

УДК 58.085:633.1:58.035

## ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ИТТЕРБИЕВОГО ЛАЗЕРА НА ПРОРАСТАНИЕ И ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЕ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

<sup>1</sup>Бурдышева О.В., <sup>1</sup>Шолгин Е.С., <sup>2</sup>Костина К.А., <sup>2</sup>Баяндин Д.В., <sup>1</sup>Ременникова М.В.

<sup>1</sup>Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения  
Российской академии наук, лаборатория агробиофотоники, Пермь,  
e-mail: burdyshevaolga@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,  
Пермь, e-mail: baya260861@yandex.ru

Применение наукоемких технологий способствует существенному повышению эффективности сельскохозяйственного производства. Одним из перспективных направлений исследований является предпосевная обработка семян электромагнитным излучением, относящимся к различным частям спектра. В соответствии с представленными в научных публикациях данными инфракрасное и ультрафиолетовое излучение способствуют повышению всхожести семян и интенсивности развития растений, увеличению урожайности и сопротивляемости неблагоприятным воздействиям различной природы, оказывают благотворное влияние на биохимический состав плодов и их устойчивость при хранении. Встречаются противоречия между результатами различных исследований, в связи с чем проблема заслуживает дальнейшего изучения. Настоящая работа посвящена изучению влияния инфракрасного излучения иттербиевого лазера на морфологические признаки прорастания семенного материала сельскохозяйственных культур. Предложены и рассчитаны три оптические схемы экспериментальной установки. Две из них реализованы и использованы для достижения целей исследования. Исследовано влияние лазерного излучения с длиной волны 1080 нм на всхожесть семян восьми видов и влагопоглощение шести видов растений. Рассмотрены варианты различной продолжительности обработки и различной мощности излучения. Полученные данные не позволяют сделать однозначных выводов о влиянии инфракрасной лазерной обработки семян на их прорастание. С увеличением продолжительности облучения прослеживается слабая тенденция к ухудшению результатов по прорастанию. На влагопоглощение такая обработка влияет в целом положительно, но очень слабо. Увеличение продолжительности и мощности облучения приводит к снижению влагопоглощения.

**Ключевые слова:** прорастание семян, влагопоглощение семян, когерентное излучение, иттербиевый лазер

## EFFECT OF YTTERBIUM LASER RADIATION ON GERMINATION AND MOISTURE ABSORPTION OF SEED MATERIAL OF AGRICULTURAL CROPS

<sup>1</sup>Burdysheva O.V., <sup>1</sup>Sholgin E.S., <sup>2</sup>Kostina K.A., <sup>2</sup>Bayandin D.V., <sup>1</sup>Remennikova M.V.

<sup>1</sup>Perm Federal Research Center of Ural Branch of Russian Academy of Sciences,  
Laboratory of Agrobiophotonics, Perm, e-mail: burdyshevaolga@gmail.com;

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: baya260861@yandex.ru

The use of science-intensive technologies contributes to a significant increase in the efficiency of agricultural production. The pre-sowing treatment of seeds with electromagnetic radiation belonging to different parts of the spectrum is one of the promising areas of research. In accordance with the data presented in scientific publications, infrared and ultraviolet radiation contribute to an increase in seed germination, intensity of plant development, yield and resistance to adverse effects of various nature. It also has a beneficial effect on the biochemical composition of fruits and their storage stability. There are some contradictions between the results of various studies, this is why the problem deserves further research. This work examines the effect of infrared radiation of a ytterbium laser on the morphological signs of the germination of seed material of agricultural crops. Three optical schemes of the experimental setup are suggested and calculated. Two of them have been implemented and used to achieve the objectives of the study. The influence of laser radiation with a wavelength of 1080 nanometers on the germination of seeds of eight plant species and the moisture absorption of six species was studied. Different treatment duration and different radiation power were considered. The data obtained do not allow to draw unambiguous conclusions about the effect of infrared laser treatment on seeds germination. An increase in the irradiation duration tends to worsen the germination result. Generally, such treatment positively affects moisture absorption, however, very weakly. An increase in the duration and power of irradiation leads to a decrease in moisture absorption.

**Keywords:** seed germination, seed moisture absorption, coherent radiation, ytterbium laser

За последнее столетие в мире произошли радикальные сдвиги в решении проблемы повышения эффективности сельского хозяйства и обеспечения населения продуктами питания. Интенсивная научная и технологическая деятельность в решении широкого комплекса задач велась по самым

различным направлениям. Одно из таких направлений связано с изучением биологического действия на растения, их семена и плоды электромагнитных полей и излучения оптического диапазона [1, 2]; появились работы, посвященные исследованию соответствующих физико-химических ме-

ханизмов [3, 4]. В частности, значительные ожидания связаны с эффектом от обработки посадочного материала сельскохозяйственных культур лазерным излучением с длиной волны из инфракрасной (например, [5–7]) и ультрафиолетовой (например, [8, 9]) частей спектра.

Результаты анализа многочисленных работ, посвященных влиянию облучения на всхожесть семян, как правило, говорят, что соответствующая обработка дает положительные результаты. Например, в работе [6] для ИК-сушки использовались различные излучатели: «ELSER» с длиной волны 3,3 мкм, лампы «КГТ» – 1,45 мкм и «OSRAM» – 1,1 мкм. Наибольший стимулирующий эффект наблюдался у ламп OSRAM с излучением в ближней инфракрасной (ИК) области спектра. Представленные данные показали, что всхожесть семян, высушенных ИК-способом, для семян овощных культур в зависимости от типа излучателя увеличивается в среднем на 11–24%. В другой работе, посвященной изучению влияния ИК-излучения [7], сообщается, что обработка дражированных семян лазерным излучением низкой интенсивности положительно влияет на урожай сахарной свеклы. Облученные семена опережают контрольные во всходах, прирост содержания сахара составляет более 15%.

Исследования влияния ультрафиолетового (УФ) облучения на зерна пшеницы в работе [8] проводились со светом ртутно-кварцевой лампы. Эксперименты показали, что ультрафиолетовое излучение стимулирует всхожесть и ускоряет развитие проростков пшеницы. При малых дозах облучения влияние ультрафиолета проявляется в повышении вегетативной массы и длины зеленых проростков. Указывается, что УФ-облучение зерен пшеницы повышает содержание в них антиоксидантов. С другой стороны, в работе [9] делается вывод, что облучение семян пшеницы ультрафиолетом в течение 5 и 30 мин незначительно меняет всхожесть и энергию прорастания – на 1–3%. Таким образом, в известных нам данных обнаруживаются противоречия, так что вопрос влияния лазерного излучения на развитие семян сельскохозяйственных культур нельзя считать в полной мере изученным.

Цель исследования состояла в том, чтобы определить, как облучение в инфракрасной части спектра, проведенное в ходе предпосевной обработки семенного материала, влияет на его прорастание и влагопоглощение.

## Материалы и методы исследования

Эксперименты проводились на базе лаборатории агробиофотоники Пермского федерального исследовательского центра (ПФИЦ) УрО РАН. Семенной материал для исследований был предоставлен лабораторией агротехнологий Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства (НИИ СХ) ПФИЦ УрО РАН.

Методика проведения эксперимента, соответствующая ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести», была разработана совместно с сотрудниками Пермского НИИ СХ.

В качестве источника когерентного излучения использовался иттербиевый лазер с длиной волны 1080 нм с возможностью регулирования его выходной оптической мощности. Экспериментальная установка состояла из лазера с блоком питания; персонального компьютера, с которого при помощи специализированного программного обеспечения задавались параметры излучения, генерируемого лазером. Это излучение рассеивалось с торца пигтейла, закрепленного на держателе таким образом, чтобы обеспечивалось полное покрытие световым потоком кюветы, в которой размещался облучаемый семенной материал. Мощность лазера и расстояние от торца пигтейла до кюветы использовались в расчете площади модового пятна на облучаемой поверхности и плотности мощности излучения.

По всей площади кюветы следовало создать одинаковую освещенность. С этой целью были предложены и рассчитаны три оптические схемы: а) с непосредственным облучением кюветы с торца пигтейла (числовая апертура 0,22, половинный угол расходимости 12,7°); б) с отраженным от зеркала также расходящимся пучком; в) с использованием системы линз, дающих параллельный пучок. Реализованы были две первые схемы; в соответствии с расчетами степень неоднородности освещенности для лучшей из этих двух схем не превышала 5%; в схеме, которую пока не удалось реализовать, эта величина должна была снизиться до менее чем 1%.

Так как спектральный состав излучения влияет на развитие семян и растений, был определен спектр используемого лазера. Оказалось, что он излучает в узком интервале длин волн вблизи 1080 нм; полуширина пика по точкам половинной мощности составляла около 6 нм.

Известно, что на прорастание семенного материала влияет большое количество факторов окружающей среды, таких как температура, освещенность, влажность и т.д. Вариации этих параметров зашумляют результаты экспериментов, поэтому методически правильно проводить облучение сопоставляемых образцов семенного материала в течение одного дня.

В ходе подготовки кювет для семян их оборачивали слоем фольги для предупреждения паразитной засветки. Следуя методике [4], в кювету укладывали сложенную в три слоя марлю, которая после смачивания формировала питательную среду для семян. В каждую кювету укладывали 100 семян одной из исследуемых культур, располагая их равномерно, без наложений друг на друга, с тем, чтобы семена получали одинаковую дозу облучения.

Во всех экспериментах сравнивали результаты для четырех групп кювет – облучавшихся 1, 3 и 5 мин, а также контрольных, не подвергавшихся облучению.

Для исследования влияния лазерного излучения на всхожесть семян были взяты восемь различных сельскохозяйственных культур: 1 – ячмень Родник Прикамья некондиционный, 2 – голозерный овес Першерон, 3 – пшеница, 4 – овес Стайлер, 5 – клевер Луговой Лобановский, 6 – лен Масличный уральский, 7 – горчица, 8 – ячмень Родник Прикамья кондиционный. Для набора статистики и получения значения отклонения проводилось пять серий экспериментов; в рамках каждой серии использовали по четыре кюветы для каждого из восьми видов семян. Ниже представлены результаты, усредненные по всем сериям.

Исследование проводили с использованием Уб-лазера при освещенности 113,23 и 509,55 Вт/м<sup>2</sup>. После облучения содержимое кювет поливали водой из расчета 10 мл на 100 семян. Подсчет количества проросших семян проводился спустя 24, 48 и 72 ч после облучения. По результатам подсчетов определяли долю проросших семян от их общего количества, строили диаграммы, отражающие зависимость доли проросших семян от длительности облучения в абсолютных значениях и в процентном соотношении с контрольной группой.

Для исследования влияния лазерного излучения на влагопоглощение семян было отобрано шесть видов сельскохозяйственных культур: 1 – ячмень Родник Прикамья некондиционный, 2 – ячмень Родник Прикамья кондиционный, 3 – голозерный овес

Першерон, 4 – пшеница, 5 – овес Стайлер, 6 – горох. Как и при исследовании прорастания семян, в каждой из пяти серий экспериментов использовали по четыре кюветы; в них укладывали по 10 г зерен для каждого вида растений. Продолжительность лазерной обработки сохраняли ту же: 1, 3 и 5 мин.

Семена в каждой кювете предварительно взвешивали; взвешивание проводили согласно ГОСТ 11913-66 «Зерновые культуры. Норма точности взвешивания». После облучения семенной материал поливали из расчета 20 мл воды на 10 г. Контроль влагопоглощения проводили путем взвешивания семян, высушенных бумажными салфетками, спустя 2 и 24 ч после облучения. Для визуализации результатов строили диаграммы, отражающие зависимости от продолжительности облучения для разницы относительного прироста массы в экспериментальных и контрольных образцах.

#### Результаты исследования и их обсуждение

*Прорастание.* Результаты исследования влияния лазерного облучения на всхожесть семенного материала оценивали, сравнивая количество проросших зерен в образцах, подверженных облучению, и в контрольных образцах. Усредненные по пяти сериям экспериментов результаты через 72 ч после облучения при плотности мощности 113,23 Вт/м<sup>2</sup> и 509,55 Вт/м<sup>2</sup> представлены на рис. 1 и 2. Для разницы между долями проросших семян в экспериментальных и контрольных группах можно проследить зависимость от продолжительности облучения.

Приведенные данные показывают, что инфракрасное лазерное излучение по-разному влияет на прорастание семенного материала в зависимости от культуры.

Вне зависимости от мощности излучения наибольший прирост проросших семян показал голозерный овес Першерон; лазерная обработка в течение 1 мин способствовала увеличению прорастания на 11% по сравнению с контрольной группой. Наиболее сильное негативное влияние наблюдалось для семян ячменя Родник Прикамья (уменьшение прорастания до 19%).

Для остальных культур эффект не вполне отчетливый, но в целом прослеживается тенденция к ухудшению результата с увеличением продолжительности облучения. С учетом того, что разброс результатов в контрольной группе составлял 5–7%, говорить об определенном влиянии ИК излучения на прорастание семян нет оснований.

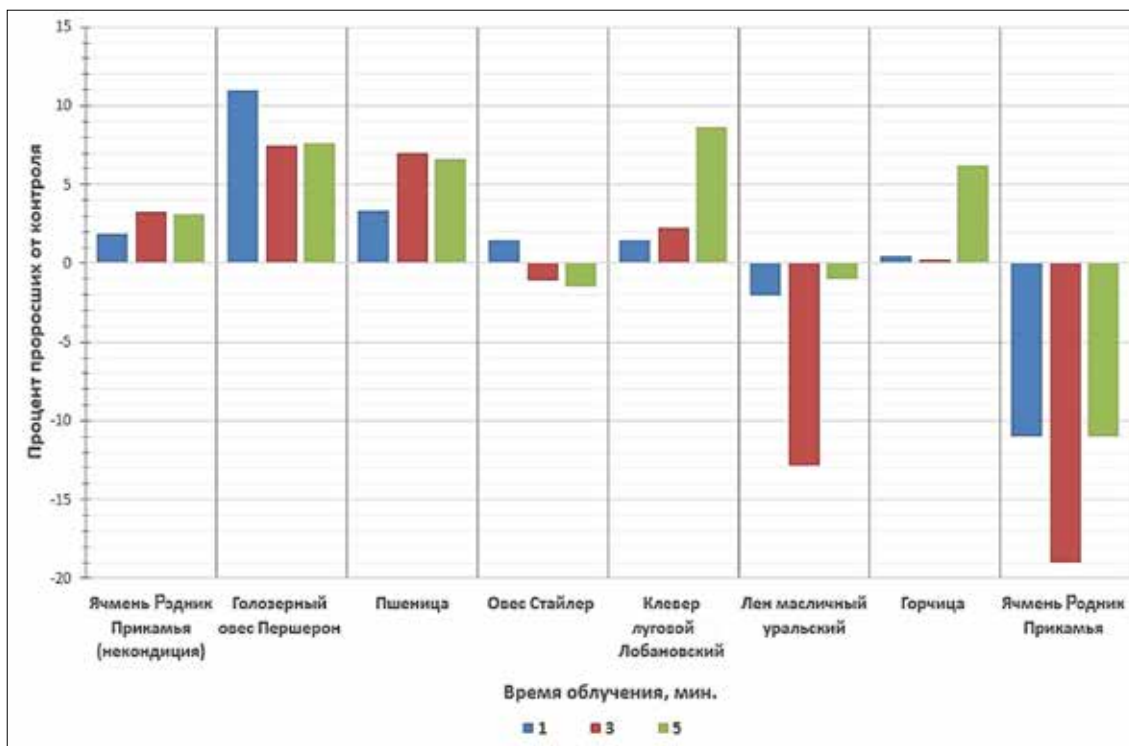


Рис. 1. Разница доли проросших семян в экспериментальных и контрольной группах: зависимость от продолжительности облучения; плотность мощности 113,23 Вт/м²

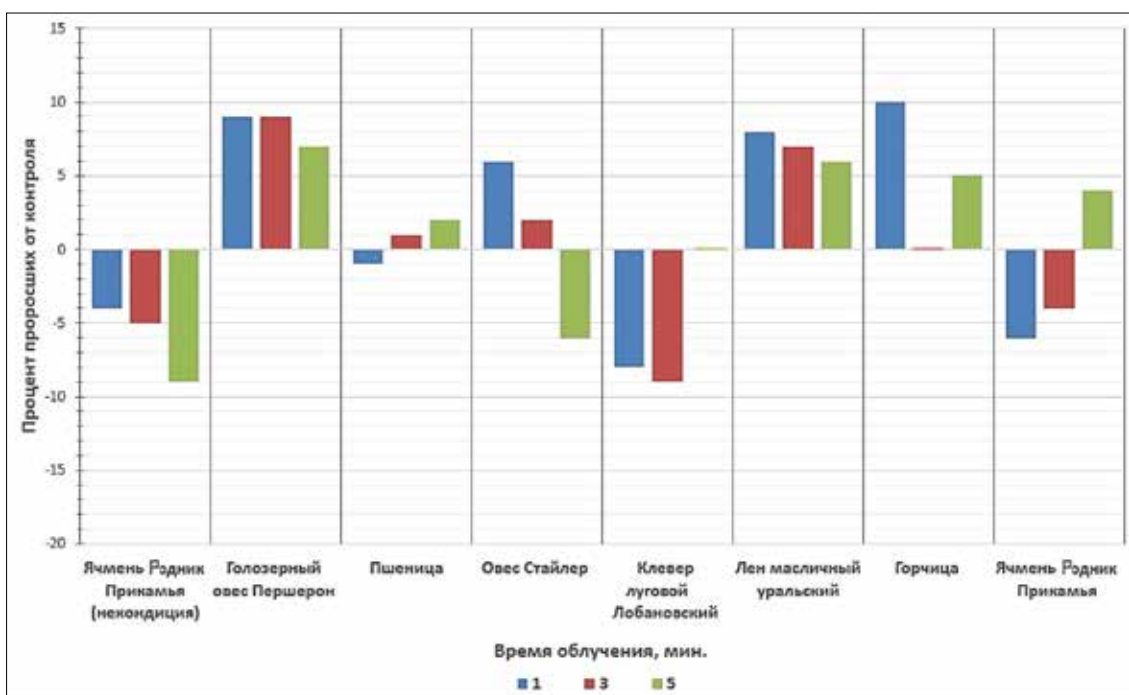


Рис. 2. Разница доли проросших семян в экспериментальных и контрольной группах: зависимость от продолжительности облучения; плотность мощности 509,55 Вт/м²

**Влагопоглощение.** Анализируя данные по приросту массы образцов, можно сделать вывод, что все виды семян впитывают вла-

гу в количестве примерно половины своей массы, за исключением ячменя Родник Прикамья и пшеницы. Горох впитывает практи-

чески 100% от своей массы. Схожие результаты получены при плотности мощности облучения 96,25 Вт/м<sup>2</sup> и 509,55 Вт/м<sup>2</sup>. Поэтому можно предположить, что мощность облучения влияет на результат несущественно. Более того, сравнение экспериментальных и контрольных групп не обнаруживает систематических изменений.

В целом оказалось, что за первые два часа после облучения и замачивания семена увеличивают свою массу приблизительно на 12–23%, за сутки они впитывают немногим большее количество влаги. Таким образом, за первые часы семена поглощают основную часть воды, а в дальнейшем «добирают до своей нормы».

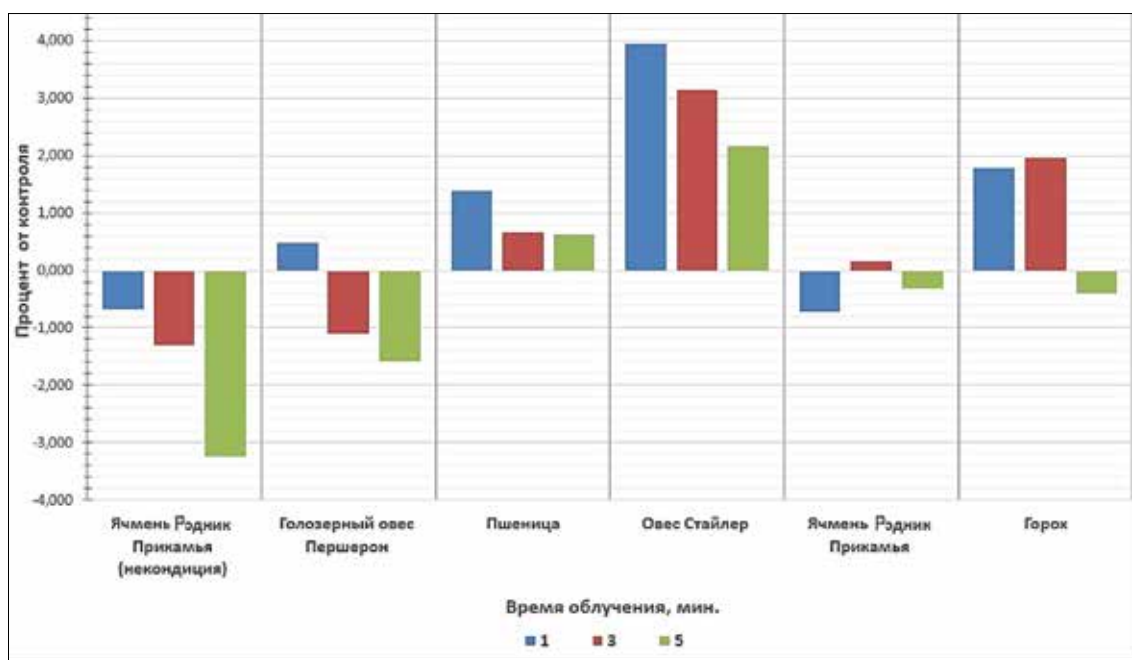


Рис. 3. Разница относительного прироста массы облученных семян (в %) по сравнению с образцами контрольной группы через 2 ч при плотности мощности 96,25 Вт/м<sup>2</sup>

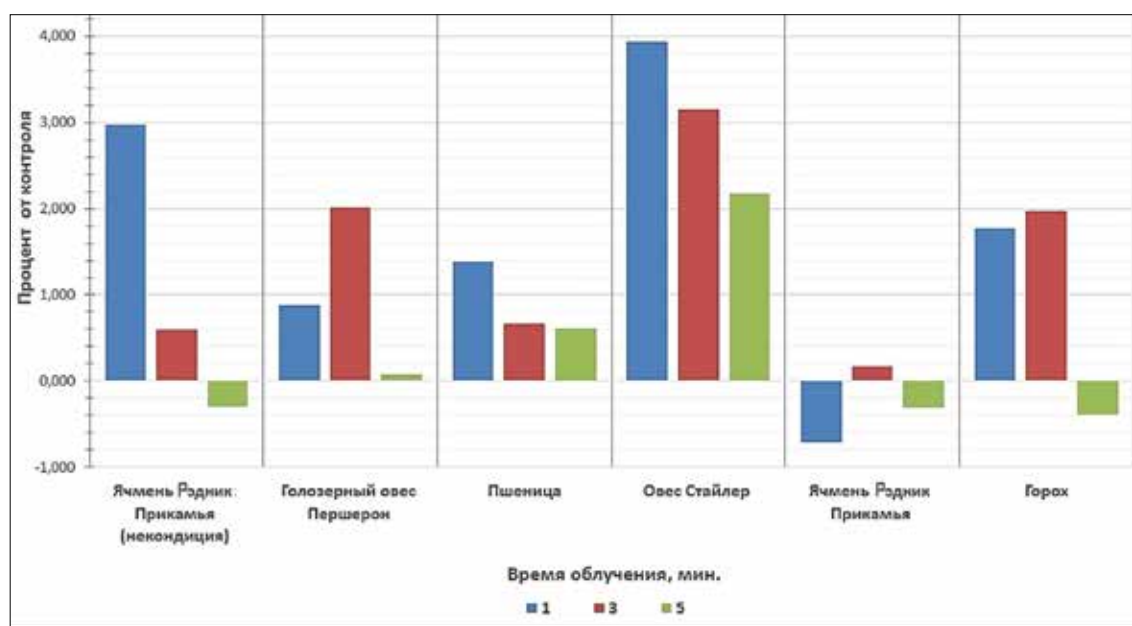


Рис. 4. Разница относительного прироста массы облученных семян (в %) по сравнению с образцами контрольной группы через 24 ч при плотности мощности 96,25 Вт/м<sup>2</sup>

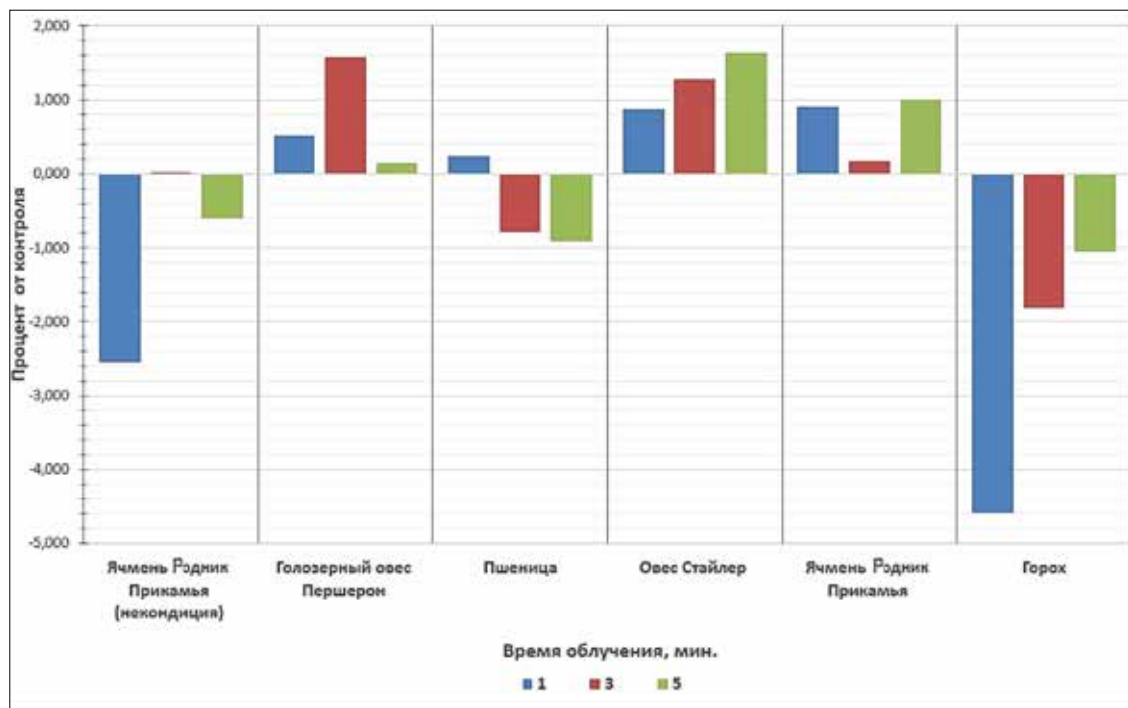


Рис. 5. Разница относительного прироста массы облученных семян (в %) по сравнению с образцами контрольной группы через 24 ч при плотности мощности 509,55 Вт/м<sup>2</sup>

Теперь сравним влагопоглощение в экспериментальных и контрольных группах образцов. Влияние лазерного облучения оценивали, сравнивая массу зерен в кюветках, подвергавшихся и не подвергавшихся обработке.

Результаты при плотности мощности 96,25 Вт/м<sup>2</sup>, усредненные по пяти сериям экспериментов, представлены на рис. 3 и 4. На диаграммах представлена разница между относительным увеличением массы семян в экспериментальных и контрольных группах в зависимости от продолжительности облучения и времени замачивания в воде.

Практически по всем позициям (видам растений и продолжительности облучения), кроме ячменя Родник Прикамья, наблюдается усиление влагопоглощения при замерах через 24 ч, несмотря на некоторое снижение этого показателя по сравнению с контрольными группами при замерах через 2 ч. При этом увеличение экспозиции в большинстве случаев приводит к ухудшению результатов.

При увеличении мощности излучения до 509,55 Вт/м<sup>2</sup> происходило уменьшение влагопоглощения, что видно из сравнения данных на рис. 4 и 5.

Во всех случаях изменение обсуждаемого показателя составляло, как правило,

2–3%, что сопоставимо с оценками экспериментальной погрешности.

### Заключение

Полученные данные не позволяют сделать однозначных выводов о влиянии ИК-лазерной обработки семян на их прорастание. С увеличением продолжительности облучения прослеживается слабая тенденция к ухудшению результата.

На влагопоглощение такая обработка влияет в целом положительно, но очень слабо. Увеличение продолжительности и мощности облучения дает ухудшение результатов.

Следует, однако, отметить, что в описанных экспериментах не выполнялось строгое термостатирование образцов и что речь идет о длине волны излучения 1080 нм.

Дальнейшие эксперименты планируется посвятить изучению других эффектов от обработки семян лазерным излучением: его возможности обеззараживания зерновых культур от фитопатогенных грибов, влиянию на биохимический состав проростков и на урожайность.

Работа выполнена в рамках государственного задания, номер государственной регистрации НИОКТР 122031100058-3.

**Список литературы**

1. Зубова Р.А., Бастрон А.В., Кожухов В.А. Обоснование режимов предпосевной обработки семян с твердой оболочкой ультразвуком и электромагнитным полем сверхвысокой частоты. Красноярск, 2018. 140 с.
2. Газалов В.С., Пономарёва Н.Е., Беленов В.Н. Оптическая система предпосевной обработки семян // Вестник аграрной науки Дона. 2018. С. 21–30.
3. Долговых О.Г., Красильников В.В., Газдинов Р.Р. Оптимизация лазерной предпосевной обработки семян зерновых культур. Ижевск, 2014. 122 с.
4. Будаговский А.В. Дистанционное межклеточное взаимодействие. М.: НИПЦ «Техника», 2004. 104 с.
5. Гаджимусиева Н.Т., Асварова Т.А., Абдулаева А.С. Эффект воздействия инфракрасного и лазерного излучения на всхожесть семян пшеницы // Фундаментальные исследования. 2014. № 11. С. 1939–1943.
6. Григорьев И.В. Импульсная инфракрасная сушка семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений: дис. ... канд. электротехн. наук: 05.20.02. Москва, 2010. 222 с.
7. Брижанский Л.В. Обоснование параметров стратификации дражированных семян сахарной свеклы низкоинтенсивным лазерным излучением: дис. ... канд. электротехн. наук: 05.20.02. Мичуринск, 2015. 261 с.
8. Рогожин Ю.В., Рогожин В.В. Технология предпосевного УФ-облучения зерен пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 6. С. 9–14.
9. Тертышева Ю.В., Левина Н.С., Елизарова О.В. Воздействие ультрафиолетового излучения на всхожесть и ростовые процессы семян пшеницы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 2. С. 31–36.