

## РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОЗОННОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

**Иван Васильевич Баскаков**  
**Владимир Иванович Оробинский**  
**Владимир Васильевич Василенко**  
**Алексей Михайлович Гиевский**  
**Алексей Викторович Чернышов**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Современные технологии возделывания зерновых культур основаны на применении большого количества химических препаратов, которые загрязняют почву, воду, воздух. Внедрение процесса озонирования позволит либо полностью отказаться от предпосевной обработки семян с использованием пестицидов, либо сократить их использование. Эффективность озоноздушной смеси при дезинфекции не уступает, а по многим показателям даже превосходит химическое протравливание. Однако при предпосевной озонной обработке семян сложно поддерживать заданные режимы работы озонатора, поэтому в реальных условиях чаще прибегают к варьированию времени операции в зависимости от возможностей конкретной озонаторной установки. Учитывая вышеизложенное, были определены наиболее рациональные режимы предпосевной озонной обработки семян в зависимости от культуры и средней концентрации озона в озоноздушной смеси. В экспериментальных исследованиях расход агента составлял  $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ . При этом концентрация озона в озоноздушной смеси варьировала в диапазоне  $0,76\text{--}5,06 \text{ мг}/\text{м}^3$ . Образцы отбирали каждые 30 мин. на протяжении 2 часов. Установлено, что при предпосевной озонной обработке семян озимой пшеницы, ярового ячменя, овса и кукурузы с концентрацией озона в озоноздушной смеси  $4,21, 2,57, 1,45$  и  $1,87 \text{ мг}/\text{м}^3$  время озонирования должно находиться в диапазоне соответственно  $23\text{--}41, 32\text{--}52, 40\text{--}60$  и  $17\text{--}45$  мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки, которая для озимой пшеницы варьирует от  $96$  до  $234 \text{ мин}\cdot\text{мг}/\text{м}^3$ , для ярового ячменя – от  $84$  до  $116 \text{ мин}\cdot\text{мг}/\text{м}^3$ , для овса – от  $45$  до  $86 \text{ мин}\cdot\text{мг}/\text{м}^3$ , для кукурузы – от  $32$  до  $75 \text{ мин}\cdot\text{мг}/\text{м}^3$ . При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озоноздушной смеси. Средняя продолжительность предпосевной озонной обработки семян зерновых культур составляет 38 мин.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** семена, озонирование, озонная предпосевная обработка, зерновые культуры, режимы озонной обработки, лабораторная всхожесть семян.

## RATIONAL OPERATION MODES FOR OZONE PRESOWING TREATMENT OF GRAIN CROP SEEDS

**Ivan V. Baskakov**  
**Vladimir I. Orobinsky**  
**Vladimir V. Vasilenko**  
**Aleksey M. Gievsky**  
**Aleksey V. Chernyshov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Modern technologies of cultivation of grain crops are based on the use of a large number of chemicals that pollute the soil, water, and air. The introduction of the ozonation process will allow either to completely abandon the presowing treatment of seeds using pesticides, or to reduce their use. The effectiveness of the ozone-air mixture in disinfection is not inferior, and in many respects even exceeds chemical presowing seed disinfection. However, during presowing ozone treatment of seeds, it is difficult to maintain the specified operating modes of the ozonator, so in real conditions it is recommended to vary the operation time depending on the capabilities of a particular ozonator device. Taking the above mentioned into consideration, the most rational modes of presowing ozone seed treatment were determined depending on the culture and the average concentration of ozone in the ozone-air mixture. In experimental studies, the flow rate of the agent was  $0.6 \text{ m}^3$  per hour. At the same time, the concentration of ozone in the ozone-air mixture varied in the range of  $0.76\text{--}5.06 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Samples were taken every 30 minutes for 2 hours. It is established that during presowing ozone treatment of seeds of winter wheat, spring barley, oat and corn with an ozone concentration in the ozone-air mixture of  $4.21, 2.57, 1.45$  and  $1.87 \text{ m}/\text{m}^3$ ,

the ozonation time should be in the range of 23–41, 32–52, 40–60 and 17–45 minutes, respectively. If the ozonator is not suitable to maintain the specified mode, then the dose of ozone treatment should be chosen in following ranges: for winter wheat, spring barley, oat and corn the doses should vary from 96 to 234 min·mg/m<sup>3</sup>, from 84 to 116 min·mg/m<sup>3</sup>, from 45 to 86 min·mg/m<sup>3</sup>, from 32 to 75 min·mg/m<sup>3</sup>, respectively. In this case, it will be necessary to calculate the ozonation time depending on the actual concentration of ozone in the ozone-air mixture. The average duration of presowing ozone treatment of seeds of grain crops is 38 minutes.

KEYWORDS: seeds, ozonation, ozone presowing treatment, grain crops, ozone treatment modes, laboratory seed germination.

**В** последние несколько десятилетий в России наметилась устойчивая тенденция увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. Повышению валового сбора зерна способствовало внедрение зарубежных технологий, которые в большинстве своём основаны на применении большого количества минеральных удобрений и ядохимикатов. Наряду с этим использование гербицидов, инсектицидов, фунгицидов и других химических препаратов, необходимых для возделывания сельскохозяйственных культур, приводит к загрязнению почвы опасными для природы веществами, так как химические средства защиты накапливаются в растениях, попадают в водоёмы, лесополосы, воздух и т. д. В результате значительно ухудшается экологическая ситуация не только на полях, но и вокруг них. Следовательно, повышение урожайности сельскохозяйственных культур посредством использования химических препаратов одновременно приводит к отравлению флоры и фауны. Поэтому необходимо внедрять экологически безопасные приёмы ведения сельского хозяйства, которые по эффективности не уступали бы пестицидам, но при этом не оказывали вредного воздействия на природу.

На данный момент альтернативной замены минеральным удобрениям и химическим средствам защиты нет. Однако уменьшить поступление химических препаратов в почву можно за счёт сокращения количества применяемых пестицидов, особенно при предпосевной обработке семян. В настоящее время наибольшее распространение получило поверхностное протравливание посевного материала. Данный способ имеет много недостатков, к которым можно отнести следующие:

- при перемещении протравленного посевного материала часть химического препарата осыпается с семян;
- для перемещения посевного материала на протравливание требуются дополнительные транспортные операции, что приводит к удорожанию семян и их повреждению;
- в качестве транспортирующих рабочих органов протравливателей наиболее часто используются шнеки и скребковые транспортёры, которые сильно травмируют зерновку;
- используемые препараты могут вызывать химические ожоги на семенах, особенно в микроповреждениях;
- зачастую химическое протравливание снижает посевные качества семян;
- применяемые препараты относятся к опасным, вредным классам веществ, которые загрязняют почву, воду, воздух, что ухудшает экологическую ситуацию;
- стоимость препаратов, используемых для протравливания, будучи достаточно высокой, постоянно возрастает в связи с инфляцией.

Одним из наиболее перспективных и экологически безопасных методов предпосевной обработки семян является процесс озонирования [1, 4, 9, 13, 18, 23]. По эффективности озонная дезинфекция не уступает химическому протравливанию, а иногда даже её превосходит [5, 7, 12, 20, 22]. При этом отмечается повышение урожайности различных сельскохозяйственных культур [6, 10, 16, 19]. Озон обладает рядом специфических свойств, которые позволяют использовать его в различных сельскохозяйственных операциях [3, 11, 15, 17, 21, 23, 24]. Это расширяет вариативность применения озонатора

в хозяйстве, что способствует снижению себестоимости озонной обработки. Кроме того, озонирование можно провести непосредственно в зернохранилище [2, 14], что позволит исключить ряд транспортных операций из технологии подготовки посевного материала.

Многим учёным удалось установить, что высокие концентрации озона в озонозвоздушной смеси угнетающе воздействуют на посевной материал, в то время как низкоконтцентрированная предпосевная озонная обработка стимулирует ростовые процессы в семенах, повышая такие показатели, как энергия прорастания и всхожесть. Однако режимы работы озонатора несколько разнятся. Поскольку при предпосевной обработке озонаторная установка чаще всего не позволяет варьировать концентрацию озона, то исследования, направленные на уточнение времени операции, являются актуальными, так как разнообразие вариантов очень велико и в каждом конкретном случае требуется уточнение параметров. В связи с этим были определены наиболее рациональные режимы предпосевной озонной обработки семян в зависимости от культуры и средней концентрации озона в озонозвоздушной смеси.

При предпосевной обработке семян зерновых культур концентрация озона в озонозвоздушной смеси варьировала в диапазоне 0,76–5,06 мг/м<sup>3</sup>. При этом расход агента составлял 0,6 м<sup>3</sup>/ч. При проведении исследований в стеклянную ёмкость, имеющую подводный и отводящий озонозвоздушную смесь каналы, помещали четыре партии посевного материала. Пятый образец находился вне сосуда и поэтому не подвергался озонированию, т. е. он служил контролем. В соответствии с ГОСТ 12038-84 каждая партия посевного материала состояла из 400 зёрен, кроме кукурузы, где для определения лабораторной всхожести достаточно 200 семян [8]. Вентиляцию сосуда озонозвоздушной смесью проводили в течение 2 часов. По истечении каждых 30 минут эксперимента ёмкость открывали на незначительный период времени (около 30 с) и извлекали из неё одну партию семян. Оставшийся посевной материал подвергался дальнейшему воздействию озонозвоздушной смеси. После часа исследований доставали вторую партию семян, через 1,5 часа – третью, после 2 часов – четвёртую. Концентрацию озона определяли через каждые 5 минут в выходном канале посредством использования газоанализатора «Сигма-03» с соответствующим электрохимическим датчиком «Сигма-03.ДЭ». Этим же приборным обеспечением по второму каналу контролировали уровень ПДК газа в рабочей зоне оператора.

При предпосевной обработке семян озимой пшеницы концентрация озона в озонозвоздушной смеси варьировала от 1,62 до 5,06 мг/м<sup>3</sup> (табл. 1). За первые полчаса данный показатель в среднем составил 4,28 мг/м<sup>3</sup>, за час – 4,15 мг/м<sup>3</sup>, за полтора часа – 4,4 мг/м<sup>3</sup>, за два часа – 4,21 мг/м<sup>3</sup>.

**Таблица 1. Изменение концентрации озона в озонозвоздушной смеси при предпосевном озонировании семян озимой пшеницы**

Время опыта, мин	Концентрация озона в озонозвоздушной смеси по периодам опыта, мг/м <sup>3</sup>						В среднем за опыт
	5	10	15	20	25	30	
0–30	3,70	4,12	4,60	4,56	4,16	4,56	4,28
31–60	4,26	4,34	4,16	4,84	4,92	4,62	4,15
61–90	4,70	4,92	5,00	4,85	5,06	4,90	4,4
91–120	4,02	3,94	3,42	3,34	3,54	3,46	4,21

Предпосевное озонирование семян озимой пшеницы способствовало изменению их лабораторной всхожести (табл. 2, рис. 1). При этом доза озонной обработки определена как произведение времени обработки на среднюю концентрацию газа внутри заданного периода опыта.

Таблица 2. Лабораторная всхожесть семян озимой пшеницы при предпосевной озонной обработке

Время обработки, мин	Средняя концентрация озона, мг/м <sup>3</sup>	Доза озонной обработки, мин · мг/м <sup>3</sup>	Лабораторная всхожесть семян, %
0	0	0	72,8
30	4,28	128,4	77,0
60	4,15	249,0	76,8
90	4,40	396,0	69,3
120	4,21	505,2	68,0

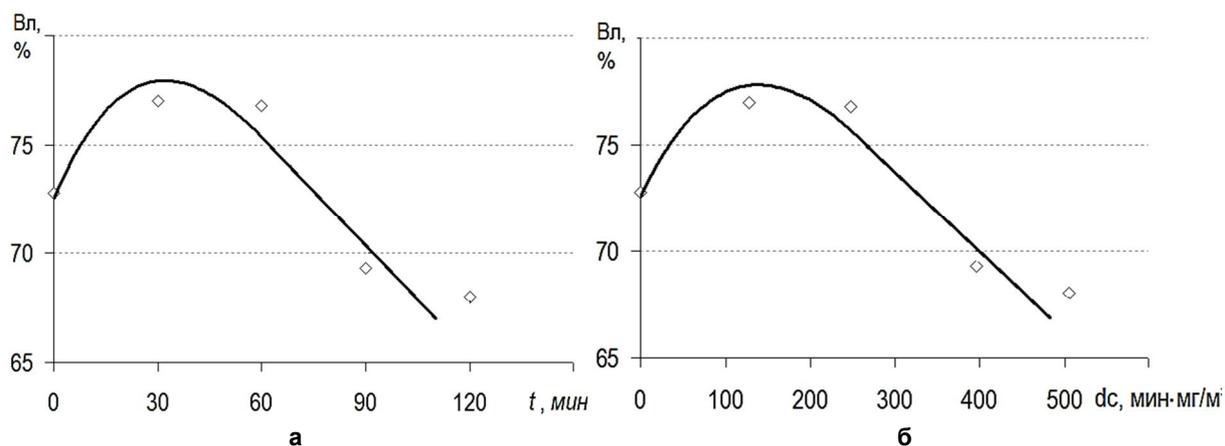


Рис. 1. Зависимость лабораторной всхожести семян (Вл) озимой пшеницы при предпосевном озонировании при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 4,21 мг/м<sup>3</sup>: а – от времени (t) обработки; б – от дозы озонной обработки (dс)

Статистическая обработка результатов исследований при предпосевном озонировании семян озимой пшеницы при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 4,21 мг/м<sup>3</sup> показала, что лабораторная всхожесть подчиняется полиномиальной зависимости третьей степени от времени и дозы озонной обработки:

$$B_{л}^{оз.пш.} = 0,00003 \cdot t^3 - 0,0073 \cdot t^2 + 0,3698 \cdot t + 72,566, \quad R^2 = 0,9443, \quad (1)$$

$$B_{л}^{оз.пш.} = 0,0000001 \cdot d_c^3 - 0,0002 \cdot d_c^2 + 0,0573 \cdot d_c + 72,771, \quad R^2 = 0,9776, \quad (2)$$

где  $B_{л}^{культуры}$  – лабораторная всхожесть семян заданной культуры, %;

$t$  – время озонной обработки, мин;

$d_c$  – доза озонной обработки, мин · мг/м<sup>3</sup>;

$R^2$  – величина достоверности аппроксимации.

Анализ данных, представленных в таблице 2 и на рисунке 1 (зависимости 1, 2), показывает, что оптимальное время при предпосевной озонной обработке семян озимой пшеницы при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 4,21 мг/м<sup>3</sup> составляет 31 мин. При этом в диапазоне от 23 до 41 мин расчётная лабораторная всхожесть семян при озонировании укладывается в погрешность ±1%. Оптимальная доза озонной обработки составляет 163 мин · мг/м<sup>3</sup>. Изменение данного параметра в диапазоне от 96 до 234 мин · мг/м<sup>3</sup> даёт одно и то же расчётное значение лабораторной всхожести семян при округлении до целого числа. Следовательно, при озонной обработке семян озимой пшеницы с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 4,21 мг/м<sup>3</sup> время озонирования должно составлять 23–41 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный

режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки в диапазоне от 96 до 234 мин · мг/м<sup>3</sup>. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озонозудушной смеси по следующей формуле:

$$t = \frac{d_c}{c_{\text{факт}}}, \quad (3)$$

где  $c_{\text{факт}}$  – средняя фактическая концентрация озона в озонозудушной смеси, которую может поддерживать конкретная озонаторная установка, мг/м<sup>3</sup>.

При предпосевном озонировании семян ярового ячменя концентрация озона в озонозудушной смеси изменялась от 0,76 до 3,34 мг/м<sup>3</sup> (табл. 3). За первые полчаса данный показатель в среднем составил 2,79 мг/м<sup>3</sup>, за час – 2,84 мг/м<sup>3</sup>, за полтора часа – 2,6 мг/м<sup>3</sup>, за два часа – 2,57 мг/м<sup>3</sup>.

Таблица 3. Изменение концентрации озона в озонозудушной смеси при предпосевном озонировании семян ярового ячменя

Время опыта, мин	Концентрация озона в озонозудушной смеси по периодам опыта, мг/м <sup>3</sup>						В среднем за опыт
	5	10	15	20	25	30	
0–30	2,20	2,54	2,74	2,84	2,94	3,34	2,78
31–60	3,20	3,04	2,92	2,76	2,60	-	2,84
61–90	0,76	2,24	1,90	2,42	2,46	2,50	2,6
91–120	2,22	2,62	2,32	2,74	2,46	2,68	2,57

Результаты предпосевной озонной обработки семян ярового ячменя представлены в таблице 4 и на рисунке 2.

Таблица 4. Лабораторная всхожесть семян ярового ячменя при предпосевной озонной обработке

Время обработки, мин	Средняя концентрация озона, мг/м <sup>3</sup>	Доза озонной обработки, мин · мг/м <sup>3</sup>	Лабораторная всхожесть семян, %
0	0	0	80,25
30	2,79	83,7	94,75
60	2,84	170,4	98,00
90	2,60	234,0	84,75
120	2,57	308,4	77,50

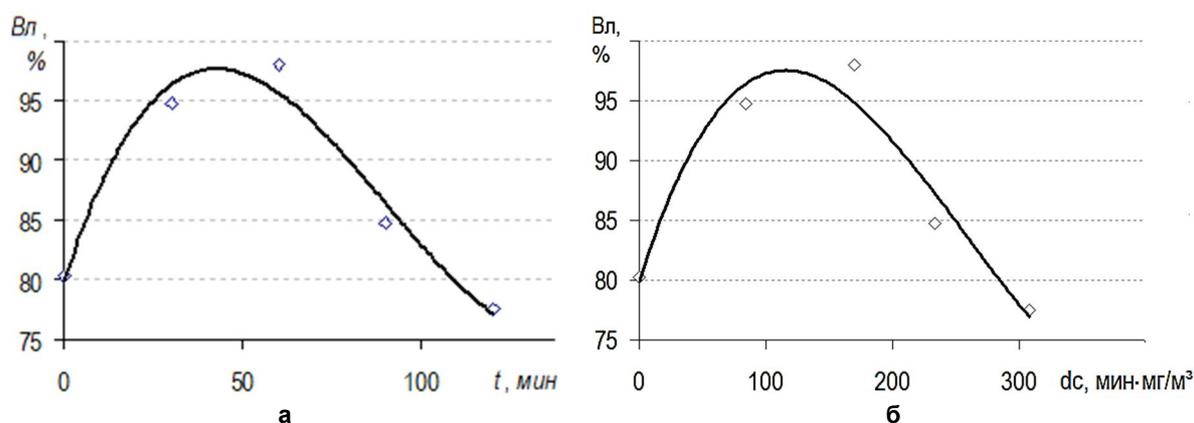


Рис. 2. Зависимость лабораторной всхожести семян (Вл) ярового ячменя при предпосевном озонировании при средней концентрации озона в озонозудушной смеси 2,57 мг/м<sup>3</sup>: а – от времени (t) обработки; б – от дозы озонной обработки (dc)

Статистическая обработка результатов исследований при предпосевном озонировании семян ярового ячменя при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 2,57 мг/м<sup>3</sup> показала, что лабораторная всхожесть подчиняется полиномиальной зависимости третьей степени от времени и дозы озонной обработки:

$$V_{л}^{яp.яч} = 0,00005 \cdot t^3 - 0,0143 \cdot t^2 + 0,9318 \cdot t + 79,854, \quad R^2 = 0,9658, \quad (4)$$

$$V_{л}^{яp.яч} = 0,000003 \cdot d_c^3 - 0,0022 \cdot d_c^2 + 0,3485 \cdot d_c + 80,003, \quad R^2 = 0,803. \quad (5)$$

Анализ данных, приведённых в таблице 4 и на рисунке 2 (зависимости 4, 5), показывает, что оптимальное время при предпосевной озонной обработке семян ярового ячменя при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 2,57 мг/м<sup>3</sup> составляет 42 мин. При этом в диапазоне от 32 до 52 мин расчётная лабораторная всхожесть семян при озонировании укладывается в погрешность ±1%. Оптимальная доза озонной обработки составляет 99 мин · мг/м<sup>3</sup>. При этом изменение данного параметра в диапазоне от 84 до 116 мин · мг/м<sup>3</sup> даёт одно и то же расчётное значение лабораторной всхожести семян при округлении до целого числа. Следовательно, при озонной обработке семян ярового ячменя с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 2,57 мг/м<sup>3</sup> время озонирования должно составлять 32–52 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки в диапазоне от 84 до 116 мин · мг/м<sup>3</sup>. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озоновоздушной смеси по зависимости 3.

При предпосевном озонировании семян овса концентрация озона в озоновоздушной смеси варьировала от 1,16 до 1,7 мг/м<sup>3</sup> (табл. 5). За первые два получасовых периода данный показатель в среднем составил 1,56 мг/м<sup>3</sup>, а за следующие два – 1,45 мг/м<sup>3</sup>.

**Таблица 5. Изменение концентрации озона в озоновоздушной смеси при предпосевном озонировании семян овса**

Время опыта, мин	Концентрация озона в озоновоздушной смеси по периодам опыта, мг/м <sup>3</sup>						В среднем за опыт
	5	10	15	20	25	30	
0–30	1,70	1,52	1,56	1,56	1,44	1,6	1,56
31–60	1,46	1,54	1,54	1,62	1,62	1,6	1,56
61–90	1,36	1,24	1,20	1,16	1,24	1,2	1,45
91–120	1,26	1,44	1,62	1,30	1,44	1,5	1,45

Результаты предпосевной озонной обработки семян овса представлены в таблице 6 и на рисунке 3.

**Таблица 6. Лабораторная всхожесть семян овса при предпосевном озонировании**

Время обработки, мин	Средняя концентрация озона, мг/м <sup>3</sup>	Доза озонной обработки, мин · мг/м <sup>3</sup>	Лабораторная всхожесть семян, %
0	0	0	72,5
30	1,56	46,8	78,8
60	1,56	93,6	82,0
90	1,45	130,5	75,3
120	1,45	174	67,3

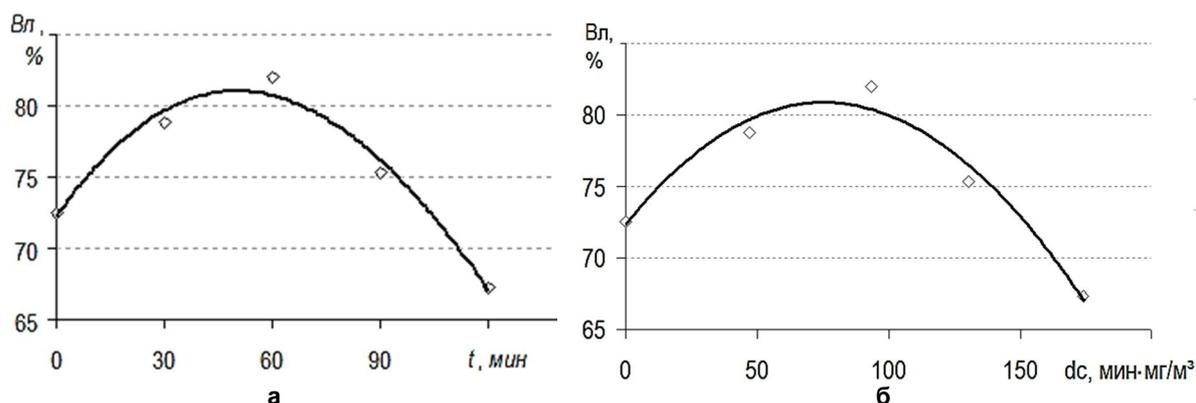


Рис. 3. Зависимость лабораторной всхожести семян (Вл) овса при предпосевном озонировании при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 1,45 мг/м<sup>3</sup>: а – от времени (t) обработки; б – от дозы озонной обработки (dс)

Статистическая обработка результатов исследований при предпосевном озонировании семян овса при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 1,45 мг/м<sup>3</sup> показала, что лабораторная всхожесть подчиняется полиномиальной зависимости третьей степени от времени и дозы озонной обработки:

$$B_{л}^{овес} = 0,000006 \cdot t^3 - 0,0041 \cdot t^2 + 0,3633 \cdot t + 72,28, \quad R^2 = 0,9737, \quad (6)$$

$$B_{л}^{овес} = 0,000004 \cdot d_c^3 - 0,0024 \cdot d_c^2 + 0,2605 \cdot d_c + 72,304, \quad R^2 = 0,8947. \quad (7)$$

Анализ данных таблицы 6 и рисунка 3 (зависимости 6, 7) показывает, что оптимальное время при предпосевной озонной обработке семян овса при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 1,45 мг/м<sup>3</sup> составляет 50 мин. При этом в диапазоне от 40 до 60 мин расчётная лабораторная всхожесть семян при озонировании укладывается в погрешность ±1%. Оптимальная доза озонной обработки составляет 65 мин · мг/м<sup>3</sup>. При этом изменение данного параметра в диапазоне от 45 до 86 мин · мг/м<sup>3</sup> даёт одно и то же расчётное значение лабораторной всхожести семян при округлении до целого числа. Следовательно, при озонной обработке семян овса с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 1,45 мг/м<sup>3</sup> время озонирования должно составлять 40–60 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки в диапазоне от 45 до 86 мин · мг/м<sup>3</sup>. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озоновоздушной смеси по зависимости 3.

При предпосевной обработке семян кукурузы концентрация озона в озоновоздушной смеси варьировала от 1,62 до 2,1 мг/м<sup>3</sup> (табл. 7). За первые полчаса данный показатель в среднем составил 1,88 мг/м<sup>3</sup>, за час и полтора часа – 1,85 мг/м<sup>3</sup>, за два часа – 1,87 мг/м<sup>3</sup>.

Таблица 7. Изменение концентрации озона в озоновоздушной смеси при предпосевном озонировании семян кукурузы

Время опыта, мин	Концентрация озона в озоновоздушной смеси по периодам опыта, мг/м <sup>3</sup>						В среднем за опыт
	5	10	15	20	25	30	
0–30	1,84	1,90	1,92	2,00	1,80	1,82	1,88
31–60	1,70	2,00	1,86	1,82	1,82	1,70	1,85
61–90	1,62	1,84	1,80	1,92	1,90	2,00	1,85
91–120	2,00	1,82	2,10	2,04	1,94	1,80	1,87

Результаты предпосевной озонной обработки семян кукурузы представлены в таблице 8 и на рисунке 4.

Таблица 8. Лабораторная всхожесть семян кукурузы при предпосевной озонной обработке

Время обработки, мин	Средняя концентрация озона, мг/м <sup>3</sup>	Доза озонной обработки, мин · мг/м <sup>3</sup>	Лабораторная всхожесть семян, %
0	0	0	97,5
30	1,88	56,4	99,0
60	1,85	111,0	97,5
90	1,85	166,5	96,8
120	1,87	224,4	95,8

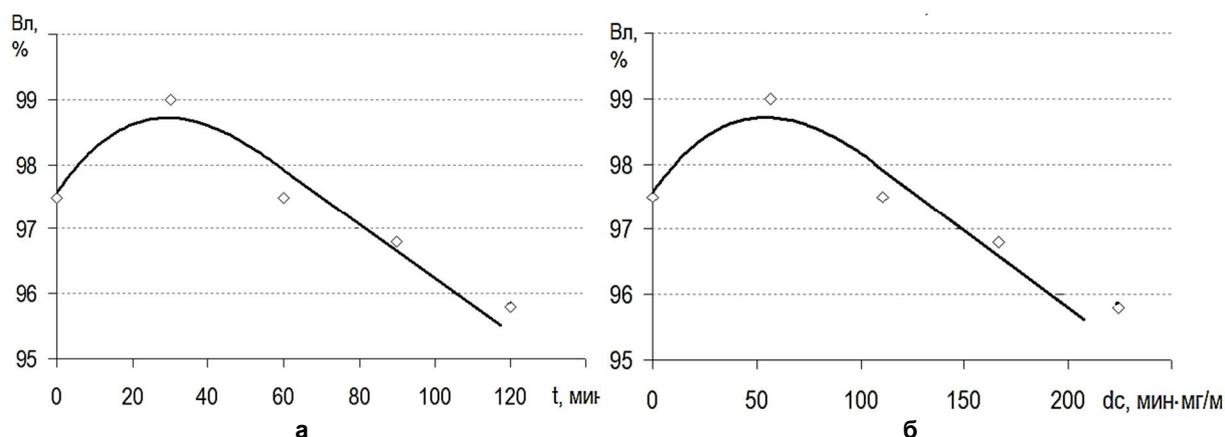


Рис. 4. Зависимость лабораторной всхожести семян (Вл) кукурузы при предпосевном озонировании при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 1,87 мг/м<sup>3</sup>: а – от времени (t) обработки; б – от дозы озонной обработки (dc)

Статистическая обработка результатов исследований при предпосевном озонировании семян кукурузы при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 1,87 мг/м<sup>3</sup> показала, что лабораторная всхожесть подчиняется полиномиальной зависимости третьей степени от времени и дозы озонной обработки

$$V_{л}^{куч.} = 0,000008 \cdot t^3 - 0,0018 \cdot t^2 + 0,0858 \cdot t + 97,57, \quad R^2 = 0,9373, \quad (8)$$

$$V_{л}^{куч.} = 0,000001 \cdot d_c^3 - 0,0005 \cdot d_c^2 + 0,0442 \cdot d_c + 97,578, \quad R^2 = 0,929. \quad (9)$$

Анализ данных таблицы 8 и рисунка 4 (зависимости 8, 9) показывает, что оптимальное время при предпосевном озонировании семян кукурузы при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 1,87 мг/м<sup>3</sup> составляет 30 мин. При этом в диапазоне от 17 до 45 мин расчётная лабораторная всхожесть семян при заданных условиях укладывается в погрешность ±1%. Оптимальная доза озонной обработки составляет 52 мин · мг/м<sup>3</sup>. При этом изменение данного параметра в диапазоне от 32 до 75 мин · мг/м<sup>3</sup> даёт одно и тоже расчётное значение лабораторной всхожести семян при округлении до целого числа. Следовательно, при озонной обработке семян кукурузы с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 1,87 мг/м<sup>3</sup> время озонирования должно составлять 17–45 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки в диапазоне от 32 до 75 мин · мг/м<sup>3</sup>. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озоновоздушной смеси по зависимости 3.

### Выводы

Таким образом, при предпосевном озонировании семян озимой пшеницы, ярового ячменя, овса и кукурузы со средней концентрацией озона в озонозвоздушной смеси 4,2, 2,6, 1,45 и 1,88 мг/м<sup>3</sup> время операции должно находиться в диапазоне соответственно 23–41, 32–52, 40–60 и 17–45 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки, которая для озимой пшеницы варьирует от 110 до 200 мин·мг/м<sup>3</sup>, для ярового ячменя – от 84 до 114 мин·мг/м<sup>3</sup>, для овса – от 40 до 60 мин·мг/м<sup>3</sup>, для кукурузы – от 32 до 74 мин·мг/м<sup>3</sup>. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озонозвоздушной смеси.

Средняя оптимальная продолжительность предпосевной озонной обработки семян зерновых культур составляет 38 мин. Оно укладывается в рациональный период времени озонирования любой из исследуемых культур при концентрации озона в озонозвоздушной смеси до 5 мг/м<sup>3</sup>.

Средняя оптимальная доза озонной обработки семян зерновых культур составила 95 мин·мг/м<sup>3</sup>.

### Библиографический список

1. Авдеева В.Н. Предпосевная обработка семян озимой пшеницы озонном / В.Н. Авдеева, Г.П. Стародубцева, С.И. Любая // Главный агроном. – 2009. – № 5. – С. 22–24.
2. Баскаков И.В. Совершенствование технологии послепосевной обработки и хранения зернового материала : дис. ... д-ра с.-х. наук : 05.20.01 / И.В. Баскаков. – Воронеж, 2019. – 339 с.
3. Богданов А.В. Обоснование установки озонирования семян для определения рациональных режимов их обработки и повышения безопасности обслуживающего персонала / А.В. Богданов, В.В. Евченко, С.Ю. Попова // АПК России. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 500–504.
4. Васильчук Н.С. Влияние предпосевной обработки семян системными протравителями и озонном на начальные ростовые процессы и продуктивность озимой пшеницы / Н.С. Васильчук, В.А. Эпштейн // Агро XXI. – 2007. – № 4–6. – С. 49–50.
5. Вербицкая С.В. Предпосевная обработка семян фасоли озонном и магнитным полем : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / С.Ф. Вербицкая. – Волгоград, 2001. – 167 с.
6. Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность сельскохозяйственных культур / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, А.П. Тарасенко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 4 (63). – С. 13–20.
7. Горский И.В. Обработка семян пшеницы озонированным воздухом : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / И.В. Горский. – Москва, 2004. – 202 с.
8. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. ОКСТУ 9709. – Введ. 1986–07–01. – Москва : Стандартинформ, 2011. – С. 36–64.
9. Долговых О.Г. Экологически безопасная предпосевная обработка семян пшеницы / О.Г. Долговых, В.Н. Огнев // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4–1 (31). – С. 7.
10. Дубцова А.А. Влияние озонирования семян на рост и развитие растений льна обыкновенного (*Linum usitatissimum* L.) / А.А. Дубцова, А.В. Чурмасов // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2015. – № 2 (162). – С. 93–98.
11. Нормов Д.А. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / Д.А. Нормов. – Краснодар, 2009. – 307 с.
12. Огнев В.Н. Применение экологически безопасных способов предпосевной обработки семян для защиты ярового ячменя против корневых гнилей / В.Н. Огнев, Л.В. Корепанова // Научный потенциал – аграрному производству : матер. Всероссийской науч.-практ. конф. (Россия, г. Ижевск, 26–29 февраля 2008 г.). – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2008. – Т. 1. – С. 172–176.
13. Оськин С.В. Предпосевная обработка семян озонном / С.В. Оськин, Д.А. Нормов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – № 11. – С. 7.
14. Пат. 2659904 Российская Федерация, МПК А01С 1/00, А01F 25/14 (2006.01). Хранилище семян / Р.Л. Чишко, А.П. Тарасенко, И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов ; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2017111422 ; заявл. 04.04.2017 ; опубл. 05.07.2018, Бюл. № 19. – 7 с.
15. Пат. 2709712 Российская Федерация, МПК А01F 25/08 (2006.01). Способ сушки зернового материала / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, В.А. Гулевский, А.В. Чернышов, О.В. Чернова ; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2019118552 ; заявл. 14.06.2019 ; опубл. 19.12.2019, Бюл. № 35. – 10 с.
16. Сигачёва М.А. Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в Кузнецкой лесостепи : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / М.А. Сигачёва. – Красноярск, 2015. – 152 с.

17. Таран Г.В. Результаты испытаний озонной технологии предпосевной обработки семян / Г.В. Таран, В.И. Голота, В.Г. Диндорого и др. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.kge.msu.ru/ozone/archives/1rus\\_conf\\_pr/Presentations/Taran.pdf](http://www.kge.msu.ru/ozone/archives/1rus_conf_pr/Presentations/Taran.pdf) (дата обращения: 25.03.2020).
18. Тышкевич Е.В. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы озонозоонозным агентом / Е.В. Тышкевич, С.А. Шабин, Н.Л. Виноградова // Современные наукоёмкие технологии. Региональное при-ложение. – 2015. – № 4 (44). – С. 210–214.
19. Чулков Б.А. Урожайность картофеля, лежкость при хранении и качество картофелепродуктов в зависимости от режимов обработки клубней озонозоонозной смесью : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09 / Б.А. Чулков. – Москва, 2008. – 147 с.
20. Шестерин И.В. Влияние озона и протравителей на посевные качества и оздоровление яровой пшеницы : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.05; 06.01.11 / И.В. Шестерин. – Саратов, 2004. – 148 с.
21. Шхалахов Р.С. Параметры электроозонатора барьерного типа заданной стабильности для предпосевной обработки семян сахарной свеклы : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Р.С. Шхалахов. – Краснодар, 2006. – 153 с.
22. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado / A.F. Rozado, L.R.A. Faroni, W.M.I. Urruchi, R.N.C. Guedes, J.L. Paes // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. – 2008. – Vol. 12. – Pp. 282–285. DOI: 10.1590/s1415-43662008000300009.
23. Influence of ozone on germination and germinating energy of winter wheat seeds / V. Avdeeva, E. Zorina, J. Bezgina, O. Kolosova // Engineering for Rural Development: Proceedings 17<sup>th</sup> International Scientific Conference (Latvia, Jelgava, May 23–25, 2018). – Jelgava, 2018. – Pp. 543–546.
24. Medvedeva L.M. Safe treatment technology for seeds of grain crops / L.M. Medvedeva, O.M. Doronina, V.A. Makhmutkin // Socio-economic and environmental problems of agricultural sector of the Russian economy : International Scientific and Practical Conference (Russia, Chelyabinsk, November 21–23, 2018). – Belgrade : Research Development Center-FBEE, 2018. – Pp. 317–323.
25. Studies of the ozonation process when drying grain / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, V.A. Gulevsky, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming (Russia, Voronezh, October 17–18, 2019). – IOP Publishing Ltd, 2020. – Vol. 422. – No. 012009. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012009.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Иван Васильевич Баскаков – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [vasich2@yandex.ru](mailto:vasich2@yandex.ru).

Владимир Иванович Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [main@agroeng.vsau.ru](mailto:main@agroeng.vsau.ru).

Владимир Васильевич Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [vladva.vasilenko@yandex.ru](mailto:vladva.vasilenko@yandex.ru).

Алексей Михайлович Гиевский – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [aleksey.gievskij@mail.ru](mailto:aleksey.gievskij@mail.ru).

Алексей Викторович Чернышов – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: [lexa-c@yandex.ru](mailto:lexa-c@yandex.ru).

Дата поступления в редакцию 31.10.2020

Дата принятия к печати 15.12.2020

### AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Ivan V. Baskakov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [vasich2@yandex.ru](mailto:vasich2@yandex.ru).

Vladimir I. Orobinsky, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [main@agroeng.vsau.ru](mailto:main@agroeng.vsau.ru).

Vladimir V. Vasilenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [vladva.vasilenko@yandex.ru](mailto:vladva.vasilenko@yandex.ru).

Aleksey M. Gievsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [aleksey.gievskij@mail.ru](mailto:aleksey.gievskij@mail.ru).

Aleksey V. Chernyshov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: [lexa-c@yandex.ru](mailto:lexa-c@yandex.ru).

Received October 31, 2020

Accepted after revision December 15, 2020