

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ КРЕМНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ К БОЛЕЗНЯМ И СНИЖЕНИЯ ПЕСТИЦИДНОЙ НАГРУЗКИ В УСЛОВИЯХ СУХОЙ СТЕПИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

**Сластя Ирина Васильевна**

К. с.-х. н., доцент, Российский государственный  
аграрный университет — Московская  
сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева  
irinaslastya@gmail.com

## THE USE OF SILICON COMPOUNDS TO INCREASE THE RESISTANCE OF SPRING BARLEY TO DISEASES AND REDUCE PESTICIDE LOAD IN DRY STEPPE OF THE LOWER VOLGA REGION

**I. Slastya**

*Summary.* The effect of silicon compounds (seed- and foliar-applied) in organic (TPP) and inorganic (sodium silicate) forms on spring barley diseases in a small-scale field experiment was studied. It was established that application of silicon compounds alone and in the mixture with a reduced rate of fungicide promoted a reduction of diseases of barley varieties Kamyshinsky 23, Donetsk 8, Prairie. The efficiency of silicon compounds depended on weather condition of the growing season, type of application and the response of the varieties. In dry years the use of reduced fungicide rate together with silicon compounds was more effective on all varieties.

*Keywords:* silicon compounds, fungicide ferrax, seed treatment, foliar application, diseases of barley, drought.

*Аннотация.* Изучали действие органической (ТЭС) и неорганической (силикат натрия) форм кремния при обработке семян и вегетирующих растений на пораженность ярового ячменя болезнями в условиях мелкоделяночного полевого опыта. Установлено, что применение соединений кремния как самостоятельно, так и в смеси со сниженной нормой расхода фунгицида способствовало снижению степени развития корневых гнилей и листовых болезней ячменя сортов: Камышинский 23, Донецкий 8, Прерия. Эффективность использования соединений кремния зависела от метеорологических условий, сорта и вида обработки. В засушливые годы на всех сортах более эффективным было использование сниженной нормы расхода фунгицида совместно с соединениями кремния.

*Ключевые слова:* соединения кремния, фунгицид ферракс, обработка семян, опрыскивание растений, болезни ячменя, засуха.

## Введение

**А**ктуальной проблемой сельскохозяйственного производства является повышение устойчивости возделываемых культур к неблагоприятным факторам окружающей среды. Одним из факторов, значительно снижающих продуктивность сельскохозяйственных культур, являются болезни растений, потери урожая зерновых культур от которых в России составляют от 6 до 25 млн. т зерна в год. [1]. В последние годы во всем мире растут масштабы применения пестицидов, что сопровождается увеличением токсической нагрузки на окружающую среду, при этом распространенность и вредоносность болезней остаются высокими.

В Поволжье наибольший ущерб зерновым культурам наносят грибные инфекции. В засушливых районах

на ячмене широкое распространение получили листовые гельминтоспориозы, представленные темно-бурой (возбудитель — *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.), полосатой (возбудитель — *Drechslera graminea*) и сетчатой (возбудитель — *Drechslera teres*) пятнистостями, ринхоспориоз (возбудитель — *Rhynchosporium secalis*), корневые гнили (возбудитель — *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.)), мучнистая роса (возбудитель — *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*), карликовая ржавчина (возбудитель — *Puccinia hordei*). Вредоносность грибных болезней увеличивается в неблагоприятные по погодным условиям годы: засушливые, избыточно влажные, сезоны с чередованием обильных осадков и засухи.

Отрицательные последствия применения пестицидов связаны с появлением устойчивых форм вредных организмов, загрязнением объектов окружающей сре-

ды и сельскохозяйственной продукции, гибелью полезной фауны и почвенных микроорганизмов. Кроме того, эффективность применения пестицидов зависит от степени развития болезней, метеорологических условий, возделываемых сортов и других факторов. Пестициды могут оказывать и фитотоксическое действие на защищаемое растение, особенно в условиях недостаточного влагообеспечения (потери урожая за счет фитотоксичности могут достигать 10% [2]).

О положительной роли кремниевых удобрений в повышении продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур известно давно [3, 4]. В настоящее время усиливается интерес к использованию соединений кремния для обработки семян и вегетирующих растений, внесения с поливной водой. Получены данные о повышении под действием кремния устойчивости растений к дефициту влаги [5–12], засолению [6, 7, 12], недостатку освещенности [13], грибным болезням [3, 4, 12, 14–18] и вредителям [3, 4, 12, 14, 16, 19].

Поступая в растение в виде аниона кремниевой кислоты ( $\text{Si}_2\text{O}_3^{2-}$ ) (в том числе через листья), а также молекул кислот ( $\text{Si}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ ), эфиров кремниевой кислоты [3, 4], кремний откладывается преимущественно в эпидермальных клетках (больше всего в листьях и корнях) и клетках ксилемы, а избыток трансформируется в различные виды фитолитов [3, 22–24]. Локализуется кремний, главным образом, в клеточных стенках, где связываясь с целлюлозой и пектином, образует двойной кремнево-целлюлозный слой, что обуславливает увеличение прочности покровных и механических тканей и способствует повышению устойчивости растений к внедрению патогенов [3, 4, 23, 24].

По некоторым данным использование соединений кремния позволяет повысить эффективность и в некоторых случаях снизить нормы расхода применяемых пестицидов [18, 20]. Силикаты натрия и калия обладают и собственной фунгицидной активностью [14].

Ряд авторов отмечает зависимость эффективности действия соединений кремния от условий увлажнения [5, 6, 9–11, 13, 21] и сортовых различий возделываемых культур [5, 9–11]. В связи с этим представляло интерес изучить действие соединений кремния в наиболее доступных для растений формах при использовании их отдельно и в смеси со сниженными нормами расхода фунгицидов в борьбе с грибными болезнями в условиях сухой степи, характеризующихся длительными атмосферными и почвенными засухами.

Целью исследований являлось изучение влияния соединений кремния отдельно и в смеси с фунгицидом в сниженной норме расхода на пораженность разных

сортов ярового ячменя болезнями при выращивании в естественных условиях действия на растения водного дефицита — зоне сухой степи.

## Материалы и методы исследований

Мелкоделяночный полевой опыт проводили в 2005–2007 гг. в Камышинском районе Волгоградской области на яровом ячмене сортов Камышинский 23, Донецкий 8, Прерия, допущенных к выращиванию в Нижневолжском регионе. Почва опытного участка — каштановая легкосуглинистая. Содержание легкогидролизуемого азота по Тюрину и Кононовой — 46,0, подвижного фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) по Мачигину — 24, обменного калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) по Мачигину — 210 мг/кг почвы,  $\text{pH}_{\text{водн.}}$  — 6,7. Минеральные удобрения вносили под весеннюю культивацию в дозах (кг/га): N30P30K30. Площадь делянки — 1 м<sup>2</sup>. Повторность опыта трехкратная.

В качестве соединений кремния использовали силикат натрия и тетраэтоксисилан (ТЭС) — этиловый эфир ортокремниевой кислоты в концентрации 0,4%. Для предпосевной обработки семян (ОС) использовали ТЭС и силикат натрия, для опрыскивания растений (ОР) — только силикат натрия. Семена обрабатывали из расчета 1,2 мл раствора на 100 г семян (12 л/т). Опрыскивание растений проводили в фазе выхода в трубку. Соединения кремния использовали отдельно и в смеси с фунгицидом (Ферракс 44% в.с.к.) при обработке семян ячменя в сниженной в два раза норме расхода (1,25 л/т). Полная норма фунгицида составляла 2,5 л/т. Ферракс — фунгицид системного действия из класса производных триазола, применяемый как для опрыскивания растений, так и для обработки семян. В контрольном варианте семена обрабатывали водой.

Оценку интенсивности поражения ячменя болезнями проводили дважды за вегетацию по методике А. Е. Чумакова и Т. И. Захаровой [25]: степень развития корневых гнилей (КГ) определяли в фазу всходов и в период уборки урожая, пораженность листостебельными болезнями — в фазы кущения и молочной спелости.

Метеорологические условия в годы исследований различались. Более влажными были 2005 и особенно 2006 годы. Большая часть осадков в 2005 году выпала в периоды: прорастания семян — появления всходов (62,7 мм) и кущения растений (36,2 мм). В период налива зерна количество осадков было незначительным. В 2006 году большая часть осадков выпала в периоды: выхода в трубку (45,5 мм), при этом влажность воздуха составляла 81%, прорастания семян — появления всходов (29,1 мм) и налива зерна (15,5 мм); влажность воздуха в период созревания составляла 75%. Это способствовало развитию листостебельных болезней. Неблагоприятным

Таблица 1. Влияние соединений кремния и фунгицида ферракс на пораженность ячменя корневыми гнилями

Вариант	2005 г.		2006 г.		2007 г.	
	%	% к контр.	%	% к контр.	%	% к контр.
<b>Камышинский 23</b>						
Контроль	5,8	100	6,4	100	7,1	100
Ферракс	3,6	62,1	3,8	59,4	5,8	81,7
Ферракс 0,5+ТЭС (ОС)	3,9	67,2	4,0	62,5	5,4	76,0
Ферракс 0,5+сил. натр. (ОС)	3,0	51,7	4,4	68,8	4,2	59,1
ТЭС (ОС)	5,1	87,9	5,8	90,6	5,9	83,1
Силикат натрия (ОС)	4,1	70,7	4,7	73,4	5,5	77,4
Среднее по фактору А	4,25		4,85		5,65	
<b>Донецкий 8</b>						
Контроль	4,8	100	5,5	100	6,5	100
Ферракс	3,3	68,8	3,5	63,6	5,1	78,5
Ферракс 0,5+ТЭС (ОС)	3,5	72,9	3,6	65,4	4,5	69,2
Ферракс 0,5+сил. натр. (ОС)	3,6	75,0	3,8	69,1	4,2	64,6
ТЭС (ОС)	4,2	87,5	4,5	81,8	5,0	76,9
Силикат натрия (ОС)	3,8	79,2	4,7	85,4	5,3	81,5
Среднее по фактору А	3,87		4,27		5,10	
<b>Прерия</b>						
Контроль	5,2	100	5,8	100	6,0	100
Ферракс	3,8	73,0	3,9	67,2	4,6	76,6
Ферракс 0,5+ТЭС (ОС)	3,1	59,6	3,6	62,1	3,9	65,0
Ферракс 0,5+сил. натр. (ОС)	3,3	63,4	4,0	69,0	4,4	73,3
ТЭС (ОС)	4,4	84,6	5,3	91,4	5,3	88,3
Силикат натрия (ОС)	4,0	76,9	5,0	86,2	5,0	83,3
Среднее по фактору А	3,97		4,60		4,87	
НСР <sub>0,95</sub> ч.р.	0,61		0,72		1,02	
НСР <sub>0,95</sub> А (сорта)	0,20		0,23		0,33	
НСР <sub>0,95</sub> В (обработка) АВ	0,34		0,40		0,57	

для растений был сезон 2007 года в связи с длительной атмосферной и почвенной засухой, длящейся со второй декады мая (фаза кущения) по вторую декаду июня (фаза колошения) — период наибольшей потребности яровых зерновых культур во влаге. Количество осадков в этот период составило всего 10,4 мм. При этом среднесуточная температура воздуха в третьей декаде мая (фаза выхода в трубку) значительно превышала среднемноголетнюю и составляла 27,8 °С. В период налива зерна выпало 40 мм осадков, влажность воздуха составляла 63%, что способствовало увеличению интенсивности поражения болезнями ослабленных засухой растений.

#### Результаты исследований и их обсуждение

В начале вегетации на всех изучаемых сортах ячменя КГ и листовые болезни отсутствовали, в конце вегетации степень их развития была невысокой и не пре-

вышала экономических порогов вредоносности (ЭПВ). Наименьшая степень развития КГ на всех сортах была отмечена в 2005 году, наибольшая — в 2007 году (табл. 1). В большей степени КГ был поражен сорт Камышинский 23. Обработка семян фунгицидом в полной норме расхода снижала степень развития КГ на всех исследуемых сортах ячменя на 18,3–40,6% по отношению к контролю.

Применение фунгицида в сниженной норме расхода совместно с соединениями кремния на всех изучаемых сортах также способствовало достоверному уменьшению степени развития КГ по сравнению с контролем во все годы исследований, при этом существенной разницы с применением фунгицида в полной норме расхода не было, за исключением использования ферракса с силикатом натрия на сорте Камышинский 23 в 2005 и 2007 годах и ферракса с ТЭС на сорте Прерия в 2005 году, когда эффективность смесей была выше, чем одного фунгицида.

Таблица 2. Влияние соединений кремния и фунгицида ферракс на пораженность ячменя сетчатой пятнистостью

Вариант	2005 г.		2006 г.		2007 г.	
	%	% к контр.	%	% к контр.	%	% к контр.
<b>Камышинский 23</b>						
Контроль	6,5	100	8,3	100	9,4	100
Ферракс	4,5	69,2	6,4	77,1	7,5	79,8
Ферракс 0,5+ТЭС (ОС)	4,8	73,8	6,7	80,7	7,2	76,6
Ферракс 0,5+силикат натрия (ОС)	4,6	70,8	6,5	78,3	6,9	73,4
ТЭС (ОС)	5,6	86,1	7,8	94,0	8,6	91,5
Силикат натрия (ОС)	5,5	84,2	7,6	91,6	8,4	89,4
Контроль (ОС) + силикат натрия (ОР)	5,3	81,5	7,0	84,3	8,1	86,2
ТЭС (ОС) + силикат натрия (ОР)	5,0	76,9	6,7	80,7	7,8	83,0
Силикат натрия (ОС + ОР)	4,8	73,8	6,4	77,1	7,4	78,7
Среднее по фактору А	5,18		7,04		7,92	
<b>Донецкий 8</b>						
Контроль	6,0	100	7,2	100	8,5	100
Ферракс	4,6	76,7	4,8	66,7	6,2	72,9
Ферракс 0,5+ТЭС (ОС)	4,5	75,0	4,5	62,5	5,8	68,2
Ферракс 0,5+сил. натр. (ОС)	4,8	80,0	5,3	73,6	5,9	69,4
ТЭС (ОС)	5,4	90,0	6,7	93,0	7,1	83,5
Силикат натрия (ОС)	5,3	88,3	6,9	95,8	6,5	76,5
Контроль (ОС) + силикат натрия (ОР)	4,9	81,7	6,3	87,5	7,3	85,6
ТЭС (ОС) + силикат натрия (ОР)	4,7	78,3	6,0	83,3	6,4	75,3
Силикат натрия (ОС + ОР)	4,5	75,0	6,1	84,7	6,0	70,6
Среднее по фактору А	4,97		5,98		6,63	
<b>Прерия</b>						
Контроль	4,8	100	6,2	100	6,8	100
Ферракс	3,5	72,9	4,0	64,5	5,6	82,3
Ферракс 0,5+ТЭС (ОС)	3,8	79,2	4,4	71,0	5,7	83,8
Ферракс 0,5+сил. натр. (ОС)	4,0	83,3	4,7	75,8	5,5	80,9
ТЭС (ОС)	4,0	83,3	5,9	95,1	5,9	86,7
Силикат натрия (ОС)	4,2	87,5	5,3	83,9	5,8	85,3
Контроль (ОС) + силикат натрия (ОР)	3,7	77,1	5,1	82,2	5,8	85,3
ТЭС (ОС) + силикат натрия (ОР)	3,5	72,9	5,0	80,6	5,4	79,4
Силикат натрия (ОС + ОР)	3,3	68,8	4,6	74,2	5,2	76,2
Среднее по фактору А	3,87		5,02		5,74	
НСР $_{0,95}$ ч.р.	0,70		1,00		0,90	
НСР $_{0,95}$ А (сорта)	0,22		0,32		0,30	
НСР $_{0,95}$ В (обработка), АВ	0,40		0,58		0,51	

Самостоятельное применение ТЭС и силиката натрия на сорте Донецкий 8 во все годы исследований снижало пораженность КГ по сравнению с контролем соответственно на 12,5–18,2 и 14,9–20,8%. На сортах Камышинский 23 и Прерия применение силиката натрия было эффективнее, чем ТЭС. Так, применение ТЭС достоверно снижало пораженность КГ сорта Камышинский 23 только в 2005 и 2007 годах соответственно на 12,1% и 16,9%, силиката натрия — во все годы исследований

на 22,6–29,3%. На сорте Прерия обработка семян силикатом натрия во все годы снижала степень развития КГ на 13,8–23,1%, ТЭС — только в 2005 году — на 15,4%. На всех сортах ТЭС уступал в эффективности смеси его с половинной нормой расхода ферракса и полной норме расхода фунгицида. Эффективность применения силиката натрия и его смеси с фунгицидом в 2005 и 2007 годах на всех сортах была на уровне действия фунгицида в полной норме расхода. Лишь во влажном 2006 году эф-

Таблица 3. Влияние соединений кремния и фунгицида ферракс на пораженность ячменя мучнистой росой и ринхоспориозом (2006 г.)

Вариант	Мучнистая роса		Ринхоспориоз	
	%	% к контр.	%	% к контр.
<b>Камышинский 23</b>				
Контроль	4,8	100	5,7	100
Ферракс	3,4	70,8	4,3	75,4
Ферракс 0,5+ТЭС (ОС)	3,6	75,0	4,0	70,2
Ферракс 0,5+силикат натрия (ОС)	3,7	77,1	3,9	68,4
ТЭС (ОС)	4,6	95,8	5,1	89,5
Силикат натрия (ОС)	4,0	83,3	4,9	86,0
Контроль (ОС) + силикат натрия (ОР)	4,1	85,0	5,0	87,7
ТЭС (ОС) + силикат натрия (ОР)	3,5	72,3	4,8	84,2
Силикат натрия (ОС + ОР)	3,7	77,1	4,6	80,7
Среднее по фактору А	3,93		4,70	
<b>Донецкий 8</b>				
Контроль	4,2	100	5,3	100
Ферракс	3,2	76,1	4,2	79,2
Ферракс 0,5+ТЭС (ОС)	3,0	71,4	3,5	66,0
Ферракс 0,5+силикат натрия (ОС)	3,3	78,5	4,5	84,9
ТЭС (ОС)	3,5	83,3	4,6	86,8
Силикат натрия (ОС)	3,6	85,7	4,7	88,5
Контроль (ОС) + силикат натрия (ОР)	3,8	90,0	4,7	88,5
ТЭС (ОС) + силикат натрия (ОР)	3,0	71,4	4,3	81,1
Силикат натрия (ОС + ОР)	3,2	76,2	4,3	81,1
Среднее по фактору А	3,42		4,46	
<b>Прерия84,4</b>				
Контроль	3,2	100	4,5	100
Ферракс	2,8	87,5	3,8	84,4
Ферракс 0,5+ТЭС (ОС)	2,5	78,1	3,7	82,2
Ферракс 0,5+силикат натрия (ОС)	2,1	65,6	3,5	77,8
ТЭС (ОС)	3,0	93,8	4,0	88,8
Силикат натрия (ОС)	2,5	78,1	4,1	91,1
Контроль (ОС) + силикат натрия (ОР)	2,8	87,5	3,8	84,4
ТЭС (ОС) + силикат натрия (ОР)	2,4	75,0	3,5	77,8
Силикат натрия (ОС + ОР)	2,2	68,8	3,4	75,6
Среднее по фактору А	2,61		3,81	
НСР <sub>0,95</sub> ч.р.	0,40		0,70	
НСР <sub>0,95</sub> А (сорта)	0,13		0,22	
НСР <sub>0,95</sub> В (обработка), АВ	0,23		0,40	

фективность применения полной нормы расхода ферракса была выше.

Во все годы исследований все сорта были поражены сетчатой пятнистостью (табл. 2). Во влажном 2006 году были отмечены также мучнистая роса и ринхоспориоз (табл. 3).

Пораженность ячменя сетчатой пятнистостью была невысокой: в большей степени был поражен сорт Камышинский 23, в меньшей — Прерия. Применение ферракса снижало степень развития болезни на 17,7–

35,5% по отношению к контролю (большой эффект был во влажные годы). Применение смеси фунгицида совместно с соединениями кремния не уступало действию полной нормы фунгицида, снижая пораженность сорта Камышинский 23 на 19,3–29,2%, Донецкий 8 — на 20,0–37,5%, Прерия — 16,2–29,0% по отношению к контролю, при этом ТЭС и силикат натрия не имели преимуществ друг перед другом. Самостоятельное использование для обработки семян соединений кремния не влияло на развитие болезни в 2006 г., в 2005 и 2007 годах применение силиката натрия было эффективнее, чем ТЭС. Опрыскивание ячменя силикатом натрия во все годы исследова-

ний приводило к снижению степени развития болезни по сравнению с контролем: на сорте Камышинский 23 на 13,8–18,5%, Донецкий 8 — на 12,5–18,3%, Прерия — на 14,7–22,9%.

Наиболее низкой пораженностью сетчатой пятнистостью была в вариантах с обработкой как семян, так и растений: снижение степени развития болезни по отношению к контролю составляло на сорте Камышинский 23 17,0–26,2%, Донецкий 8–15,3–29,4%, Прерия — 19,4–31,2%, что не уступало действию одного ферракса в 2005 и 2007 годах на всех трех сортах и в 2006 году — на сорте Камышинский 23. На сорте Донецкий 8 в 2006 году применение фунгицида было эффективнее двойной обработки соединениями кремния; на сорте Прерия — эффективнее, чем сочетания опрыскивания с обработкой семян ТЭС, но не уступало двойной обработке силикатом натрия.

Степень развития мучнистой росы более пораженных сортов Камышинский 23 и Донецкий 8 в вариантах с применением смесей фунгицида с ТЭС и силикатом натрия была на уровне варианта с полной нормой фунгицида, на сорте Прерия это наблюдалось только при применении смеси с силикатом натрия. Самостоятельное применение ТЭС снижало пораженность ячменя мучнистой росой только сорта Донецкий 8 — на 16,7%, а силиката натрия — всех сортов — на 14,3–21,9%.

Опрыскивание силикатом натрия уменьшало степень развития болезни на всех сортах на 10–15%, его сочетание с обработкой семян ТЭС — на 25,0–28,6%, с обработкой семян силикатом натрия — на 22,9–31,2%. На сорте Прерия при двойной обработке кремнием степень развития болезни была ниже, чем при использовании полной нормы фунгицида.

В отношении ринхоспориоза на сорте Камышинский 23 эффективным было только применение для обработки семян силиката натрия, на сорте Донецкий 8 — только ТЭС. На сорте Прерия соединения кремния не влияли на развитие ринхоспориоза, при этом ниже, чем на других сортах, была и эффективность применения одного фунгицида как в отношении ринхоспориоза, так и в отношении мучнистой росы. На всех сортах наименьшие значения пораженности ячменя ринхоспориозом были в вариантах использования фунгицида с соединениями кремния. Опрыскивание силикатом натрия снижало степень развития болезни на исследуемых сортах на 11,5–15,6% по отношению к контролю.

Повышение устойчивости ячменя к болезням в результате применения соединений кремния мы связываем как с влиянием на утолщение стенок эпидермальных клеток, затрудняющего прорастание ростовых

трубок грибов, так и с влиянием на химический состав растений, в частности — на повышение окислительно-восстановительного потенциала клеточного сока, что замедляют развитие гиф гриба, вследствие ухудшения обеспечения его кислородом [3]. Кроме того, ранее нами установлено, что применение силиката натрия на фоне резкого водного дефицита для обработки семян и опрыскивания растений, способствовало активизации приспособительных реакций ячменя за счет увеличения содержания гормона стресса — абсцизовой кислоты (АБК) и гормонов-стимуляторов (ауксинов, гиббереллинов и цитокинов) [14]. Таким образом, соединения кремния положительно влияют на разнообразные механизмы формирования устойчивости растений к грибной инфекции.

Прибавки урожая от использования соединений кремния и их смесей с фунгицидом в сниженной норме расхода составляли 5,7–26% по отношению к контролю в зависимости от сорта, вида обработки и вегетационного сезона. Применение ферракса в полной норме расхода увеличивало урожайность сорта Камышинский 23 только во влажном 2006 году — на 13,8%, Донецкий 8 — только в 2005 и 2006 годах — соответственно на 7,4 и 10,3%. У сорта Прерия достоверных прибавок урожая в годы исследований получено не было [26].

## Заключение

Применение соединений кремния в большей степени снижало пораженность КГ, в меньшей — ринхоспориозом и сетчатой пятнистостью, при этом силикат натрия при обработке семян в целом за годы исследований оказался эффективней, чем ТЭС, особенно на более пораженном сорте Камышинский 23. Опрыскивание силикатом натрия во все годы исследований в равной степени снижало пораженность ячменя листостебельными болезнями у трех сортов, что мы связываем с действием кремния непосредственно на ассимиляционную поверхность листьев, его поглощением через них и собственной фунгицидной активностью силиката натрия. Наибольшая эффективность применения соединений кремния на всех сортах наблюдалась в умеренно влажном 2005 году, когда распределение осадков в течение вегетационного сезона в меньшей степени способствовало развитию болезней. Эффективность полной нормы фунгицида наибольшей была во влажном 2006 году, наименьшей — в засушливом 2007 году. Применение соединений кремния совместно со сниженной нормой расхода ферракса в годы исследований не уступало полной норме расхода фунгицида, а в некоторых случаях превосходило ее, поэтому для условий сухой степи его можно рекомендовать для повышения эффективности действия фунгицидов в отношении болезней ярового ячменя и уменьшения пестицидной нагрузки на агроэкосистемы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Болезни зерновых колосовых культур: рекомендации по проведению фитосанитарного мониторинга / Санин С. С., Соколов Е. А., Черкашин В. Н. и др. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. — 140 с.
2. Кошелева А. Б., Нижарадзе Т. С. Современные методы защиты семян сельскохозяйственных культур от болезней. — Самара: Самарская ГСХА, 2008. — 209 с.
3. Yoshida S. The physiology of silicon in rice // *Food Fert. Tech. Centr. Tech. Bull. Taipei*. — 1975. — № 4. — P. 28–34.
4. Алешин Н. Е. О биологической роли кремния у риса // *Вестн. с.-х. науки*. — 1988. — Т. 10. — С. 77–85.
5. Баранов А. В., Серегина И. И. Влияние обработки семян кремнием на продуктивность яровой пшеницы в условиях дефицита влаги в почве // *Бюл. ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова*. — М., 2005. — С. 135–136.
6. Верниченко И. В., Осипова Л. В., Яковлев П. А., Быковская И. А., Литвинский В. А. Влияние предпосевной обработки семян пшеницы и тритикале соединениями селена, кремния и цинка на поглощение растениями меченого <sup>15</sup>N нитратного азота в стрессовых условиях выращивания // *Агрохимия*. — 2017. — № 3. — С. 10–19.
7. Матыченков В. В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: Автореф. дис. . . . д-ра биол. наук. — Пущино, 2008. — 34 с.
8. Пушкина Г. П., Сидельников Н. И. Роль кремния в повышении продуктивности и адаптации лекарственных культур к засушливым погодным условиям // *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. — 2016. — № 12. — С. 249–252.
9. Сластя И. В. Использование соединений кремния для повышения продуктивности сортов ярового ячменя в условиях водного стресса // *Сел.-хоз. биол.* — 2013. — № 2. — С. 109–119.
10. Сластя И. В., Ложникова В. Н., Кондратьева В. В., Ниловская Н. Т. Действие водного стресса и соединений кремния на содержание эндогенных фитогормонов и рост ярового ячменя // *Агрохимия*. — 2013. — № 8. — С. 38–48.
11. Eneji E., Inanaga S., Muranaka S., Li J., Hattori T., An P., Tsuji W. Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers // *J. Plant Nutr.* — 2008. — № 31(2). — P. 355–365.
12. Chanchal M. C. H., RitiThapar K., Deepak G. Alleviation of abiotic and biotic stresses in plants by silicon supplementation // *Sci. Agricult.* — 2016. — V. 13. — № 2. — P. 59–73.
13. Ермаков Е. И., Мухоморов В. К. Антистрессовое воздействие кремнийсодержащего хелатного микроудобрения на растения при некорневой обработке в защищенном грунте // *Гавриш*. — 2001. — № 3. — С. 16–18.
14. Воронков М. Г., Кузнецов И. Г. Кремний в живой природе. — Новосибирск: Наука, 1984. — 157 с.
15. Козлов Ю. В., Самсонова Н. Е., Новикова Н. Е. Сравнительная оценка мивала-агро, brassinosterоидных препаратов и протравителя семян при выращивании яровых зерновых на дерново-подзолистой почве // *Вестник Орловского государственного аграрного университета*. — 2010. — № 2 (23). — С. 54–59.
16. Куликова А. Х. Роль кремния и кремнийсодержащих материалов в защите растений от вредителей и болезней // *Сб. мат. V Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути решения»*. Ульяновск: Ульяновская ГСХА, 2013. — С. 42–46.
17. Пашкевич Е. Б., Киришин Е. П. Роль кремния в питании растений и защите сельскохозяйственных культур от фитопатогенов // *Пробл. агрохим. и экол.* — 2008. — № 2. — С. 52–57.
18. Шмакова Н. В. Влияние соединений кремния и кремнийфунгицидных смесей на фитосанитарное состояние семян яровой пшеницы // *Адаптивные технологии в растениеводстве. Итоги и перспективы*. — Ижевск: Ижевская ГСХА, 2003. — С. 159–161.
19. Лось С. Л., Борздыко Е. В., Анищенко Л. Н., Прохоренко Ф. В. Устойчивость культурных растений к биотическим стрессам в условиях модельного использования препарата «Ковелос» // *Сб. «Applied and Fundamental Studies. Proceedings of the 13th International Academic Conference*. — 2017. — С. 11–18.
20. Добрева Н. И., Габдрахманов И. Х., Дорожкина Л. А. Применение регуляторов роста и силипланта для повышения урожайности зерновых и снижения пестицидной нагрузки // *Нива Поволжья*. — 2014. — № 1(30). — С. 42–49.
21. Самсонова Н. Е., Козлов Ю. В., Зайцева З. Ф., Шупинская И. А. Эффективность соединений кремния при обработке семян и растений кукурузы (*Zea Mays* L.) // *Агрохимия*. — 2017. — № 1. С. — 12–18.
22. Айлер Р. Химия кремнезема. В 2-х т. — М.: Мир, 1982. — 1127 с.
23. Ефимова Г. В., Дякунчук С. А. Анатомо-морфологическое строение эпидермиса листьев риса и повышение его защитной функции под влиянием кремния // *Сел.-хоз. биол.* — 1986. — № 3. — С. 57–61.
24. Ma J. F. Function of silicon in higher plants // *Prog. Mol. Subcell. Biol.* — 2003. — V. 33. — P. 127–147.
25. Чумаков А. Е., Захарова Т. И. Вредоносность болезней сельскохозяйственных культур. — М.: Агропромиздат, 1990. — 127 с.
26. Сластя И. В. Влияние соединений кремния и фунгицида ферракс на урожайность сортов ярового ячменя в условиях сухой степи Нижнего Поволжья // *Агрохимия*. — 2018. — № 10. — С. 79–94.