

УДК: 633.11: 581.142:581.48: 621.373.8

# Предпосевная оптическая обработка семян зерновых культур на примере озимой ржи «Фаленская 4»

<sup>1</sup> ООО «Научно-исследовательский институт «Агролазер»», г. Ижевск, Республика Башкортостан

<sup>2</sup> Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Республика Башкортостан

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Крылов Олег Николаевич

E-mail: olkrilov@rambler.ru

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:**  
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

## для цитирования:

Крылов, О. Н., Киселев, М. М., Решетников, А. Е., & Абашева, О. Ю. (2023). Предпосевная оптическая обработка семян зерновых культур на примере озимой ржи «Фаленская 4». *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 214–230. <https://doi.org/10.36107/spfr.2023.439>

ПОСТУПИЛА: 04.04.2023

ПРИНЯТА: 23.07.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.07.2023

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



О. Н. Крылов<sup>1</sup>, М. М. Киселев<sup>1</sup>, А. Е. Решетников<sup>1</sup>, О. Ю. Абашева<sup>2</sup>

## АННОТАЦИЯ

**Введение:** В современных интенсивных технологиях растениеводства большое внимание уделяется химическим способам предпосевной обработки семян. При этом игнорируется отрицательное влияние такой обработки на энергию прорастания и всхожесть семян, что заставляет помимо протравителей ещё и применять дополнительно стимуляторы роста и развития растений. Альтернативное решение – применение когерентного излучения мощностью до 100 мВт. Ранее проведённые исследования на многих сельскохозяйственных культурах подтверждают стимулирующий эффект лазерного излучения (фотоактивации) на первоначальный рост и развитие растений. Однако дальнейшее влияние фотоактивации мало изучено. В данной работе показано развитие растений озимой ржи «Фаленская 4» после лазерной предпосевной обработки от всходов до уборки урожая.

**Цель:** Проверить ранее разработанную методику предпосевной оптической обработки семян, оценить эффективность такой обработки, подобрать наиболее оптимальные режимы, спроектировать оборудование на современной элементной базе, используя в качестве источников когерентного излучения полупроводниковые диоды.

**Материалы и методы:** Исследования реализовывались в 2018–2022 гг. в лаборатории ООО «НИИ «Агролазер» и на полях хозяйств Удмуртской Республики. В качестве материалов использовались семена озимой ржи «Фаленская 4». Источником когерентного излучения служила установка «Луч-5» с регулируемой мощностью излучателей. Экспозиции лазерной обработки устанавливались в соответствии с планом эксперимента. Контролем служили семена без лазерной предпосевной обработки.

**Результаты:** На момент уборки в вариантах с обработкой семян лазерным излучением отмечено, что (1) ранее разработанная методика предпосевной оптической обработки семян подтвердила свою эффективность – режимы такой обработки сохраняют свое влияние вне зависимости от состояния семян, места их происхождения. Эффект прироста урожайности озимой ржи «Фаленская 4» получен на одних и тех же режимах работы установки «Луч-5» вне зависимости от прочих факторов; (2) предпосевная лазерная обработка семян оказывает своё воздействие на весь период вегетации, отмечено существенное улучшение показателей развития растений начиная от посева и заканчивая уборкой; (3) растения озимой ржи после предпосевной лазерной обработки семян условия засухи переносят существенно лучше; (4) количество продуктивных стеблей возросло, что обеспечивается увеличением полевой всхожести семян, кушения в ходе развития растений и позволяет существенно снизить норму высева и, соответственно, затраты на производство продукции растениеводства; (5) как результат после предпосевной лазерной обработки семян увеличивается урожайность сельскохозяйственных культур. (6) увеличение урожайности культур без существенного роста затрат на возделывание ощутимо снижает затраты на производство продукции растениеводства.

**Выводы:** Полученные данные позволяют рекомендовать технологию предпосевной обработки, основанную на применении когерентного излучения, для семян озимой ржи «Фаленская 4» с целью увеличения урожайности сельскохозяйственных культур и снижения затрат на производство продукции растениеводства.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

семена, озимая рожь «Фаленская 4», лазерная обработка, морфометрические показатели, урожайность, себестоимость производства

# Pre-Sowing Optical Treatment of Seeds of Grain Crops on the Example of Winter Rye “Falenskaya 4”

<sup>1</sup> LLC «Research Institute “Agrolaser”», Izhevsk, Republic of Bashkortostan

<sup>2</sup> Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Republic of Bashkortostan

Oleg N. Krylov<sup>1</sup>, Michail M. Kiselyov<sup>1</sup>, Aleksandr E. Reshetnikov<sup>1</sup>, Olga Yu. Abasheva<sup>2</sup>

## CORRESPONDENCE:

Oleg N. Krylov

E-mail: olkrilov@rambler.ru

## FOR CITATIONS:

Krylov, O. N., Kiselyov, M. M., Reshetnikov, A. E., & Abasheva, O. Yu. (2023). Pre-sowing optical treatment of seeds of grain crops on the example of winter rye “Falenskaya 4”. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 214-230. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.439>

RECEIVED: 04.04.2023

ACCEPTED: 23.07.2023

PUBLISHED: 30.07.2023

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** In modern intensive technologies of the crop production, special attention is paid to chemical methods of the pre-sowing seed treatment. At the same time, the negative effect of such a treatment for the germination and the growth of seeds are ignored. So it is necessary to use plant growth and development stimulants additionally. The alternative solution method is the use of the coherent radiation with a power of up to 100 MW. Previously conducted studies of many agricultural crops confirm the stimulating effect of laser radiation (photo activation) for the initial growth and development of plants. However, the further effect of the photo activation has been little studied. This paper shows the development of winter rye plants «Falenskaya 4» after the laser pre-sowing treatment from the germination to harvesting.

**Purpose:** To develop and test the technique of the pre-sowing optical seed treatment, evaluate the effectiveness of such treatment, eliminate the effects associated with its instability, select the most optimal modes, design equipment on a modern element base using semiconductor diodes as sources of the coherent radiation.

**Materials and Methods:** The researches were carried out in 2018...2022 both in the laboratory of LLC «Research Institute «Agrolaser»» and in the fields of farms of the Udmurt Republic. Winter rye seeds «Falenskaya 4» provided by farms were taken as materials for these studies. The coherent radiation source was the Luch-5 installation with the adjustable power of the emitters. The exposure of the laser treatment was set in accordance with the experiment plan. Seeds without the laser pre-sowing treatment served as a control.

**Results:** At the time of the harvesting, the following was noted in the variants with the laser treatment of seeds: (1) Pre-sowing laser treatment retains its influence regardless of the condition of the seeds being processed, their place of the origin. The effect of the increase in the yield of winter rye «Falenskaya 4» was obtained on the same operating modes of the installation «Luch-5», regardless of other factors; (2) pre-sowing laser seed treatment has its effect on the entire growing season, there has been a significant improvement in plant development indicators from sowing to harvesting; (3) winter rye plants tolerate drought conditions significantly better after pre-sowing laser seed treatment; (4) the number of productive stems increased, which is provided by an increase in field germination of seeds, tillering during plant development and allows you to significantly reduce the seeding rate and, accordingly, the costs of the crop production; (5) as a result, after pre-sowing laser treatment of seeds, the yield of agricultural crops increases; (6) an increase in crop yields without a significant increase in cultivation costs significantly reduces the cost of the crop production.

**Conclusion:** The data obtained allow us to recommend the technology of pre-sowing treatment based on the use of coherent radiation for the seeds of winter rye “Falenskaya 4” in order to increase crop yields and reduce the cost of crop production.

## KEYWORDS

seeds, winter rye “Falenskaya 4”, laser treatment, morphometric indicators, yield, production cost

## ВВЕДЕНИЕ

В современных интенсивных технологиях растениеводства большое внимание уделяется химическим способам предпосевной обработки семян. При этом игнорируется отрицательное влияние такой обработки на энергию прорастания и всхожесть семян, что заставляет помимо собственно протравителей различного типа применять дополнительно стимуляторы роста и развития растений. Альтернативным методом решения в данном случае является применение когерентного оптического (лазерного) излучения (Инюшин с соавт., 1981; Долговых с соавт., 2007; Samiya et al., 2020). Ранее проведённые исследования на многих сельскохозяйственных культурах подтверждают стимулирующий эффект лазерного воздействия на первоначальный рост и развитие растений (Умаров & Инюшин, 1991; Будаговский, 2007; Долговых с соавт., 2009а; Долговых с соавт., 2009б; Крылов, 2017; Якобчук, 1989). Однако дальнейшее влияние фотоактивации мало изучено. В данной работе показано развитие растений озимой ржи «Фаленская 4» после лазерной предпосевной обработки от всходов до уборки урожая.

Метод предпосевной обработки семян зерновых культур оптическим когерентным излучением для повышения урожайности известен ещё с 70...80-х годов прошлого века. В те годы на базе армейских гелий-неоновых лазеров выпускались промышленные сельскохозяйственные установки (Рисунок 1). В них использовались дорогие, ненадежные и дефицитные газовые лазеры, не позволявшие регулировать мощность излучения в широком диапазоне. Эти установки использовались в хозяйствах до выработки короткого ресурса газовых лазеров. В ряде случаев сохранившееся подобное оборудование и в настоящее время применяют в исследовательских целях. Однако получаемые результаты достаточно часто оказываются крайне не стабильны. Начиная с 90-х годов 20-го века, преподаватели и студенты Удмуртского ГАУ занимаются исследованиями технологии предпосевной оптической (лазерной) обработки семян сельскохозяйственных культур (Акимов & Авраменко, 1991; Лекомцев с соавт., 2000; Долговых & Крылов, 2007; Чазова с соавт., 2009).

**Рисунок 1**

Установка «Львов-1 Электроника»



Цель данной работы — верифицировать ранее разработанную методику подбора режимов предпосевной оптической обработки семян, выбрать наиболее оптимальные режимы, оценить эффективность такой обработки, спроектировать оборудование на современной элементной базе, используя в качестве источников когерентного излучения полупроводниковые диоды<sup>1,2</sup>. При этом необходимо учитывать особенности работы маломощных полупроводниковых лазерных диодов в устройствах предпосевной обработки. Так длина волны излучения и мощность излучения зависят от температуры кристалла и тока инжекции. Для стабилизации температуры маломощных лазеров в большинстве случаев достаточно пассивного теплоотвода (радиатора). Одновременно ток инжекции стабилизируется с использованием оптической обратной связи или датчика тока инжекции через усилитель на регулирующей элемент, в цепь которого включен лазер (Гусева & Киселев, 2017; Дородов с соавт., 2018; Гусева с соавт., 2013). При этом применение микроконтроллера (МК) для стабилизации тока инжекции, температуры и регулировки мощности излучения лазера значительно облегчает и упрощает использование лазера и позволяет управлять его излучением с сенсорного дисплея (Гусева & Киселев, 2019).

<sup>1</sup> Крылов, О. Н., Киселёв, М. М., & Салтыкова С. А. (2012). МПК А01С1/00. Устройство для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур когерентным излучением. М.: Завьяловский.

<sup>2</sup> Долговых, О. Г., & Крылов, О. Н. (2009). Патент РФ № 2407264. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его использования. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Лабораторные эксперименты проводились в научно-исследовательском институте «Агролазер», опытно-промышленная проверка результатов выполнялась непосредственно на полях хозяйств Удмуртской Республики.

### Материалы

В качестве материалов использовались семена, предоставленные непосредственно хозяйствами. Эти же семена использовались для посева в полях. Отбор семян по каким-либо критериям не производился, для посева на опытных и контрольных делянках использовались семена непосредственно из бурта с зернотока.

### Оборудование

В ходе полевых испытаний, начатых осенью 2018 года, использовалась установка «Луч-5»<sup>3</sup> для оптической предпосевной обработки семян, разработанная авторами (Рисунок 2). В установке «Луч-5» заимствованы как элементы «Львов-1 Электроника» (в частности, способ развёртки луча лазера), так и основная идея — обработка семян в потоке. Неоценимую помощь при изготовлении оказал станко-ремонтный завод «ИжПРЭСТ».

Обработка семян ведется двумя лазерными диодами ML562G85 с длиной волны излучения 650 нм непосредственно на горизонтальном транспортере установки. При этом мощность диодов может быть выбрана в диапазоне от 20 до 100 мВт, скорость же ленты транспортера — 0,5...3,5 м/с. Диапазоны изменения мощности лазеров и скорости ленты определены исходя из результатов предыдущих работ и заданы конструктивно. Установка имеет цифровое управление и программный контроль параметров работы. Мощность диодов регулируется величиной проходящего через них тока, управление цепями питания микропроцессорное. Световой поток диодов распределяется по поверхности транспортера с помощью шестигранной зеркальной призмы с приводом от шагового двигателя.

Предварительная градуировка цепей питания диодов выполнялась с помощью измерителя мощности лазерного излучения LP1.

### Методика

В сентябре 2018 года в поле (Рисунок 2) вблизи деревни Алгазы (ООО «Старозятцинское» Якшур-Бодьинского района Удмуртской Республики) озимой рожью «Фаленская-4» урожая 2018 года засеян опытный участок площадью 4 га. Закладывалось 13 опытных делянок (Хартман, 1977) с различными режимами обработки (мощность излучателя, скорость ленты транспортера, норма высева) и одна контрольная делянка (Таблица 1), где использовались семена без предварительной предпосевной обработки. На всех делянках применялась одна и та же агротехника выращивания. Семена во всех случаях предоставлялись хозяйством. Их обработка выполнялась непосредственно в поле перед посевом.

Наблюдения за развитием растений проводились 09.09.2018 года в фазе развития проростков (Рисунок 3), 19.10.2018 года в фазе кущения (Рисунок 4), 27.05.2019 года в фазе начала весенней вегетации (Рисунки 5, 6).

### Рисунок 2

Установка для предпосевной обработки семян лазерным излучением



Примечание. Начало испытаний. ООО «Старозятцинское», обработка зерна в поле вблизи дер. Алгазы

<sup>3</sup> Долговых, О. Г., & Крылов, О. Н. (2009). Патент РФ № 2407264. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его использования. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия.

Таблица 1

План эксперимента с семенами озимой ржи «Фаленская-4» в полевой серии

Номер опыта	Порядок реализации	Фактор $X_1$ (скорость транспортёра, м/с)	Фактор $X_2$ (мощность излучателя, мВт)	Фактор $X_3$ (норма высева, кг/га)
1	6	1,568	100	240
2	7	1,568	20	240
3	8	1,568	100	200
4	9	1,568	20	200
5	10	2,404	60	240
6	1	0,801	60	240
7	11	2,404	60	200
8	2	0,801	60	200
9	12	2,404	100	220
10	3	0,801	100	220
11	13	2,404	20	220
12	4	0,801	20	220
13	5	1,568	60	220
Контроль	0	Не устанавливались		240

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Результаты в ООО «Старозятцинское». Осенние наблюдения

Период конец августа-начало сентября 2018 года отличался локальной засухой — ясная сухая погода со среднесуточной температурой днем +15,4 °C, ночью +7,4 °C при отсутствии атмосферных осадков<sup>4</sup>. Так на территории Старых Зятцев по данным сайта [www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru) в начале сентября 2018 года не отмечалось дней с осадками. При этом почвенный горизонт от недостатка влаги пересох, и семена высевались в сухую почву. В этих условиях влага, необходимая для развития растений, могла быть ими получена лишь в результате конденсации паров воды на поверхности почвы, что в большинстве случаев недостаточно для интенсивного развития растений. По существу на рисунке 3 в варианте «Контроль» именно эта ситуация и показана: се-

менам не хватает влаги для развития проростков, а потому многие из них не имеют даже признаков появления проростков. Иная ситуация с семенами, прошедшими лазерную предпосевную обработку. Большинство их через шесть дней после посева даже в условиях засухи имеют достаточно развитые проростки: пример — режимы P1, P3, P5, P7, P8, P9 и P10 на Рисунке 3. Ускорение развития растений отмечается также и на иных культурах (Крылов с соавт., 2008; Крылов & Абашева, 2017).

Наблюдения за развитием растений проводились 09.09.2018 года в фазе развития проростков (Рисунок 3), 19.10.2018 года в фазе кущения (Рисунок 4).

В течение сентября<sup>5</sup> — первой половины октября<sup>6</sup> в районе Старых Зятцев отмечалось шесть дней с непродолжительными осадками. Соответственно количество осадков за этот период 2018 года не превысило 30 мм. По существу, не только всходы, но и дальнейшее развитие растений, проходи-

<sup>4</sup> Дневник погоды в Старых Зятцах за Сентябрь 2018 г. <https://www.gismeteo.ru/diary/232991/2018/8/>

<sup>5</sup> Дневник погоды в Старых Зятцах за Сентябрь 2018 г. <https://www.gismeteo.ru/diary/232991/2018/8/>

<sup>6</sup> Дневник погоды в Старых Зятцах за Октябрь 2018 г. <https://www.gismeteo.ru/diary/232991/2018/9/>

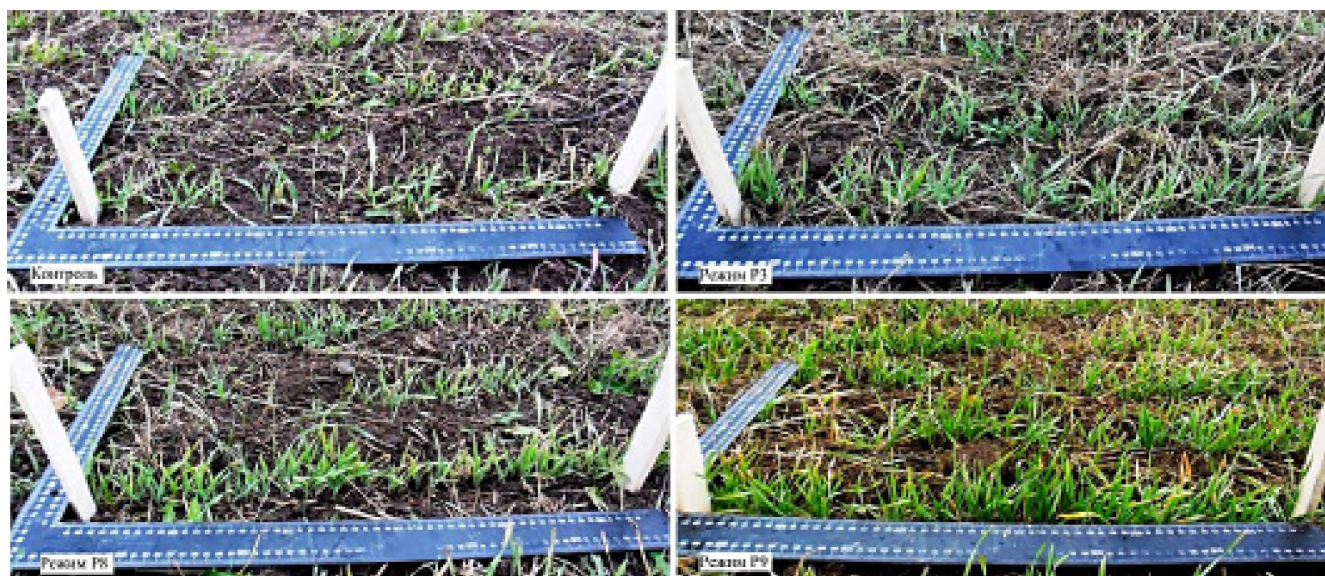
**Рисунок 3**

Состояние всходов озимой ржи «Фаленская 4» на «09» сентября 2018 года (ООО «Старозятцинское»)



**Рисунок 4**

Состояние всходов озимой ржи «Фаленская 4» на «19» октября 2018 года (ООО «Старозятцинское»)



ло при сильной нехватке влаги, что хорошо заметно на контрольной делянке (Рисунок 4).

При этом на 46 день растения, выросшие из семян после лазерной обработки, показали весьма хорошее развитие, как корневой системы, так и листово-

го аппарата. Сказанное можно проиллюстрировать данными, полученными 02.10.2018 года. Так средняя длина растений и её стандартное отклонение<sup>7</sup> (Коняев, 1970; Коняев с соавт., 1975) для ряда режимов составили: «Контроль» — 57.9 мм и  $\sigma = 13.5$ , вариант Р4—63.5 мм и  $\sigma = 5.5$ , вариант Р6—69.9 мм

<sup>7</sup> Доспехов, Б. А. (1985). *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. М.: Агропромиздат.

и  $\sigma = 12.3$ , вариант Р8–73.1 мм и  $\sigma = 4.4$ , вариант Р11–71.1 мм и  $\sigma = 6.1$ . Аналогичные эффекты описываются в работах Хэнаньского университета (Qui et al., 2017).

Хорошо заметно, что длина «лазерных» растений на 5–15 мм больше. Одновременно стандартное отклонение в вариантах Р4, Р8 и Р11 в 2–3 раза меньше, нежели в контрольном варианте, что говорит о более высокой стабильности роста растений<sup>8</sup> после лазерной предпосевной обработки семян. Даже при том, что визуальное ограничение для их развития, особенно в режиме Р9 (Рисунок 4), является нехватка в растениях фосфора и калия, можно считать, что всходы озимой ржи после предпосевной лазерной обработки ушли под зиму более окрепшими и лучше подготовленными.

### Результаты в ООО «Старозятцинское». Весенне-летние наблюдения

Осенний темп развития растений после лазерной обработки семян сохранился и весной 2019 года после перезимовки (Рисунки 5 и 6). Интенсивность развития растений, заложенная предпосевной обработкой семян еще осенью 2018 года, сохранилась и в течение лета. Летние условия в мае — августе

2019 года были достаточно благоприятными для развития растений. Количество осадков и среднесуточные температуры оказались весьма комфортными: май — осадки 76,1 мм, температура 20,3 °С; июнь — осадки 83,2 мм, температура 19,1 °С; июль — осадки 130,8 мм, температура 23,4 °С.

Результаты летнего развития растений показаны на снимках (Рисунки 7, 8), выполненных непосредственно в поле 11.06.2019 г. В большинстве вариантов лазерной предпосевной обработки семян ржи в снопах наблюдается увеличение числа растений, их длины и биологической массы. Одновременно хорошо заметно ускорение формирования колоса «лазерных» растений в сравнении с растениями с контрольных делянок. Уборка урожая на опытных участках проведена 30.08.2019 г. Результаты для ряда режимов обработки приведены в Таблице 2. Из таблицы исключены режимы Р2, Р4, Р6 и Р13, в которых влияние лазерного излучения оказалось сильно отрицательным. Причина — невозможность в данной статье привести подробный анализ такого влияния.

В большинстве вариантов с лазерной обработкой семян биологическая урожайность оказалась выше, нежели в контрольном варианте. Так прирост уро-

Таблица 2

Результаты уборки озимой ржи «Фаленская 4» (август 2019 года, ООО «Старозятцинское»)

Режим обработки	Биологическая урожайность (масса зерна, приведенная к 14 % влажности)		Количество продуктивных стеблей, шт/м <sup>2</sup>	Масса 1000 зёрен, гр	Влажность, %	Продуктивность 1-го колоса	
	гр/м <sup>2</sup>	прирост, %				гр	отклонение, %
Контроль	146,64		244,0	21,09	18,6	0,60	
Р1	196,00	33,7 %	494,0	21,22	14,8	0,40	-34,0 %
Р3	239,18	63,1 %	456,0	24,80	14,2	0,52	-12,7 %
Р5	185,38	26,4 %	422,0	20,06	15,8	0,44	-26,9 %
Р7	195,42	33,3 %	434,0	22,43	15,7	0,45	-25,1 %
Р8	197,12	34,4 %	454,0	21,07	16,8	0,43	-27,8 %
Р9	219,36	49,6 %	440,0	22,76	15,4	0,50	-17,0 %
Р10	184,37	25,7 %	274,0	25,28	15,0	0,67	12,0 %
Р12	191,70	30,7 %	530,0	21,65	16,1	0,36	-39,8 %

<sup>8</sup> Там же.

жайности составил от 25,7 % (режим P10) до 63,1 % (режим P3).

Необходимо отметить увеличение количества продуктивных стеблей во всех приведенных вариантах предпосевной обработки семян в 1,2–2,0 раза, что уже обеспечивает приrost биологической урожайности. При этом данное увеличение хорошо совпадает с ростом коэффициента кущения растений, отмеченным в начале весны 2019 г.

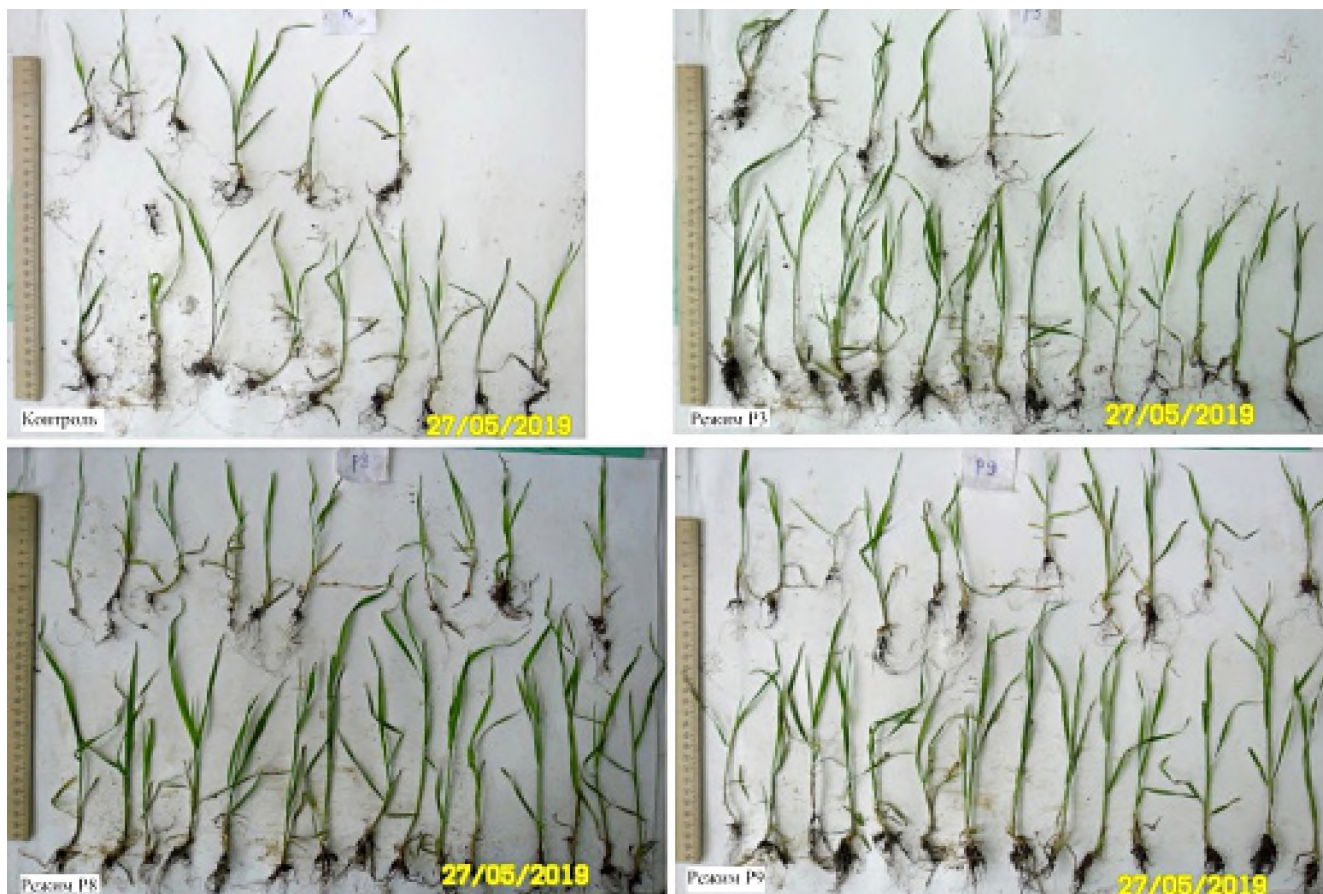
Одной из особенностей лазерной обработки семян является ускорение созревания растений. Примером тому может служить снижение влажности убираемого зерна. Так в приведённых вариантах влажность зерна на контрольной делянке составила 18,6 %. В случаях предпосевной обработки влажность зерна находилась в пределах от 14,2 % (режим P3) до 16,8 % (режим P8). По существу до 4,5 % влаги растения теряют к моменту начала уборки,

что позволяет сэкономить до 45 кг печного топлива на каждой тонне убранного зерна.

Следующая особенность лазерной предпосевной обработки семян — увеличение массы 1000 зёрен в ряде режимов обработки. Так в варианте P3 такое увеличение составило 3,7 гр, в варианте P10–4,8 гр, в варианте P9–1,7 гр, что также обеспечивает увеличение урожайности. Кроме того, необходимо отметить снижение продуктивности 1-го колоса от 12 % до 40 % в сравнении с контролем во всех вариантах обработки, за исключением варианта P10. Причем такое снижение непосредственно связано, как уже отмечалось, с ростом количества продуктивных растений и стеблей. По существу, рост плотности растений в поле усиливает их конкуренцию в зоне питания, что снижает продуктивность 1-го колоса. Легко заметить, что в данном случае снижение продуктивности сильно коррелируется с количеством продуктивных стеблей в соответствующих режимах обработки.

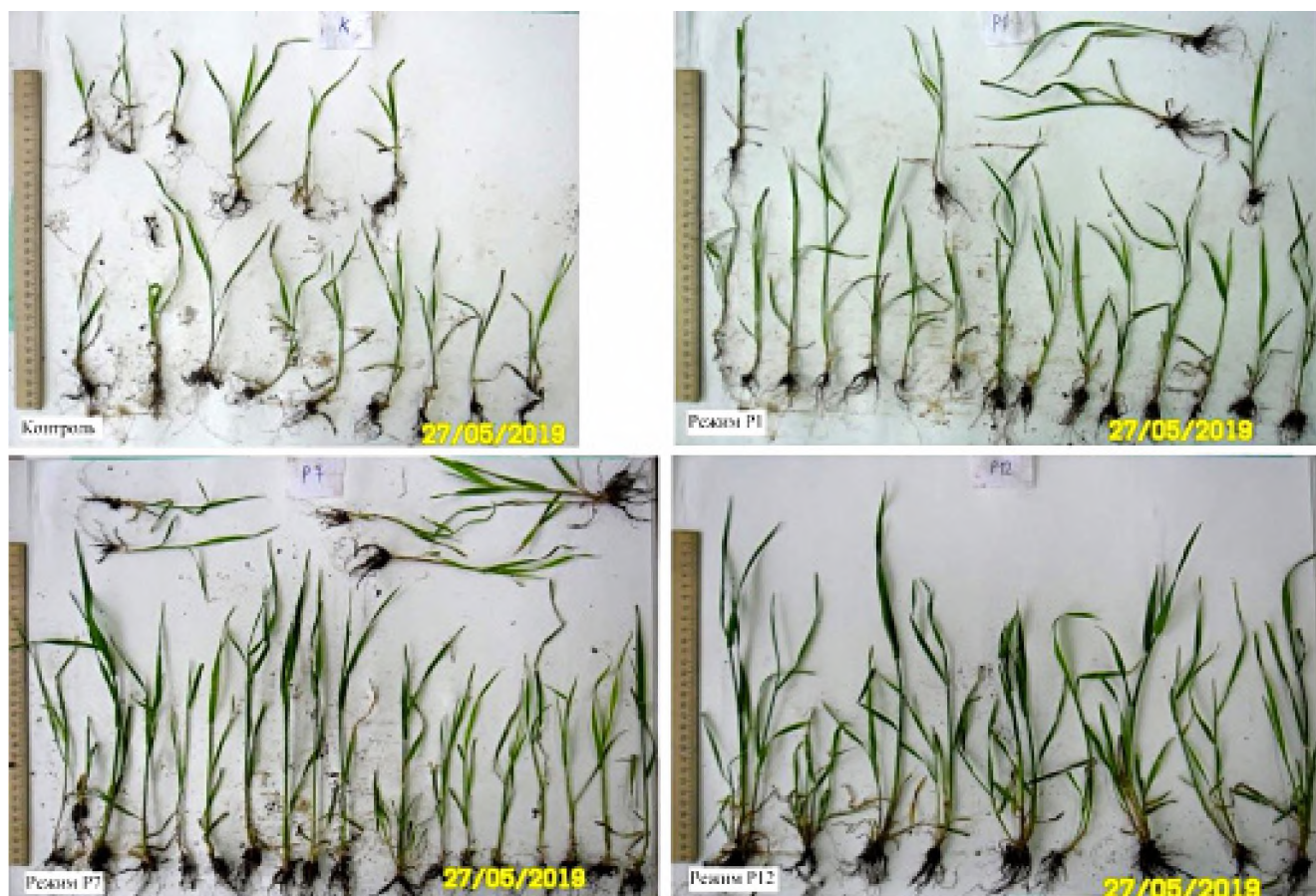
#### Рисунок 5

Состояние растений (контроль, режимы P3, P8, P9) озимой ржи «Фаленская 4» на «27» мая 2019 года (ООО «Старозятцинское»)



**Рисунок 6**

Состояние растений (контроль, режимы P1, P7, P12) озимой ржи «Фаленская 4» на «27» мая 2019 года (ООО «Старозятцинское»)



**Рисунок 7**

Состояние растений (контроль, режимы P3, P7, P8, P9) озимой ржи «Фаленская 4» на «11» июня 2019 года (ООО «Старозятцинское»)



Снимок с делениями "Контроль" на всех снимках слева.

## Рисунок 8

Состояние растений (контроль, режимы P1, P5, P10, P12) озимой ржи «Фаленская 4» на «11» июня 2019 года (ООО «Старозятцинское»)



*Сноп с метки "Контроль" на всех снимках слева.*

На снимках, сделанных в поле 27.05.2019 года можно отметить существенно более мощное развитие растений (Рисунки 5, 6), а также большее количество растений на участках, засеянных семенами после лазерной обработки, вне зависимости от нормы высева (Таблица 2) семян. Можно также отметить и лучшую перезимовку таких растений. Другой особенностью стало увеличение коэффициента кущения растений озимой ржи в 1,5–2,0 раза, что особенно заметно в режиме P12 (Рисунок 6).

## Результаты, полученные на севере Республики

В 2020–2021 годах в КФХ Снегирёва А.В. (Ярский р-н, север Удмуртии) в ходе обработки семян использованы результаты, полученные при работе с озимой ржи «Фаленская 4» в ООО «Старозятцинское». При этом ООО «Старозятцинское» расположено в 110 км южнее КФХ Снегирёва А.В.

Для предпосевной обработки семян ржи из таблицы 2 выбран режим P3 (скорость ленты транспортёра 1,568 м/с, мощность излучателя 100 мВт, норма высева 200 кг/га) с лучшим значением урожайности,

полученным на поле вблизи дер. Алгазы. При этом норма высева на контрольных участках соответствовала принятой в хозяйстве 220 кг/га.

Предпосевная обработка семян и сев выполнялась 24.08.2020 г. Осень 2020 года отличалась лучшими (в сравнении с 2018 годом) агроклиматическими условиям. Необходимо отметить и существенно более ранние сроки сева озимой ржи в КФХ Снегирёва А.В., нежели в Алгазах. Наблюдения за развитием растений озимой ржи «Фаленская-4» в данном случае выполнялись в фазе кущения (06.10.2020) и в фазе начала весенней вегетации (02.05.2021). В обоих случаях отмечается существенная разница в массе проб растений и их стеблей, снятых с контрольных и опытных делянок. Так 06.10.2020 (Рисунок 9) для растений после лазерной предпосевной обработки средняя масса проб стеблей составила 49,5 гр., в контрольном варианте — 22,0 гр.

Аналогичную разницу можно отметить и для показателей средней массы 1-го стебля и средней длины стеблей. При этом количество растений в вариантах практически не отличалось, что может быть непосредственно связано со снижением нормы высева в сравнении с контролем.

Рисунок 9

Состояние растений озимой ржи «Фаленская 4» на «06» октября 2020 года (КФХ Снигирёва А.В., Ярский р-н)



Рисунок 10

Состояние растений озимой ржи «Фаленская 4» на «02» мая 2021 года (КФХ Снигирёва А.В., Ярский р-н)



Подобная ситуация сохранилась и в начале весенней (Рисунок 10) вегетации (02.05.2021). Так разница в массе проб стеблей оказалась трехкратной (15,1 гр. в контроле против 45,6 у растений после лазерной обработки). Близкая разница имеется и для массы проб растений — 23,5 гр. в контроле против 67,2 у растений после лазерной обработки семян.

Говоря о развитии растений в фазе весенне-летней вегетации, необходимо упомянуть об агроклиматических условиях весны-лета 2021 г. Так, в мае<sup>9</sup> среднее значение температуры воздуха составило днём +20 °С, ночью +10 °С. Осадки выпадали 4 дня: 01.05, 21.05, 22.05 и 30.05. По существу необходимо отметить, что в начале весенней вегетации, как и осенью 2018 года, наблюдалась нехватка влаги.

Ситуация усугубилась в июне-июле. Осадки в виде слабого дождя в июне<sup>10</sup> выпадали 6 дней, в июле — 9 дней. При этом средние дневные температуры составили в июне +24 °С, в июле — +23 °С. Средние ночные температуры в эти же месяцы достигали +13 °С. По существу агроклиматические условия весны-лета 2021 года оказались близки к засухе.

С учетом агроклиматических условий лета 2021 года уборка экспериментальных участков на полях КФХ Снигирёва А.В. выполнялась 28.07.2021 года. На рисунке 11 показаны снопы озимой ржи, снятые с контрольных и опытных делянок непосредственно перед уборкой.

Для снопов с опытных делянок можно отметить как увеличение длины растений, так и мощности снопа

<sup>9</sup> Дневник погоды в Пудеме за Май 2021 г. <https://www.gismeteo.ru/diary/233024/2021/5/>

<sup>10</sup> Дневник погоды в Пудеме за Июнь 2021 г. <https://www.gismeteo.ru/diary/233024/2021/6/>

**Рисунок 11**

Состояние растений озимой ржи «Фаленская 4» на «28» июля 2021 года (КФХ Снигирёва А.В., Ярский р-н



и количества растений в нем. Следует заметить, что, как и в ООО «Старозятцинское», растения озимой ржи после лазерной предпосевной обработки семян условия засухи переносят существенно лучше. Одновременно следует ожидать повышения урожайности таких растений. Структура урожая озимой ржи «Фаленская 4» в КФХ Снигирёва А.В. приведена в Таблице 3.

В варианте предпосевной обработки «Лазер» все приведённые параметры структуры оказались выше, нежели в контрольном варианте. Причем в ряде случаев существенно выше. Аналогичные результаты получены в Удмуртском ГАУ (Долговых с соавт., 2009а). В случае же с КФХ Снигирёва

А.В. для растений, выросших из обработанных лазером семян, наблюдается: (1) увеличение количества продуктивных стеблей в 2 раза; (2) увеличение массы 1000 семян на 1,2 гр. и продуктивности 1-го колоса на 0,16 гр.; (3) увеличение биологической урожайности зерна с 11,7 до 30,7 ц/га.

Применение предпосевной лазерной обработки семян озимой ржи в практической деятельности сельскохозяйственных организаций Удмуртской Республики позволит существенно повысить (Абашева & Лопатина, 2014) устойчивость развития зерновой отрасли и экономическую эффективность производства озимой ржи. Так, при расчете по минимальной цене продажи 8 тысяч рублей за 1 тонну

**Таблица 3**

Структура урожая озимой ржи «Фаленская 4» на «28» июля 2021 года (КФХ Снигирёва А.В., Ярский р-н)

Режим	Количество стеблей, шт/м <sup>2</sup>	Количество продуктивных стеблей, шт/м <sup>2</sup>	Средняя высота снопов, см	Масса снопа, гр/м <sup>2</sup>	Влажность, %
Контроль	357,7	252,8	77,5	458,6	17,7
Лазер	596,5	491,6	117,7	1118,1	17,6
Прирост над контролем, %	66,80 %	94,50 %	51,80 %	143,80 %	-0,80 %
Режим	Масса зерна со снопа с пересчетом на 14 % влажности, гр/м <sup>2</sup>		Биологическая урожайность, ц/га		Продуктивность 1-го колоса, гр
	Среднее	σ	Средняя	σ	
Контроль	117,2	28,9	11,7	2,9	0,46
Лазер	307,1	46,5	30,7	4,6	0,62

зерна ржи<sup>11</sup> (Алексеева с соавт., 2022), только снижение затрат на семена<sup>12</sup> (в расчете на площадь посева в 2022 году — 55,9 тыс. га) с учетом страхового фонда составит 10,56 млн. рублей. Средний прирост урожайности по результатам опытов позволит получить на всей площади прирост валового сбора даже по нижней границе показателей в размере 35,3 тысяч тонн, дополнительная выручка составит 282,4 млн. рублей. Общий экономический эффект — 292,96 млн. рублей. Необходимо отметить, что вне зависимости от географических координат эффективность лазерной предпосевной обработки вполне сопоставима. По существу подобранные ранее режимы одинаково эффективны и в том, и в другом случае.

При этом наблюдается интенсификация развития растений уже на самых начальных стадиях их роста. Так растения, выросшие из семян после лазерной обработки, показали весьма хорошее развитие как корневой системы, так и листового аппарата. И в Алгазах (ООО «Старозятцинское»), и у КФХ Снигирёва А.В. отмечается существенная разница в массе проб растений и их стеблей, снятых с контрольных и опытных делянок. Так разница в массе проб стеблей осенью 2020 года в поле у КФХ Снигирёва А.В. оказалась трехкратной. При этом стандартное отклонение в вариантах с лазерной обработкой семян в 2–3 раза меньше, нежели в контрольных вариантах, что говорит о более высокой стабильности роста растений после лазерной предпосевной обработки семян.

Набранный осенний темп развития растений после лазерной обработки семян в обоих случаях сохраняется и весной после перезимовки. Нужно также отметить и лучшую перезимовку таких растений, существенно более мощное их развитие в ходе весенней вегетации.

Одновременно в случае с ООО «Старозятцинское» фиксировалось большее количество растений на участках, засеянных семенами после лазерной обработки, вне зависимости от нормы высева семян. Однако на полях КФХ Снигирёва А.В. количество растений в лазерном и контрольном вариантах практически не отличалось, что непосредственно

связано со снижением и более оптимальным выбором нормы высева в сравнении с контролем.

Одной из особенностей лазерной обработки семян является ускорение созревания растений. Примером тому может служить снижение влажности убираемого зерна, наблюдаемое в Алгазах (ООО «Старозятцинское»). В хозяйстве Снигирёва А.В. данный эффект отмечен не был прежде всего из-за весьма засушливого лета 2021 года.

Анализируя биологическую урожайность, полученную в поле как в Алгазах, так и у Снигирёва А.В. необходимо отметить следующее. В вариантах лазерной предпосевной обработки семян ржи в снопах наблюдается увеличение числа растений, их длины и биологической массы. Одновременно хорошо заметно ускорение формирования колоса «лазерных» растений в сравнении с растениями с контрольных делянок, фиксируется увеличение количества продуктивных стеблей в вариантах предпосевной обработки семян в 1,2–2,0 раза. При этом данное увеличение хорошо совпадает с ростом коэффициента кущения растений. Следующая особенность лазерной предпосевной обработки семян — увеличение массы 1000 зёрен в ряде режимов обработки. Так для КФХ Снигирёва А.В. такое увеличение массы 1000 семян составило 1,2 гр., для ООО «Старозятцинское» — 4,2 гр. (режим Р10 табл. 2). Столь существенная разница опять же связана с засушливым летом 2021 года.

В работах с КФХ Снигирёва А.В. для растений, выросших из обработанных лазером семян, получено увеличение продуктивности 1-го колоса на 0,16 гр., что характерно для лазерной предпосевной обработки. Однако в Алгазах для таких растений зафиксировано снижение продуктивности 1-го колоса от 12% до 40% в сравнении с контролем. Причина здесь — высокие нормы высева семян в ряде режимов лазерной обработки. По существу, рост плотности растений в поле усиливает их конкуренцию в зоне питания, что снижает продуктивность 1-го колоса. Легко заметить, что в данном случае снижение продуктивности сильно коррелируется с количеством продуктивных стеблей в соответствующих режимах обработки.

<sup>11</sup> *Агро-содружество. Цены на зерно. Аналитический обзор.* (2023). <https://agrosod.ru/analytics/>

<sup>12</sup> *Zerno.Ru. Сев озимых в РФ по областям* (2023). <https://zerno.ru/node/16063> (дата обращения: 14.04.2023).

Для снопов с опытных делянок можно отметить как увеличение длины растений, так и мощности снопа и количества растений в нем. Следует заметить, что, и в ООО «Старозятцинское», и в поле КФХ Снигирёва А.В., растения озимой ржи после лазерной предпосевной обработки семян условия засухи переносят существенно лучше. Показанные особенности развития растений после лазерной предпосевной обработки семян обеспечивают существенный прирост биологической урожайности. В большинстве вариантов с лазерной обработкой семян биологическая урожайность оказалась выше, нежели в контрольном варианте. В случае с КФХ Снигирёва А.В. отмечено увеличение урожайности зерна с 11,7 до 30,7 ц/га (на 162%), в поле у деревни Алгазы зафиксирован прирост с 14,7 до 23,9 ц/га (на 63%).

## ВЫВОДЫ

Работы, выполненные с озимой рожью «Фаленская 4» в хозяйствах Якшур-Бодьинского и Ярского районов, позволяют сделать следующие выводы. Ранее разработанная методика предпосевной оптической обработки семян подтвердила свою эффективность — режимы предпосевной лазерной обработки сохраняют свое влияние вне зависимости от состояния обрабатываемых семян, места и сроков их происхождения. Эффект прироста урожайности озимой ржи «Фаленская 4» получен на одних и тех же режимах работы установки «Луч-5» вне зависимости от прочих факторов. Аналогичный эффект отмечается также на иных зерновых культурах.

Предпосевная лазерная обработка семян оказывает своё воздействие на весь период вегетации растений, отмечено существенное улучшение показателей развития растений начиная от посева и заканчивая уборкой. Данный эффект хорошо заметен при длительных сроках вегетации, характерных для озимых культур. Растения озимой ржи после предпосевной лазерной обработки семян условия засухи переносят существенно лучше. При этом улучшается устойчивость развития растений в неблагоприятных погодных условиях. Количество продуктивных стеблей озимой ржи возросло на 87 % в 2019 и 95 % в 2021 годах, что по существу обеспечивается увеличением полевой всхожести семян, кущения в ходе развития растений. Как результат после предпосевной лазерной обработки

семян увеличивается урожайность сельскохозяйственных культур. Зафиксирован прирост урожайности на 63 % в 2019 и 162 % в 2021 годах. При этом появляется возможность существенно снизить норму высева семенного материала и, соответственно, затраты на производство продукции растениеводства. Увеличение же урожайности сельскохозяйственных культур без существенного роста затрат на возделывание ощутимо снижает затраты на производство продукции растениеводства.

Полученные результаты могут быть использованы как в сельскохозяйственных предприятиях в ходе предпосевной обработки семян, так и исследовательскими организациями при разработке технологий оптической обработки семян зерновых культур.

Дальнейшие направления исследований оптической предпосевной обработки могут быть посвящены как собственно отработке режимов работы установки «Луч-5» для иных сортов и культур, так и использованию в процессе обработки иных спектров лазерного излучения — прежде всего синего и зелёного.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Олег Николаевич Крылов:** концептуализация, разработка методологии исследования, проведение исследования, подготовка черновика рукописи, создание рукописи и её редактирование.

**Михаил Михайлович Киселев:** проведение исследования, подготовка черновика рукописи.

**Александр Егорович Решетников:** подготовка черновика рукописи, визуализация, проведение исследования, работа с программным обеспечением.

**Ольга Юрьевна Абашева:** Проведение исследования, валидация данных, подготовка черновика рукописи, создание рукописи и её редактирование.

## ЛИТЕРАТУРА

- Абашева, О. Ю., & Лопатина, С. А. (2014). Обоснование перспектив развития сельскохозяйственной организации на основе современных методов планирования. *Наука Удмуртии*, (3), 55–61.
- Акимов, В. И., & Авраменко, Н. Р. (1991). Светолазерная стимуляция семян огурца в защищенном грунте. В *Вузовская наука — сельскохозяйственному производству: Материалы XXIV научно-производственной конференции* (с. 161). Ижевск: ИжСХИ.
- Алексеева, Н. А., Абашева, О. Ю., & Редников, В. Л. (2022). Экономико-статистические аспекты повышения эффективности использования сельскохозяйственных земель. *Modern Economy Success*, (3), 45–51.
- Будаговский, А. В. (2007). *Совершенствование электро-технологических лазерных методов обработки семян и растений [Кандидатская диссертация, Мичуринский государственный аграрный университет]*. М., Россия.
- Гусева, Н. В., & Киселев, М. М. (2017). Измерение доли интерференционной полосы фазовым методом. В *Научно-обоснованные технологии интенсификации сельскохозяйственного производства: Материалы Международной научно-практической конференции* (с. 245–247). Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет.
- Гусева, Н. В., Киселев, М. М., Дородов, П. В., Михеев, Г. М., & Морозов, В. А. (2013). Измерение плотности ВЧ и СВЧ энергии методом лазерной интерференционной термометрии. *Инженерный вестник Дона*, (1), 6–8.
- Гусева, Н. В., & Киселев, М. М. (2019). Разработка устройства для управления и стабилизации мощности излучения полупроводникового лазера. В *Аграрная наука — сельскохозяйственному производству: Материалы Международной научно-практической конференции* (т. 2, с. 236–239). Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет.
- Долговых, О. Г., & Красильников, В. В., Крылов, О. Н., & Газтдинов, Р. Р. (2009а). Формирование структуры урожайности при выращивании зерновых культур с использованием лазерных технологий в Удмуртии. В *Резервы экономического роста предприятий и организаций: Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции* (с. 44–47). Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет.
- Долговых, О. Г., Крылов, О. Н., & Красильников, В. В. (2009б). Применение когерентного излучения при возделывании зерновых. *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*, (1), 7–11.
- Долговых, О. Г., & Крылов, О. Н. (2007). Лазер и качество семян. В *Quality assurance of products, safety of production and environment: Proceedings of the contributions* (с. 44–45). Братислава: AlumniPress.
- Долговых, О. Г., Крылов, О. Н., Кузнецов, С. И., & Соловьев, А. И. (2007). Влияние предпосевной обработки семян кресс-салата и укропа когерентным излучением на развитие растений. В *Вавиловские чтения — 2007: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 120-й годовщине со дня рождения академика Николая Ивановича Вавилова* (с. 163–167). Саратов: Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова.
- Дородов, П. В., Гусева, Н. В., Киселев, М. М., & Михеев, Г. М. (2018). О методе смещения интерференционной картины током инъекции полупроводникового лазера. *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*, (2), 91–98.
- Инюшин, В. М., Ильясов, Г. У., & Федорова, Н. Н. (1981). Луч лазера и урожай. Алма-Ата: Кайнар.
- Коняев, Н. Ф. (1970). Математический метод определения площади листьев растений. *Доклады Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени Ленина*, (9), 5–6.
- Коняев, Н. Ф., Житов, В. В., & Коняева, М. А. (1975). Формулы площади листьев некоторых сортов томата. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, (5), 103–105.
- Крылов, О. Н., & Абашева, О. Ю. (2017). Цикличность производства овощей и эффективность тепличного хозяйства. *Овощи России*, (2), 92–96.
- Крылов, О. Н. (2017). Влияние предпосевной лазерной обработки семян на развитие и рост рассады огурца церес F1. *Овощи России*, (3), 42–48.
- Крылов, О. Н., Долговых, О. Г., & Альков, Н. К. (2008). Возможности лазерной обработки семян огурца. В *Научный потенциал — аграрному производству: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 450-летию вхождения Удмуртии в состав России* (с. 36–41). Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия.
- Лекомцев, П. Л., Колесников, С. А., Долговых, О. Г., & Крылов, О. Н. (2000). О предпосевной обработке семян овощных культур лазерным излучением. В *Энергосбережение в сельском хозяйстве: к 70-летию ВИЭСХ: Труды 2-й Международной научно-технической конференции* (ч. 2, с. 328–329). М.: Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства.
- Умаров, Х. Т., & Инюшин, В. М. (1991). *Биофизические и физиологические показатели роста сельскохозяйственных культур под действием гелий-неонового лазера*. Ташкент: ФАН.
- Хартман, К. (1977). *Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов*. М.: Мир.
- Чазова, И. Ю., Осипов, А. К., Долговых, О. Г., Кондратьев, Д. В., & Крылов, О. Н. (2009). *Технико-экономическое*

обоснование внедрения новых технологий в овощеводстве  
закрытого грунта: Монография. Ижевск: КнигоГрад.

Якобчук, В. Ф. (1989). Эффективность светолазерного  
облучения семян. *Вестник российской сельскохозяй-  
ственной науки*, (4), 123–128.

Samia, M. S., Aftab, S., & Younus, A. (2020). Effect of low power  
laser irradiation on bio-physical properties of wheat seeds.

*Information Processing in Agriculture*, 7(3), 456–465. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.12.003>

Qiu, Z., Yuan, M., He, Y., Li, Y., & Zhang, Y. (2017). Physiological  
and transcriptome analysis of He-Ne laser pretreated wheat  
seedlings in response to drought stress. *Scientific REPOrTS*,  
7, Article 6108. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06518-z>

## REFERENCES

Abasheva, O. Yu., & Lopatina, S. A. (2014). Obosnovanie  
perspektiv razvitiya sel'skokhozyaistvennoi organizatsii  
na osnove sovremennykh metodov planirovaniya  
[Substantiation of prospects for the development of an  
agricultural organization based on modern planning  
methods]. *Nauka Udmurtii [Udmurtia Science]*, (3), 55–61.

Акимов, В. И., & Авраменко, Н. Р. (1991). Svetolazernaya  
stimulyatsiya semyan ogurtsa v zashchishchennom grunte  
[Light laser stimulation of cucumber seeds in protected  
ground]. In *Vuzovskaya nauka — sel'skokhozyaistvennomu  
proizvodstvu: Materialy XXIV nauchno-proizvodstvennoi  
konferentsii [Higher Education science — agricultural  
production: Materials of the 24th scientific and production  
conference]* (p. 161). Izhevsk: IzhSKhI.

Alekseeva, N. A., Abasheva, O. Yu., & Rednikov, V. L.  
(2022). Ekonomiko-statisticheskie aspekty povysheniya  
effektivnosti ispol'zovaniya sel'skokhozyaistvennykh  
zemel' [Economic and statistical aspects of increasing the  
efficiency of agricultural land use]. *ModernEconomySuccess*,  
(3), 45–51.

Budagovskii, A. V. (2007). *Sovershenstvovanie  
elektrotekhnologicheskikh lazernykh metodov obra-botki  
semyan i rastenii [Improvement of electrotechnological  
laser methods of seed and plant treatment]* [Candidate  
Dissertation, Michurinskii gosudarstvennyi ag-rarnyi  
universitet]. Moscow, Russia.

Chazova, I. Yu., Osipov, A. K., Dolgovykh, O. G., Kondrat'ev,  
D. V., & Krylov, O. N. (2009). *Tekhniko-ekonomicheskoe  
obosnovanie vnedreniya novykh tekhnologii v ovoshchevodstve  
zakrytogo grunta: Monografiya [Feasibility study of the  
introduction of new technologies in indoor vegetable growing:  
Monograph]*. Izhevsk: KnigoGrad.

Dolgovykh, O. G., & Krasil'nikov, V. V., Krylov, O. N., & Gaztdinov,  
R. R. (2009a). Formirovaniye struktury urozhainosti pri  
vyrashchivaniy zernovykh kul'tur s ispol'zovaniem  
lazernykh tekhnologii v Udmurtii [Formation of the yield  
structure in the cultivation of grain crops using laser  
technologies in Udmurtia]. In *Rezervy ekonomicheskogo  
rosta predpriyatii i organizatsii: Sbornik statei IV Vserossiiskoi  
nauchno-prakticheskoi konferentsii [The reserves of economic  
growth of enterprises and organizations: Collection of articles  
of the 4th All-Russian scientific and practical conference]*  
(pp. 44–47). Izhevsk: Udmurtskii gosudarstvennyi agrarnyi  
universitet.

Dolgovykh, O. G., & Krylov, O. N. (2007b). Lazer i kachestvo  
semyan [Laser and seed quality]. In *Quality assurance of  
products, safety of production and environment: Proceedings  
of the contributions [Ensuring product quality, production  
safety and the environment: Materials of reports]* (pp. 44–45).  
Bratislava: AlumniPress.

Dolgovykh, O. G., Krylov, O. N., & Krasil'nikov, V. V. (2009).  
Primeneniye kogerentnogo izlucheniya pri vozdeystvii  
zernovykh [The use of coherent radiation in the cultivation  
of cereals]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo  
obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo  
obrazovaniya "Moskovskii gosudarstvennyi agro-inzhenernyi  
universitet imeni V. P. Goryachkina" [Bulletin of the Federal  
State Educational Institution of Higher Professional Education  
"V.P. Goryachkin Moscow State Agroengineering University"]*,  
(1), 7–11.

Dolgovykh, O. G., Krylov, O. N., Kuznetsov, S. I., & Solov'ev, A.  
I. (2007). Vliyaniye predposevnoi obrabotki semyan kress-  
salata i ukropa kogerentnym izlucheniem na razvitie  
rastenii [The effect of pre-sowing treatment of watercress  
and dill seeds by coherent radiation on plant development].  
In *Vavilovskie chteniya — 2007: Materialy Mezhdunarodnoi  
nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 120-  
i godovshchine so dnya rozhdeniya akademika Nikolaya  
Ivanovicha Vavilova [Vavilov Readings — 2007: Materials of  
the International Scientific and Practical Conference dedicated  
to the 120th anniversary of the birth of Academician Nikolai  
Ivanovich Vavilov]* (pp. 163–167). Saratov: Saratovskii  
gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni N. I. Vavilova.

Dorodov, P. V., Guseva, N. V., Kiselev, M. M., & Mikheev, G.  
M. (2018). O metode smeshcheniya inter-ferentsionnoi  
kartiny tokom inzhetskii poluprovodnikovogo lazera [On  
the method of displacement of the interference pattern  
by the injection current of a semiconductor laser]. *Vestnik  
Izhevskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii  
[Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy]*, (2),  
91–98.

Guseva, N. V., & Kiselev, M. M. (2017). Izmereniye doli  
interferentsionnoi polosy fazovym me-todom  
[Measurement of the interference fringe fraction by the  
phase method]. In *Nauchno-obosnovannyye tekhnologii  
intensifikatsii sel'skokhozyaistvennogo proiz-vodstva:  
Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi  
konferentsii [Science-based technologies of intensification  
of agricultural production: Materials of the International*

- scientific and practical conference*] (pp. 245–247). Izhevsk: Udmurtskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Guseva, N. V., & Kiselev, M. M. (2019). Razrabotka ustroistva dlya upravleniya i stabilizatsii moshchnosti izlucheniya poluprovodnikovogo lazera [Development of a device for controlling and stabilizing the radiation power of a semiconductor laser]. In *Agrarnaya nauka — sel'skokhozyaistvennomu proizvodstvu: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Agricultural Science — agricultural production: Materials of the International scientific and practical conference] (vol. 2, pp. 236–239). Izhevsk: Udmurtskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Guseva, N. V., Kiselev, M. M., Dorodov, P. V., Mikheev, G. M., & Morozov, V. A. (2013). Izmerenie plotnosti VCh i SVCh energii metodom lazernoi interferentsionnoi termometrii [Measurement of RF and microwave energy density by laser interference thermometry]. *Inzhe-nernyi vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], (1), 6–8.
- Inyushin, V. M., Il'yasov, G. U., & Fedorova, N. N. (1981). *Luch lazera i urozhai* [Laser beam and harvest]. Alma-Ata: Kainar.
- Khartman, K. (1977). *Planirovanie eksperimenta v issledovanii tekhnologicheskikh protsessov* [Planning an experiment in the study of technological processes]. Moscow: Mir.
- Konyaev, N. F. (1970). Matematicheskii metod opredeleniya ploshchadi list'ev rastenii [A mathematical method for determining the area of plant leaves]. *Doklady Vsesoyuznaya akademiya sel'skokhozyaistvennykh nauk imeni Lenina* [Reports of the All-Union Academy of Agricultural Sciences named after Lenin], (9), 5–6.
- Konyaev, N. F., Zhitov, V. V., & Konyaeva, M. A. (1975). Formuly ploshchadi list'ev nekotorykh sortov tomata [Formulas for the leaf area of some tomato varieties]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science], (5), 103–105.
- Krylov, O. N. (2017). Vliyanie predposevnoi lazernoi obrabotki semyan na razvitiye i rost rassady ogurtsa tseres F1 [The effect of pre-sowing laser seed treatment on the development and growth of cucumber seedlings ceres F1]. *Ovoshchi Rossii* [Vegetables of Russia], (3), 42–48.
- Krylov, O. N., & Abasheva, O. Yu. (2017). Tsiklichnost' proizvodstva ovoshchei i effektivnost' teplichnogo khozyaistva [The cyclical nature of vegetable production and the efficiency of greenhouse farming]. *Ovoshchi Rossii* [Vegetables of Russia], (2), 92–96.
- Krylov, O. N., Dolgovykh, O. G., & Al'kov, N. K. (2008). Vozmozhnosti lazernoi obrabotki semyan ogurtsa [The possibilities of laser treatment of cucumber seeds]. In *Nauchnyi potentsial — agrarnomu proizvodstvu: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 450-letiyu vkhozhdeniya Udmurtii v sostav Rossii* [Scientific potential — agricultural production: Materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 450th anniversary of the entry of Udmurtia into Russia] (pp. 36–41). Izhevsk: Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya.
- Lekomtsev, P. L., Kolesnikov, S. A., Dolgovykh, O. G., & Krylov, O. N. (2000). O predposevnoi ob-rabotke semyan ovoshchnykh kul'tur lazernym izlucheniem [About pre-sowing treatment of vegetable seeds by laser radiation]. In *Energosberezhenie v sel'skom kho-zyaistve: k 70-letiyu VIESKh: Trudy 2-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Energy Saving in Agriculture: to the 70th Anniversary of RES: Proceedings of the 2nd International scientific and technical conference] (part 2, pp. 328–329). Moscow: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut elektrifikatsii sel'skogo khozyaistva.
- Umarov, Kh. T., & Inyushin, V. M. (1991). *Biofizicheskie i fiziologicheskie pokazateli rosta sel'skokhozyaistvennykh kul'tur pod deistviem gelii-neonovogo lazera* [Biophysical and physiological indicators of crop growth under the action of a helium-neon laser]. Tashkent: FAN.
- Yakobenchuk, V. F. (1989). Effektivnost' svetolazernogo oblucheniya semyan [The effectiveness of laser irradiation of seeds]. *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Bulletin of the Russian Agricultural Science], (4), 123–128.
- Samiya, M. S., Aftab, S., & Younus, A. (2020). Effect of low power laser irradiation on bio-physical properties of wheat seeds. *Information Processing in Agriculture*, 7(3), 456–465. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.12.003>
- Qiu, Z., Yuan, M., He, Y., Li, Y., & Zhang, Y. (2017). Physiological and transcriptome analysis of He-Ne laser pretreated wheat seedlings in response to drought stress. *Scientific REPOrTS*, 7, Article 6108. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06518-z>