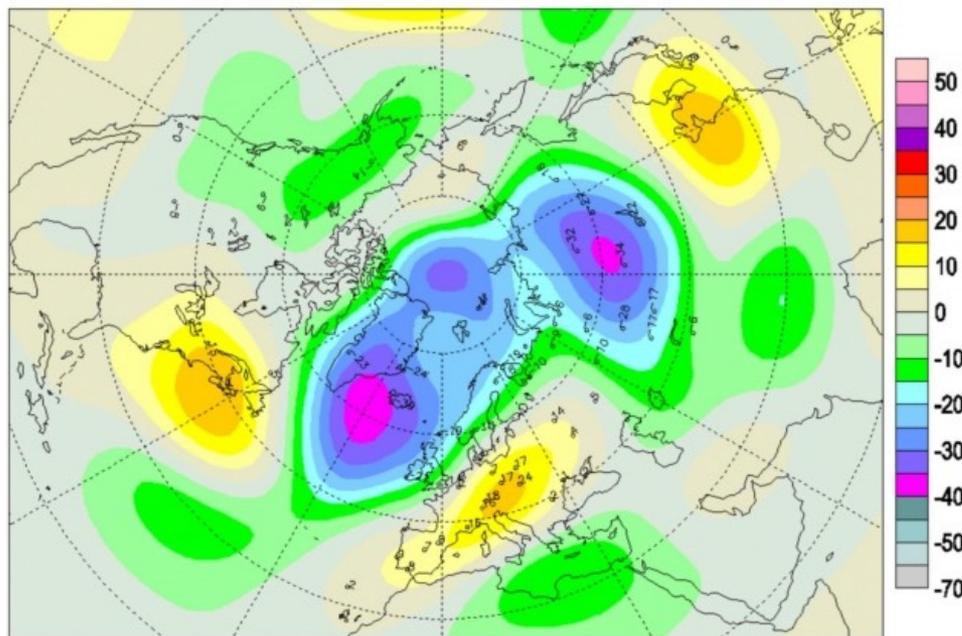
Гусева О.А., Цыгвинцев П.Н., Гончарова Л.И.

Обнинск, 2019

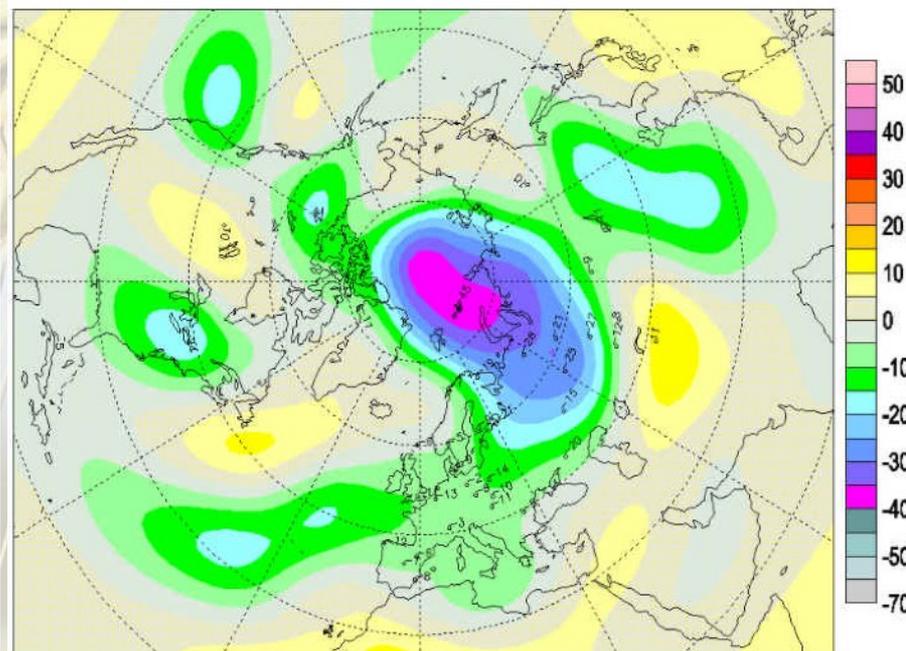
- «Озоновые дыры» – один из глобальных экологических факторов, оказывающих влияние на наземные экосистемы



Deviations (%) / Ecart (%) , 2005/03/04



Deviations (%) / Ecart (%) , 2011/04/04



Примеры «озоновых дыр», возникающих весной в Арктике

- Солнечный спектр включает длины волн в УФ-диапазоне:
  - УФ-А (320-400 нм);
  - УФ-В (280-320 нм);
  - УФ-С (200-280 нм)

$\mu\text{Watt}/\text{cm}^2/\text{nm}$



- В работе изучено влияние УФ (А+В) излучения на функцию ФС2 в листьях ячменя с использованием стационарной флуоресценции хлорофилла.

- Облучение дозами УФ (А+В):

- 35 кДж/м<sup>2</sup> (5 УФ-В и 30 УФ-А);
- 70 кДж/м<sup>2</sup> (12 УФ-В и 58 УФ-А);
- 105 кДж/м<sup>2</sup> (18 УФ-В и 87 УФ-А).



Амплитудно-импульсный флуориметр Junior-PAM

- Прибор - амплитудно-импульсный флуориметр Junior-PAM (Walz Inc., Effeltrich, Germany).

- Параметры флуоресценции хлорофилла:

1. максимальный фотохимический квантовый выход ФС2,  $F_v/F_m$ ;
2. коэффициент фотохимического тушения,  $q_P$ ;
3. коэффициент нефотохимического тушения,  $q_N$ .

$F_v/F_m$

■ 0 сутки ■ 30 сутки

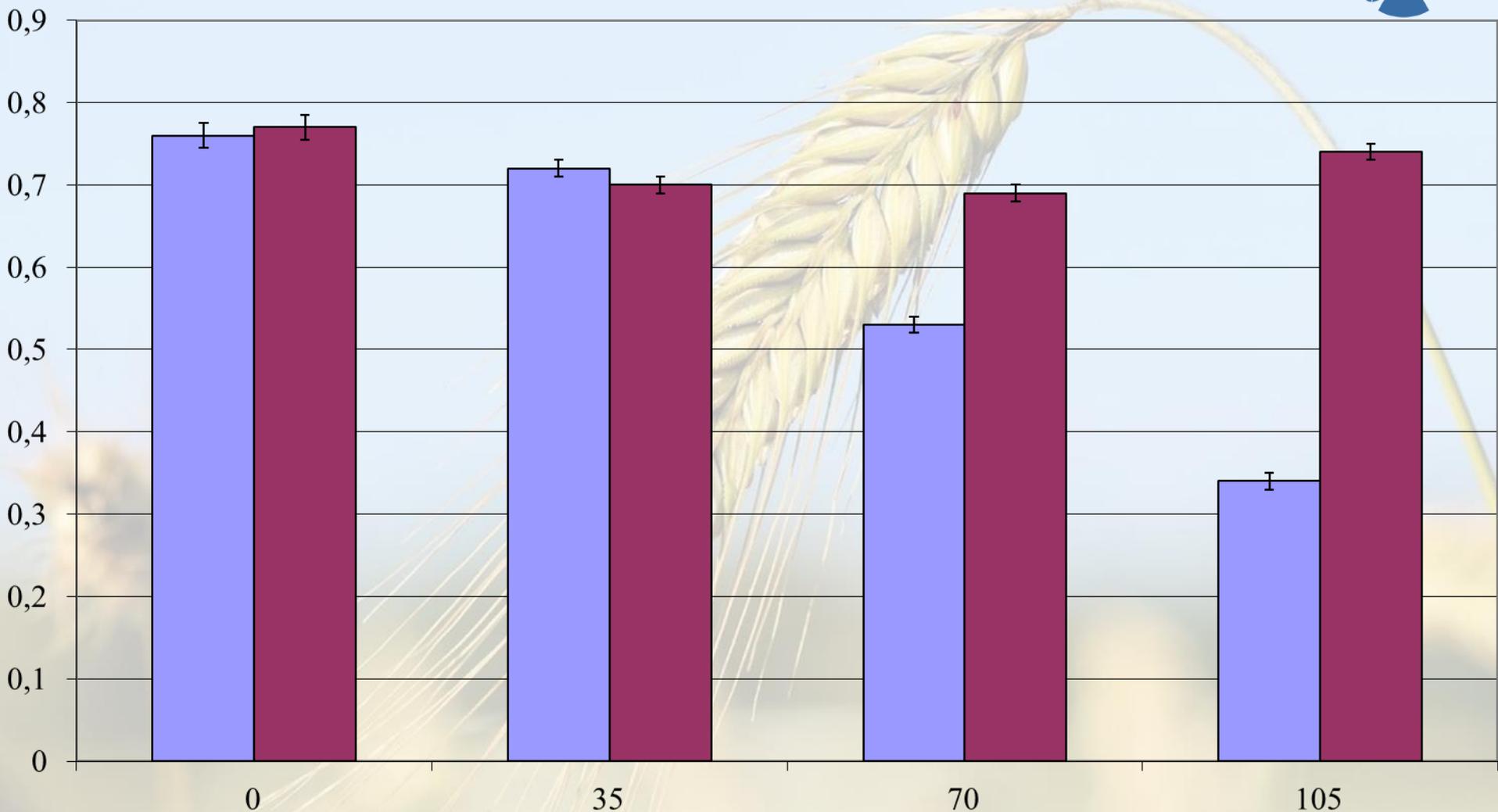
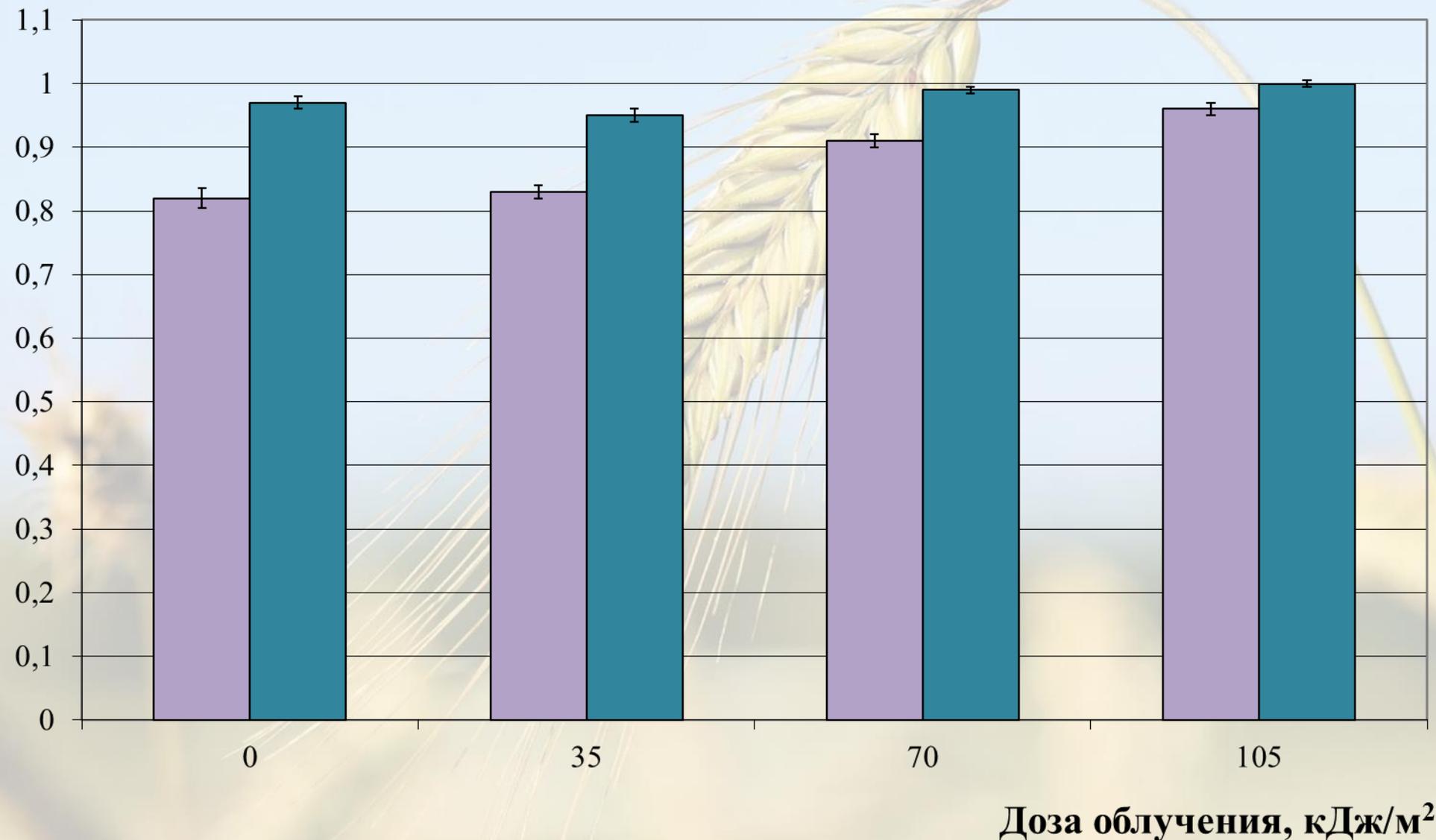


Диаграмма 1. Влияние УФ (А+В) излучения на максимальный фотохимический квантовый выход ФС2 в листьях ячменя сразу после облучения и спустя 30 дней

qP

■ с актиничным светом

■ без актиничного света



Доза облучения, кДж/м<sup>2</sup>

Диаграмма 2. Влияние УФ (А+В) излучения на фотохимическое тушение в листьях ячменя сразу после облучения

qP

■ с актиничным светом ■ без актиничного света

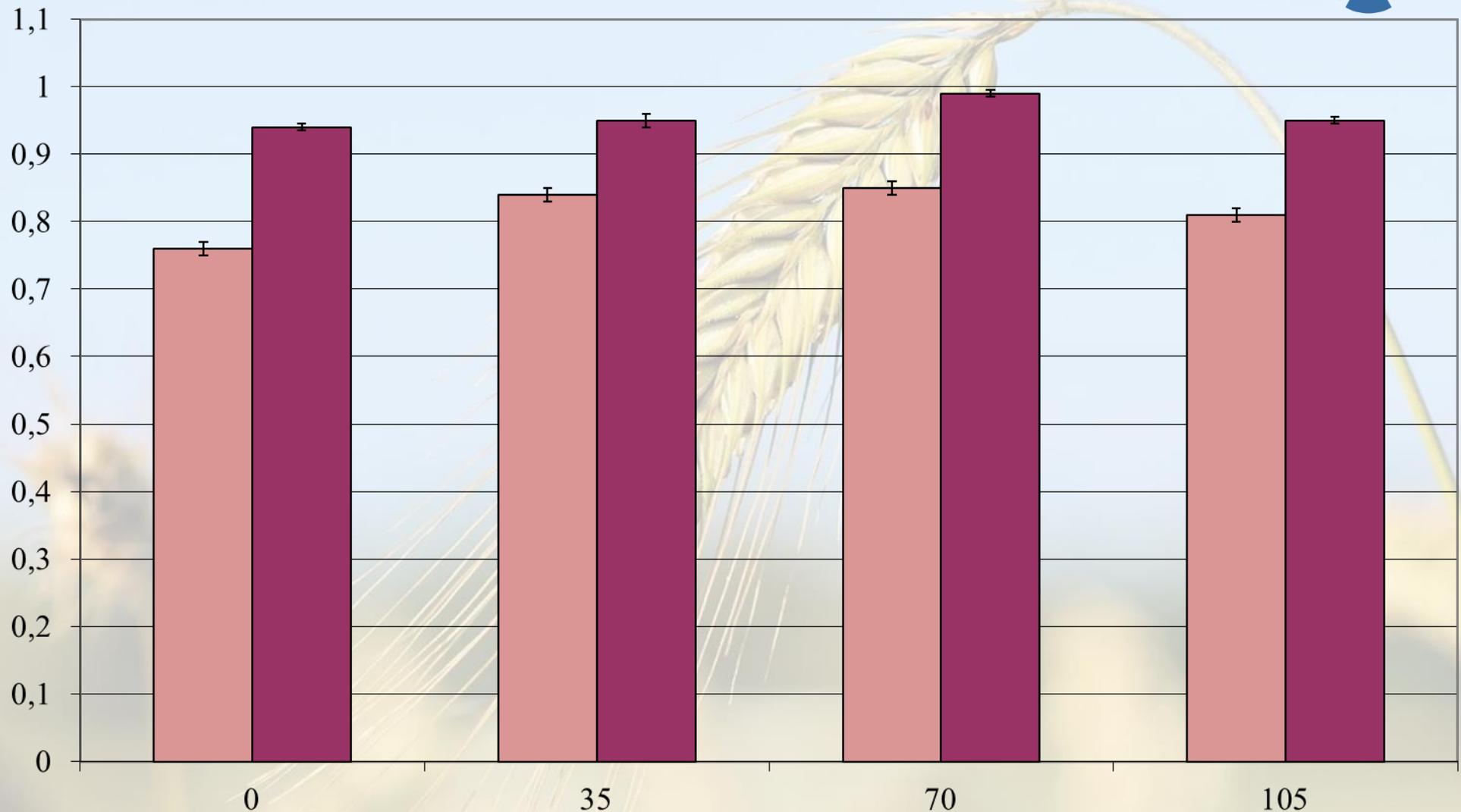
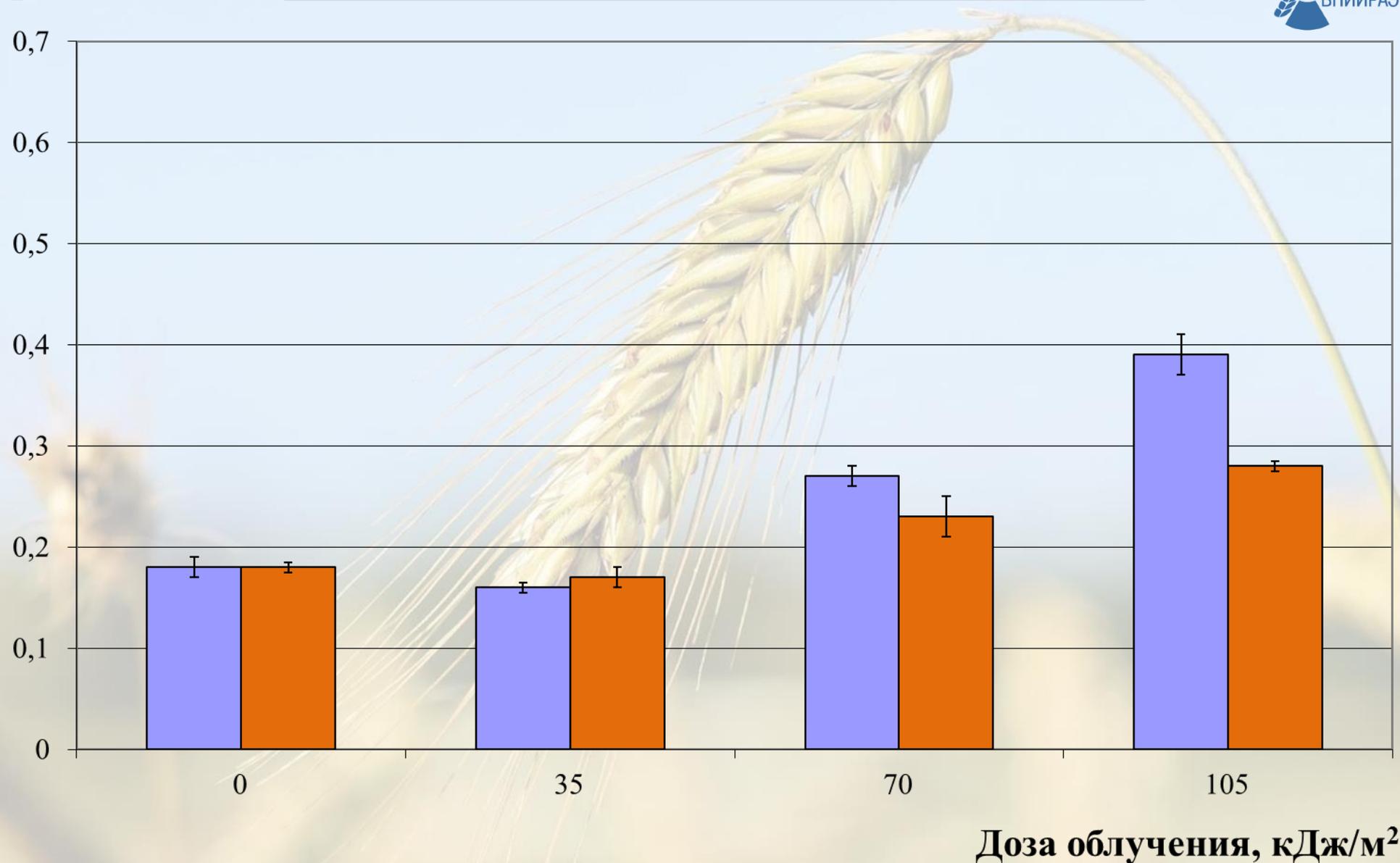


Диаграмма 3. Влияние УФ (А+В) излучения на фотохимическое тушение в листьях ячменя через 30 дней

qN

■ с актиничным светом

■ без актиничного света



Доза облучения, кДж/м<sup>2</sup>

Диаграмма 4. Влияние УФ (А+В) излучения на нефотохимическое тушение в листьях ячменя сразу после облучения

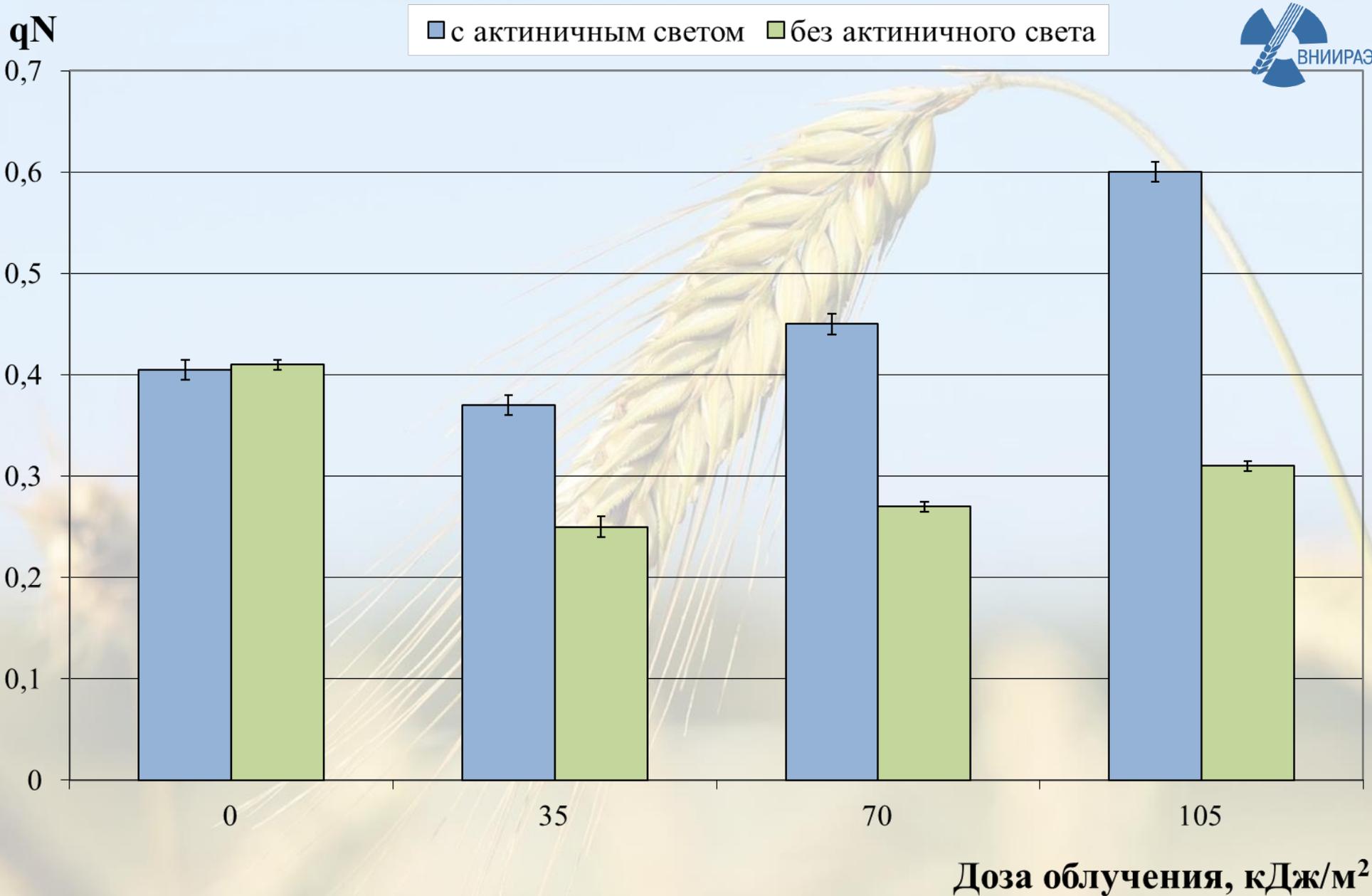
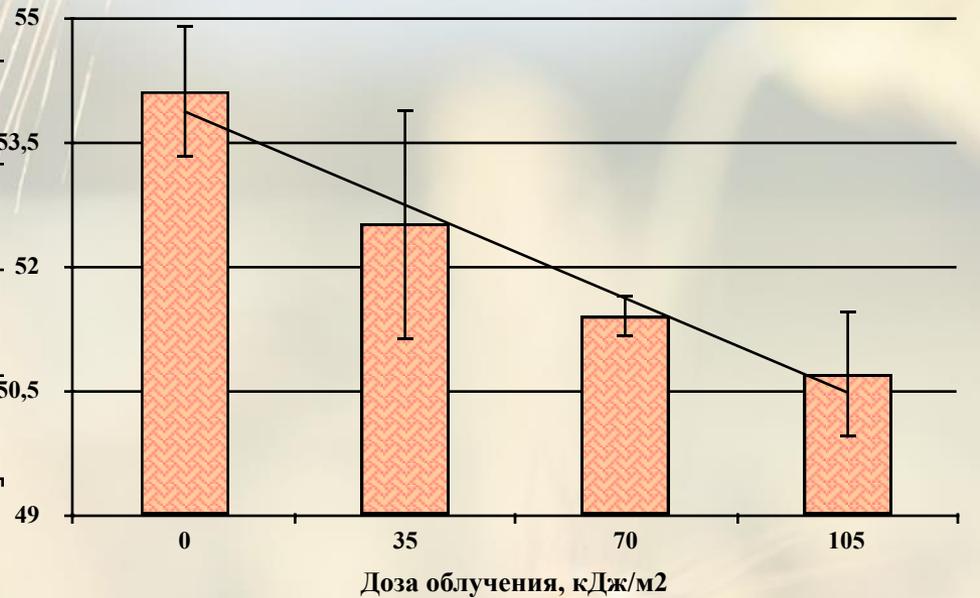
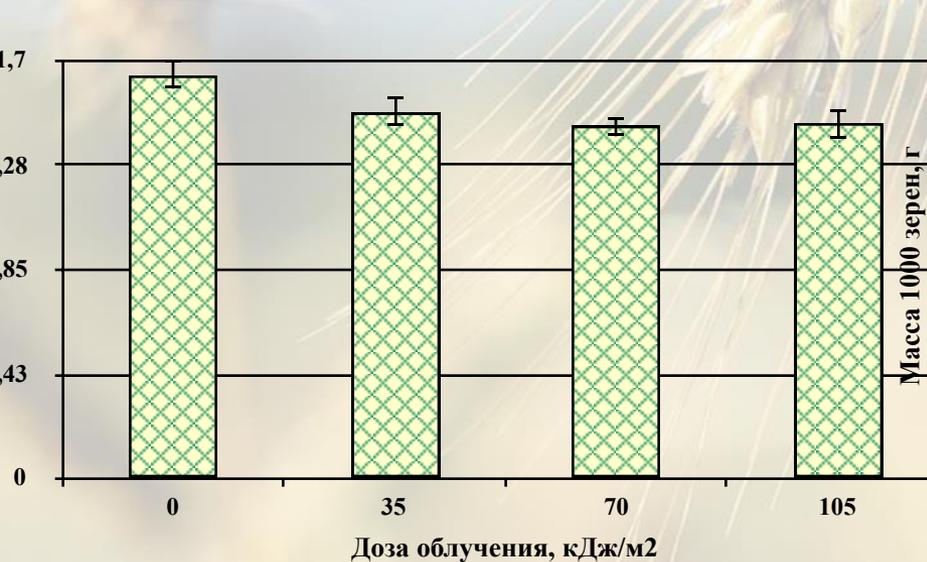
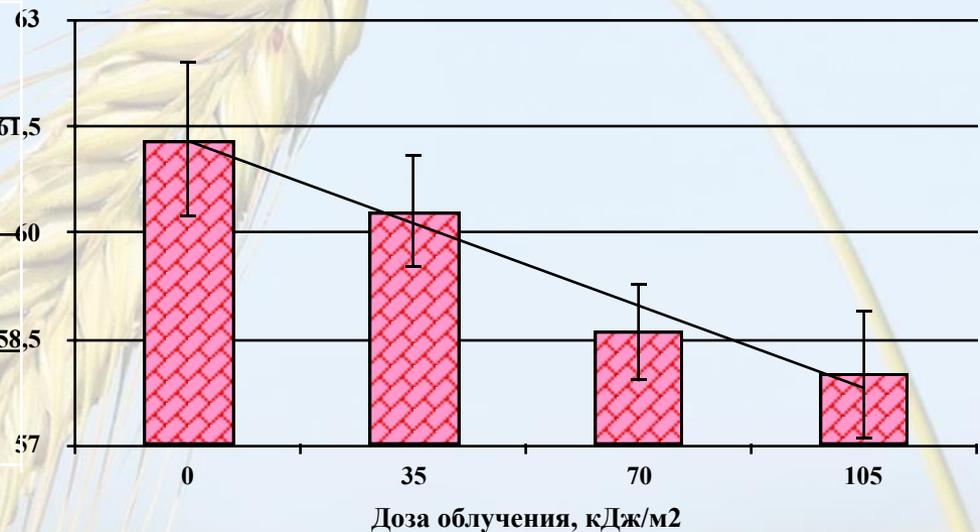
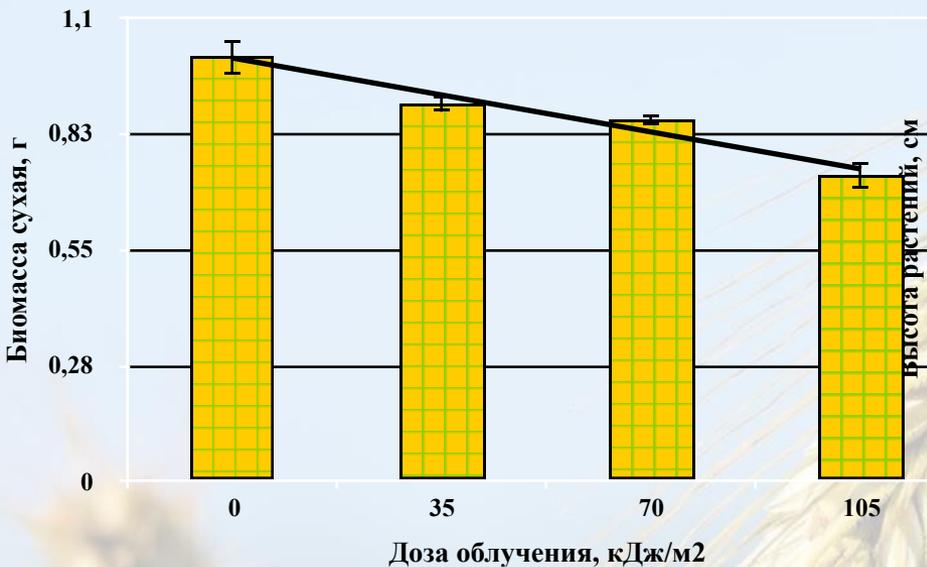


Диаграмма 5. Влияние УФ (А+В) излучения на нефотохимическое тушение в листьях ячменя через 30 дней

Диаграмма 6. Влияние острого УФ (А+В) излучения на морфологические показатели растений ячменя



1. Первичное воздействие УФ на растения осуществляется через повреждения компонентов ФС2.
2. Выявлены дозозависимые изменения в функционировании компонентов ФС2 сразу после облучения УФ: показатели  $Fv/Fm$ ,  $qP$ ,  $qN$ .
3. Изменения в системе тепловой диссипации света излишней интенсивности сохраняются даже спустя 30 суток: показатель  $qN$ .
4. Выявлено дозозависимое снижение морфологических показателей. Для максимальной дозы УФ  $105 \text{ кДж/м}^2$  снижение составило:
  - биомассы – на 28 %;
  - высоты растений – на 5%;
  - урожая зерна – на 13%;
  - массы 1000 зерен – на 7%.

**Спасибо за  
внимание!**