

УДК 633.11

Ростовая модель прогноза продуктивности яровой пшеницы Любава на фоне предпосевной обработки семян препаратом «Экобиосфера Б»

Виноградова В.С.¹, Бородий С.А.¹, Макаров С.С.²

¹Костромская ГСХА

²РГАУ—МГСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация

Предмет исследования — яровая пшеница сорта Любава, возделываемая на фоне предпосевной обработки семян препаратом «Экобиосфера Б» в Костромской области. Цель — разработать имитационно-динамические модели сезонного прогноза для управления ростом и развитием яровой пшеницы Любава в производственных условиях путем предпосевной обработки семян препаратом «Экобиосфера Б». Исследования проводили в 2023 г. на опытном поле ФГБОУ ВО Костромской ГСХА. Предпосевная обработка семян препаратом «Экобиосфера Б» (1,0 л/т семян) способствовала ускорению прохождения фенологических фаз развития в середине периода вегетации яровой пшеницы Любава на 7 суток по сравнению с контрольными (без обработки семян) растениями. Рассчитана теплоемкость фенологических фаз развития для прогнозирования календарных сроков динамики развития растений от даты посева до уборочной спелости на основании прогноза тепловых ресурсов текущего года. Точность расчета по моделям прогноза динамики ростовых процессов на период вегетации с корректирующими коэффициентами эффективности нормы расхода препарата «Экобиосфера Б» составляла: «Экобиосфера Б» (0,5 л/т семян): высота растения — 99,29%, массы фитоорганов влажностью 13%: наземная активная фитомасса — 95,25%, листьев — 89,00%, стебля — 91,47%, элементов колоса — 97,00%, плодов — 92,00%. «Экобиосфера Б» (1,0 л/т семян): высота растения — 99,07%, массы фитоорганов влажностью 13%: наземная активная фитомасса — 91,97%, листьев — 90,08%, стебля — 84,08%, элементов колоса — 88,69%, плодов — 88,27%. Динамические модели обеспечивают прогноз продуктивности растения и урожайности яровой пшеницы Любава минимум за 80...90 суток до начала уборочных работ.

Ключевые слова: ЯРОВАЯ ПШЕНИЦА, *TRITICUM AESTIVUM*, «ЭКОБИОСФЕРА Б», ПРОГНОЗ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ФАЗ РАЗВИТИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИМИТАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, РОСТОВАЯ МОДЕЛЬ, УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ РОСТА И РАЗВИТИЯ

Введение

Одной из главных зерновых культур в мировом сельскохозяйственном производстве является яровая пшеница, что обуславливает многочисленные исследования, направленные на изучение технологических операций ее возделывания с целью антропогенного управления продукционным процессом для повышения урожайности. К ним относятся приёмы обработки почвы, сорта, нормы высева, сроки, дозы и способы применения органических и минеральных удобрений (гуматы, органо-минеральные комплексы и др.), средства защиты от вредоносных объектов, способы уборки и др. [1, 2].

Применяются методики планирования урожайности, основанные на заранее заданных значениях параметров структуры урожая [3]. Постоянно создаются и новые препараты для управления формированием урожайности, одним из которых является «Экобиосфера Б», разработанный учёными и специалистами предприятия ООО «ЭкоБиосфера».

Однако на практике приближение параметров посева к заданным не всегда получается обеспечить, поскольку на рост и развитие культурных растений прямо или косвенно действуют сотни взаимодействующих друг с другом факторов. Следовательно, кроме планирования урожайности, требуется последующий мониторинг и прогноз ее формирования на весь период вегетации, то есть получение значения фактических фитометрических параметров посева еще в начале вегетации для последующего прогноза с применением имитационно-динамических моделей роста и развития. Это обеспечивает возможность прогнозирования урожайности и обоснование необходимости и способа корректировки перечня технологических операций задолго до уборки урожая. Корректировка прогноза становится возможной при введении в модель прогноза коэффициента эффективности технологической операции.

В настоящей работе приводятся ростовые модели и методика прогноза урожайности пшеницы, основанная на значении входных параметров, полученных в

ранние фазы развития растения, прогнозируемых тепловых ресурсов периода вегетации текущего года и коэффициентов эффективности препарата «Экобиосфера Б».

Цель исследования — разработать имитационно-динамические модели сезонного прогноза для управления ростом и развитием яровой пшеницы Любава в производственных условиях путем предпосевной обработки семян препаратом «Экобиосфера Б».

Материалы и методы

Исследования проводили в 2023 г. на опытном поле ФГБОУ ВО Костромской ГСХА. Семена яровой пшеницы сорта Любава, обработанные перед посевом препаратом «Экобиосфера Б», посеяны на фоне естественного плодородия почвы 06 мая 2023 года. Почва участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая, рН 4,86, содержание в почве гумуса 1,74%, подвижного фосфора 182,00 мг/кг, обменного калия 73,00 мг/кг, Са 3,99 моль/100г, Mg 0,56 моль/100г. Технология возделывания общепринятая для Костромской области. Предшественник — лен-долгунец, основная обработка почвы — зяблевая вспашка на глубину 20,0...22,0 см, предпосевная культивация с выравниванием и прикатыванием на глубину 4,0...5,0 см, норма высева 4,5 млн всхожих семян/га на глубину 4,0...5,0 см. Для защиты растений от сорняков применялся гербицид Агритокс (0,9 л/га) в фазу начала кущения.

Состав препарата «Экобиосфера Б»: массовые доли: сухого вещества 4,0...7,0%; органического вещества, в сухом веществе 85,0...95,0%; гуминовых кислот, в сухом веществе 75,0...85,0%; фульвокислот, в сухом веществе 10,0...15,0%; аминокислот, от беззольного остатка — присутствие; азота общего азота (N) в сухом веществе не менее 0,8%; K₂O не менее 1,3%; CaO не менее 0,5%; MgO не менее 0,1%; SiO₃ — присутствие; Fe не менее 0,2%; Mn, Cu, Zn, B, Mo — присутствие; рН_{KCl}—9,0...10,0.

Схема опыта: 1. Без обработки семян (контроль); 2. Экобиосфера Б 0,5 л/т семян; 3. Экобиосфера Б 1,0 л/т семян. Повторность трехкратная, площадь делянки 15 м².

Фенологические фазы развития регистрировали по методике [4].

Учет динамики наземной фитомассы проводили с интервалом 7 суток от всходов до твердой спелости зерновки. Единичная учетная выборка состояла из 10 растений в четырехкратной повторности. Измеряли высоту центрального стебля, разделяли наземную

Виноградова В.С., Бородий С.А., Макаров С.С. Ростовая модель прогноза продуктивности яровой пшеницы Любава на фоне предпосевной обработки семян препаратом «Экобиосфера Б»

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

Фенологическая фаза	Вариант	14.05.	19.05.	26.05.	01.06.	30.06.	06.07.	14.07.	20.07.	29.07.	04.08.	11.08.	18.08.
	семена 1,0		100										
3-й лист	без обработки (контроль)			30	60								
	семена 0,5			70	78								
	семена 1,0			100									
колошение	без обработки (контроль)					10	10						
	семена 0,5					40							
	семена 1,0					90							
цветение	без обработки (контроль)						10	30					
	семена 0,5						40	40					
	семена 1,0						90	20					
формирование зерновки	без обработки (контроль)							70	10				
	семена 0,5							60	10				
	семена 1,0							80					
молочная спелость	без обработки (контроль)								90	60			
	семена 0,5								90	40			
	семена 1,0								100	20			
молочно-восковая спелость	без обработки (контроль)									40	80		
	семена 0,5									60	70		
	семена 1,0									80	70		
восковая спелость	без обработки (контроль)										20	100	
	семена 0,5										30	100	
	семена 1,0										30	100	
твердая спелость	без обработки (контроль)												100
	семена 0,5												100
	семена 1,0												100

Примечание: 1 — Без обработки семян; 2 — Экобиосфера Б 0,5 л/т семян; 3 — Экобиосфера Б 1,0 л/т семян.

Для сезонного прогноза фенологических фаз развития пшеницы с учетом предпосевной обработки семян препаратом «Экобиосфера Б» была рассчитана

теплоемкость фаз, обеспечивающая точность прогноза календарных сроков на уровне 95,0...97,0 % (табл. 2) [6].

Таблица 2. Теплоемкость фенологических фаз развития яровой пшеницы Любава на фоне обработки семян препаратом «Экобиосфера Б»

Фаза развития	Без обработки семян (контроль)		Экобиосфера 0,5 л/т семян		Экобиосфера 1,0 л/т семян	
	Календарная дата наступления фазы	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Календарная дата наступления фазы	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Календарная дата наступления фазы	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг
Посев	06.05.2023	0,00	06.05.2023	0,00	06.05.2023	0,00
Всходы	14.05.2023	159,59	14.05.2023	159,59	14.05.2023	159,59
1-й лист	19.05.2023	315,50	19.05.2023	315,50	*	*
2-й лист	26.05.2023	582,30	26.05.2023	582,30	19.05.2023	315,50
3-й лист	01.06.2023	745,23	01.06.2023	745,23	26.05.2023	582,30
Кущение	09.06.2023	1017,88	*	*	*	*
Выход в трубку	23.06.2023	1438,95	16.06.2023	1234,92	16.06.2023	1234,92
Колошение	30.06.2023	1716,27	30.06.2023	1716,27	30.06.2023	1716,27
Цветение	06.07.2023	1972,98	06.07.2023	1972,98	06.07.2023	1972,98
Формирование зерновки	14.07.2023	2294,83	14.07.2023	2294,83	14.07.2023	2294,83
Молочная спелость	20.07.2023	2560,82	20.07.2023	2560,82	20.07.2023	2560,82
Молочно-восковая спелость	04.08.2023	3259,13	29.07.2023	2963,03	29.07.2023	2963,03
Восковая спелость	11.08.2023	3642,04	11.08.2023	3642,04	11.08.2023	3642,04
Твердая спелость	18.08.2023	4001,35	18.08.2023	4001,35	18.08.2023	4001,35

Примечание: * —нет данных.

Динамика высоты растения

Эффект обработки семян препаратом «Экобиосфера Б» проявлялся не только в ускорении фаз развития, но и в варьировании фитометрических параметров растений. Существенное превышение высоты пшеницы в опытных вариантах по сравнению с контрольным наблюдалось от середины июня, когда растения, выросшие из обработанных семян, достигли фазы выхода в трубку (рис. 1).

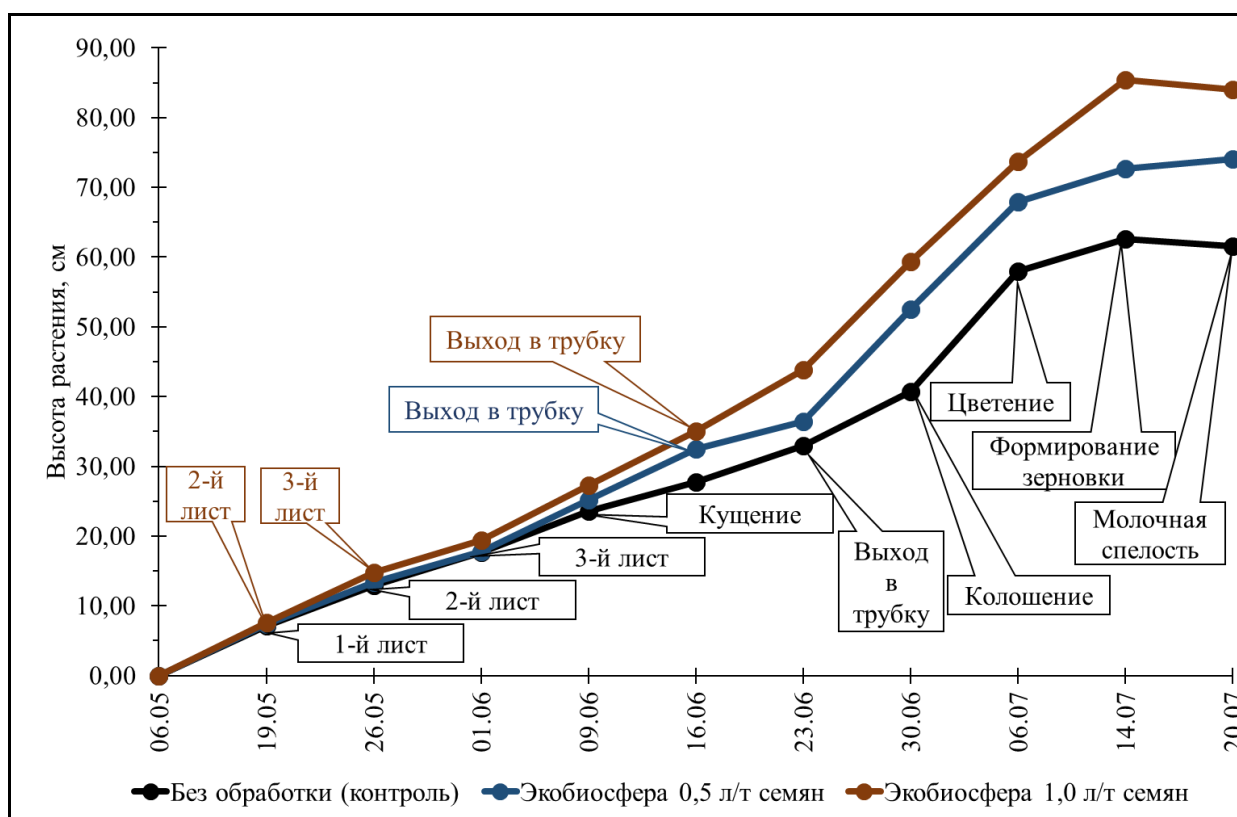


Рис. 1. Динамика высоты растения яровой пшеницы Любава, 2023 г. (ориг.)

Модель динамики высоты стеблестоя в зависимости от суммарной энтальпии воздуха состоит из системы уравнений, изначально рассчитанных для контрольного варианта, то есть на фоне естественного плодородия почвы без дополнительного антропогенного воздействия (табл. 3).

Таблица 3. Система уравнений динамики высоты растений яровой пшеницы Любава

Диапазон суммарной энтальпии воздуха, C_p , КДж/кг	Уравнение динамики высоты растения	Коэффициент обработки H''	
		Экобиосфера Б 0,5 л/т семян	Экобиосфера Б 1,0 л/т семян
315,50...1017,88	$h = 0,0201 \cdot C_p^{1,0195}$	0,0000	0,0000
1017,89...1438,95	$h = 0,0201 \cdot C_p^{1,0195}$	0,0589	0,3044
1438,96...1716,27	$h = 0,0674 \cdot C_p - 74,8850$	0,0589	0,3044
1716,28...2560,82	$h = 30,5070 \cdot \ln(C_p) - 173,4600$	0,0589	0,3044

Динамичность модели прогноза высоты обеспечивается коэффициентом (h'), рассчитываемым как разница эмпирической (hf) и рассчитанной по уравнению (см табл. 3) высотой растения от календарной даты посева до даты учета. Для корректировки по эффективности предпосевной обработки семян препаратом Экобиосфера Б вводим коэффициент H'' :

$$\begin{aligned} h_s &= h + (h \cdot H'') \\ h &= f(Cp) + h' \\ h' &= hf - f(Cpf), \end{aligned} \quad (1)$$

где: h_s — прогнозируемая высота растения, см; h — расчетная высота растения, см (табл. 3); Cp — суммарная энтальпия воздуха, КДж/кг; H'' — коэффициент обработки (табл. 3); $f(Cp)$ — уравнение динамики высоты растения (табл. 3); h' — динамический коэффициент; hf — эмпирическая высота растения на календарную дату начала расчета прогноза, см; Cpf — суммарная энтальпия воздуха от календарной даты посева до даты учета, КДж/кг.

Сезонный прогноз динамики высоты растений соответствовал эмпирическим данным на 99,29% в варианте Экобиосфера Б 0,5 л/т семян и 99,07% в варианте Экобиосфера Б 1,0 л/т семян (табл. 4).

Таблица 4. Верификация модели прогноза динамики высоты яровой пшеницы Любава

Дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, КДж/кг	Экобиосфера Б 0,5 л/т семян		Экобиосфера Б 1,0 л/т семян	
		Эмпирич., см	Прогноз., см	Эмпирич., см	Прогноз., см
19.05.2023	315,50	7,37	7,37	7,63	7,63
26.05.2023	582,30	13,42	13,53	14,78	13,79
01.06.2023	745,23	17,82	17,32	19,46	17,58
09.06.2023	1017,88	25,18	23,69	27,26	23,95
16.06.2023	1234,92	32,53	30,49	35,06	37,90
23.06.2023	1438,95	36,42	35,58	43,80	44,17
30.06.2023	1716,27	52,52	43,49	59,41	53,91
06.07.2023	1972,98	67,95	61,71	73,75	76,36
14.07.2023	2294,83	72,70	66,60	85,46	82,37
20.07.2023	2560,82	74,02	70,14	84,04	86,74
R^2		0,9929		0,9907	

Практическое применение прогноза высоты обусловлено необходимостью заблаговременного планирования потребности применения ретардантов. Следует отметить, что в нашем опыте при максимальной высоте растений 84,04 см полегания стеблей при отсутствии внешних неблагоприятных факторов (обильные ливневые осадки, сильный ветер и др.) не наблюдалось.

Динамика наземной активной фитомассы.

Существенное превышение наземной активной фитомассы на фоне обработки семян препаратом «Экобиосфера Б» наблюдалось в первой декаде мая, когда растения достигли фазы конца кущения-начала выхода в трубку, опережая таковые в контрольном варианте на 7 суток. Увеличение дозы препарата на 50% обусловило формирование большей, чем в варианте Экобиосфера Б 0,5 л/т семян и эта тенденция сохранялась до конца вегетации пшеницы (рис. 2).

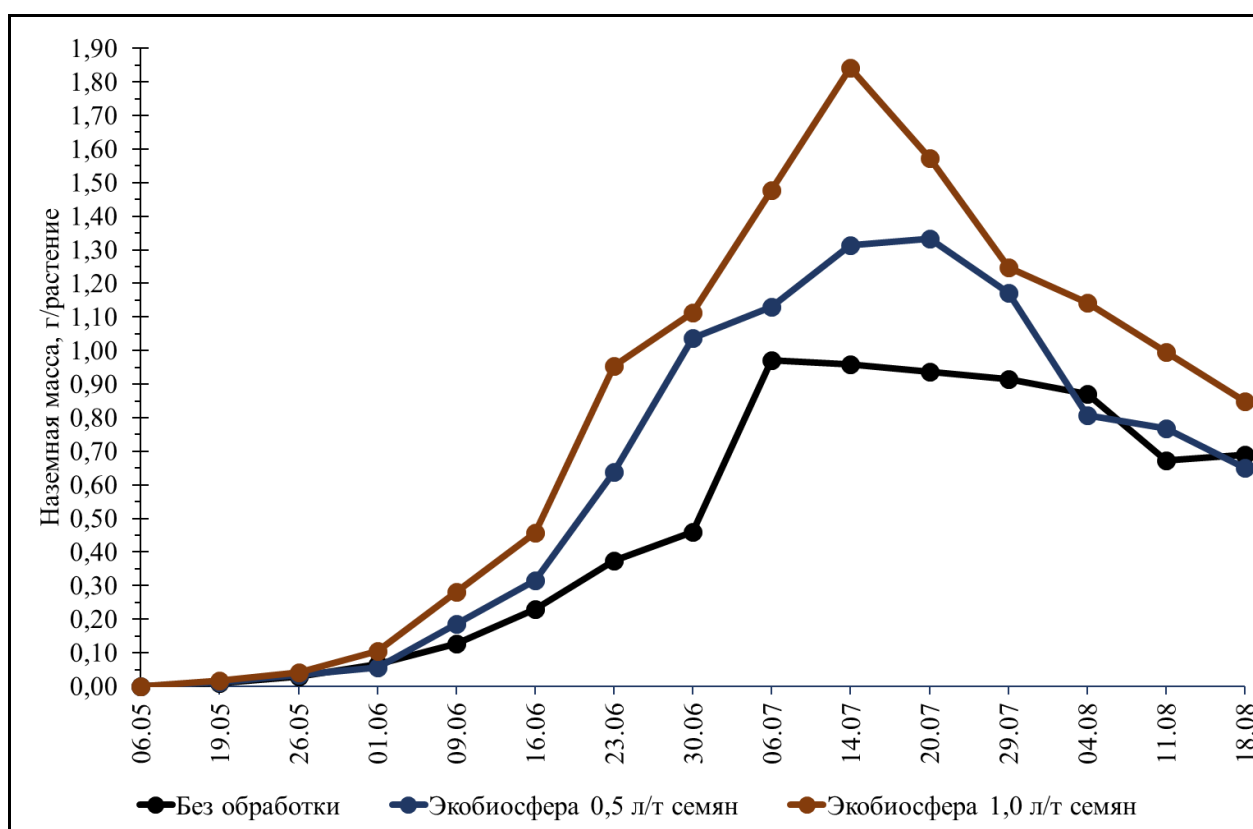


Рис. 2. Динамика наземной активной фитомассы (влажность 13%) яровой пшеницы Любава, 2023 г. (ориг.)

Динамика фитомассы аппроксимирована следующей системой уравнений (табл. 5).

Таблица 5. Система уравнений динамики наземной активной фитомассы растений яровой пшеницы Любава

Диапазон суммарной энтальпии воздуха, C_p , КДж/кг	Уравнение динамики наземной активной фитомассы	Коэффициент обработки M''	
		Экобиосфера Б 0,5 л/т семян	Экобиосфера Б 1,0 л/т семян
315,50...1017,87	$Ma = 0,0069 \cdot e^{0,0026 \cdot C_p}$	0,0000	0,0000
1017,88...1972,97	$Ma = 0,0069 \cdot e^{0,0026 \cdot C_p}$	0,4531	1,1953
1972,98...3259,12	$Ma = -7E - 0,5 \cdot C_p + 1,1265$	0,4531	0,5216
3259,13...4001,35	$Ma = 11382 \cdot C_p^{-1,177}$	0,0000	0,5216

Для корректировки по эффективности обработки семян вводим коэффициент M'' .

$$Ma_s = Ma + (Ma \cdot M'')$$

$$Ma = f(C_p) + Ma' \tag{2}$$

$$Ma' = Ma_f - f(C_p f),$$

где Ma_s — прогнозируемая наземная активная фитомасса (влажность 13%), г/растение; Ma — расчетная наземная активная фитомасса (влажность 13%), г/растение (табл. 5); C_p — суммарная энтальпия воздуха, КДж/кг; M'' — коэффициент обработки (табл. 5); $f(C_p)$ — уравнение динамики воздушно-сухой (13%) наземной активной фитомассы растения (табл. 5); Ma' — динамический коэффициент, г/растение; Ma_f — эмпирическая наземная активная фитомасса (13%-ной влажности) на календарную дату учёта, г/растение; $C_p f$ — эмпирическая суммарная энтальпия воздуха от календарной даты посева до календарной даты учёта, КДж/кг.

Точность работы прогностической модели в варианте Экобиосфера Б 0,5 л/т семян составила 95,25%, в варианте Экобиосфера Б 1,0 л/т семян — 91,97%, что достаточно для практического ее применения в производственных условиях (табл. 6).

Таблица 6. Верификация модели прогноза динамики массы фитоорганов (влажность 13%) яровой пшеницы Любава

Дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Наземная активная фитомасса, г/растение		Масса листьев, г/растение		Масса стебля, г/растение		Масса элементов колоса, г/растение		Масса плодов, г/растение	
		Э	П	Э	П	Э	П	Э	П	Э	П
Экобиосфера 0,5 л/т семян											
19.05.2023	315,50	0,012	0,012	0,012	0,012						
26.05.2023	582,30	0,033	0,028	0,033	0,026						
01.06.2023	745,23	0,056	0,044	0,046	0,037	0,010	0,007				
09.06.2023	1017,88	0,186	0,136	0,108	0,091	0,079	0,044				
16.06.2023	1234,92	0,316	0,243	0,169	0,131	0,147	0,111				
23.06.2023	1438,95	0,638	0,417	0,251	0,174	0,387	0,241				
30.06.2023	1716,27	1,037	0,864	0,182	0,138	0,788	0,655	0,067	0,057		
06.07.2023	1972,98	1,129	1,431	0,119	0,146	0,861	1,089	0,149	0,180		
14.07.2023	2294,83	1,313	1,398	0,120	0,088	0,867	0,954	0,326	0,353		
20.07.2023	2560,82	1,333	1,371	0,056	0,060	0,872	0,875	0,182	0,174	0,223	0,242
29.07.2023	2963,03	1,172	1,330			0,511	0,651	0,160	0,182	0,501	0,592
04.08.2023	3259,13	0,807	0,831			0,106	0,235	0,148	0,146	0,553	0,515
11.08.2023	3642,04	0,767	0,728					0,163	0,158	0,604	0,601
18.08.2023	4001,35	0,650	0,652							0,650	0,650
R ²		0,9525		0,8900		0,9147		0,9700		0,9200	
Экобиосфера 1,0 л/т семян											
19.05.2023	315,50	0,016	0,016	0,016	0,016						
26.05.2023	582,30	0,041	0,032	0,041	0,029						
01.06.2023	745,23	0,104	0,048	0,077	0,039	0,027	0,012				
09.06.2023	1017,88	0,281	0,214	0,154	0,140	0,128	0,090				
16.06.2023	1234,92	0,458	0,376	0,230	0,196	0,228	0,199				
23.06.2023	1438,95	0,954	0,639	0,298	0,255	0,656	0,393				
30.06.2023	1716,27	1,114	1,314	0,196	0,219	0,784	0,941	0,134	0,158		
06.07.2023	1972,98	1,478	1,504	0,108	0,150	0,906	1,184	0,138	0,180		
14.07.2023	2294,83	1,841	1,470	0,118	0,077	1,349	1,062	0,374	0,298		
20.07.2023	2560,82	1,574	1,442	0,050	0,044	1,053	0,965	0,180	0,161	0,291	0,314
29.07.2023	2963,03	1,247	1,399			0,411	0,570	0,186	0,203	0,650	0,665
04.08.2023	3259,13	1,142	1,270			0,201	0,254	0,188	0,208	0,753	0,817
11.08.2023	3642,04	0,996	1,114					0,236	0,207	1,050	0,935
18.08.2023	4001,35	0,850	0,998							0,850	1,003
R ²		0,9197		0,9008		0,8408		0,8869		0,8827	

Примечание: Э — эмпирические значения; П — прогнозируемые значения.

Динамика массы листьев.

Превышение массы листьев в вариантах предпосевной обработки семян препаратом «Экобиосфера Б» отмечено еще в начале вегетации пшеницы, причем на фоне

повышенной концентрации препарата разница с контролем была больше. Эта тенденция сохранялась вплоть до фазы выхода в трубку. В последующем листья в нижней части стебля отмирали, что вызвало снижение их фотосинтетически активной массы во всех вариантах опыта (рис. 3).

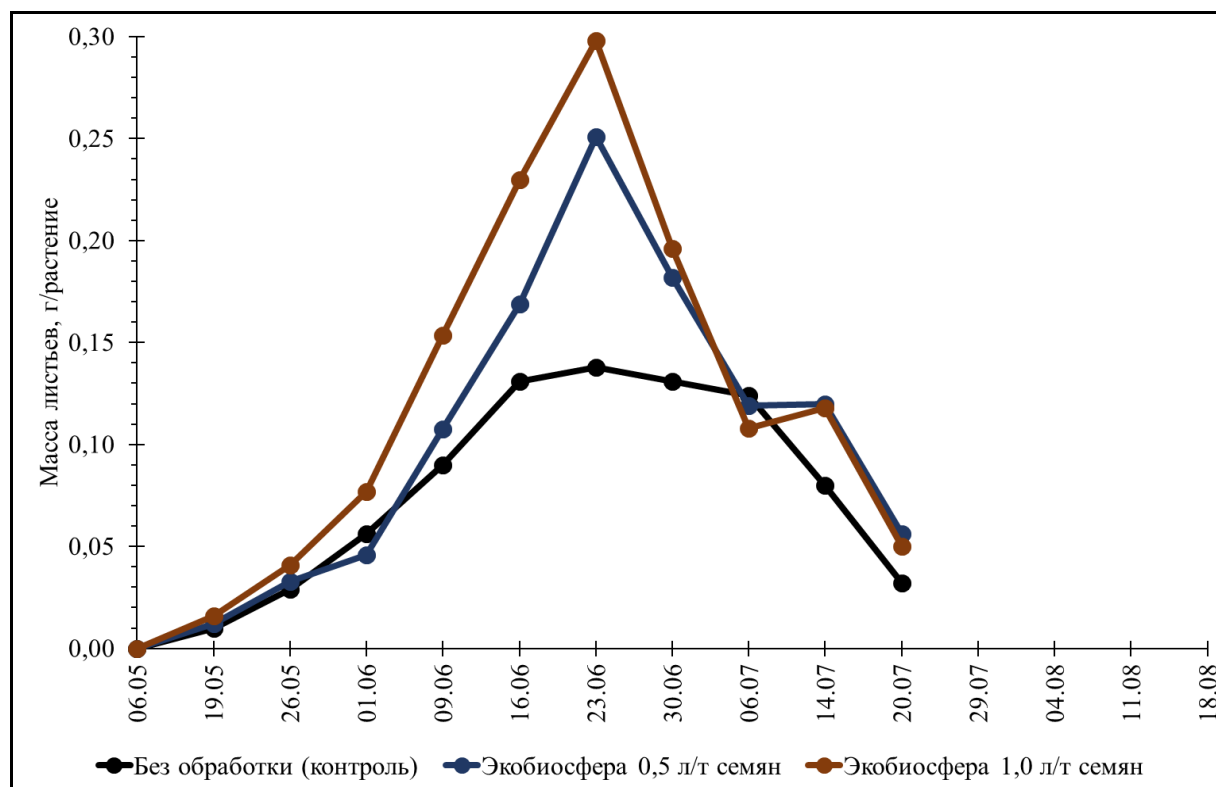


Рис. 3. Динамика массы листьев (влажность 13%) яровой пшеницы Любава, 2023 г. (ориг.)

Для прогноза динамики массы листьев, а также других наземных фитоорганов, в ростовую модель вводим коэффициенты фитоорганов, то есть долю данного фитооргана в наземной активной фитомассе, что обеспечивает значительное снижение трудоемкости при сборе исходной информации в полевых условиях при большом количестве образцов растений поскольку достаточно измерить наземную массу растения и умножить ее на рассчитанный коэффициент фитооргана, что исключает необходимость делить растение на фитоорганы для последующего измерения их массы.

Вследствие различия эффекта дозы препарата «Экобиосфера Б» на массу листьев, а также других фитоорганов, динамика коэффициента листьев (КЛ) на период вегетации пшеницы аппроксимирована системой уравнений индивидуально для каждой дозы (табл. 7).

Таблица 7. Система уравнений динамики коэффициента листьев растений яровой пшеницы Любава

Диапазон суммарной энтальпии воздуха, C_p КДж/кг	Уравнение динамики коэффициента листьев (Kl)	
	Экобиосфера Б 0,5 л/т семян	Экобиосфера Б 1,0 л/т семян
315,50...582,29	$Kl = 1,0000$	$Kl = 1,0000$
582,30...1716,26	$Kl = -0,0006 \cdot C_p + 1,2809$	$Kl = -0,0006 \cdot C_p + 1,2620$
1716,27...2560,82	$Kl = 4E + 09 \cdot C_p^{-3,215}$	$Kl = 5,1693 \cdot e^{-0,002 \cdot C_p}$
R^2	0,9954	0,9834

Для сезонного прогноза массы фитооргана прогнозируемые значения надземной активной фитомассы растения (Ma_s) умножаются на прогнозируемый коэффициент листьев (Kl), стебля (Ks), элементов колоса (Kg) и плодов (Kp), результатом является прогнозируемая масса листьев (Ml), стебля (Ms), элементов колоса (Mg) и плодов (Mp):

$$M(l, s, g, p) = Ma_s \cdot K(l, s, g, p) \quad (3)$$

Прогноз динамики массы листьев соответствовал эмпирическим данным на 89,00% в варианте Экобиосфера Б 0,5 л/т семян и на 90,08% в варианте Экобиосфера Б 1,0 л/т семян (см. табл. 6).

Урожайность пшеницы (Y) рассчитывается как произведение массы одного растения (Ma_s) (или фитооргана растения ($M(l,s,g,p)$)) на количество растений на единице площади (G):

$$Y = Ma_s(l, s, g, p) \cdot G \quad (4)$$

Динамика массы стебля.

Возрастание массы стебля, превышающее контрольный вариант в прямой зависимости от дозы препарата, наблюдалось от кущения до формирования зерновки. В последующие фазы развития пшеницы масса этого фитооргана снижалась вследствие пожелтения отмирания части стебля, что свойственно всем однолетним растениям (рис. 4).

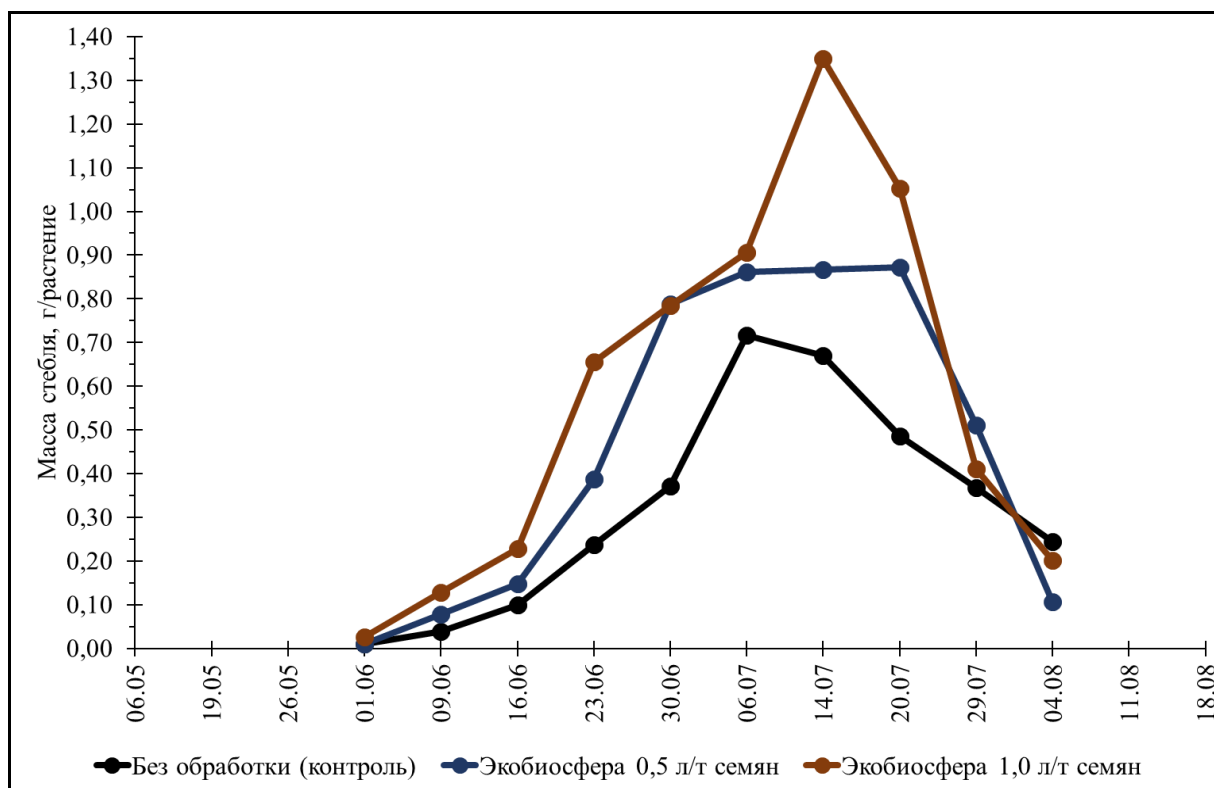


Рис. 4. Динамика массы стебля (влажность 13%) яровой пшеницы Любава, 2023 г.(ориг.)

Прогноз динамики коэффициента стебля (K_s) в зависимости от суммарной энтальпии воздуха (C_p) рассчитывается по системе уравнений (табл. 8).

Таблица 8. Система уравнений динамики коэффициента стебля растений яровой пшеницы Любава

Диапазон суммарной энтальпии воздуха, C_p КДж/кг	Уравнение динамики коэффициента стебля (K_s)	
	Экобиосфера Б 0,5 л/т семян	Экобиосфера Б 1,0 л/т семян
745,23...1716,26	$K_s = 0,0006 \cdot C_p - 0,2854$	—
1716,27...2294,82	$K_s = 1E - 05 \cdot C_p + 0,7416$	—
2294,83...2963,02	$K_s = 77,17 \cdot C_p^{-0,611}$	—
745,23...1972,97	—	$K_s = 0,5712 \cdot \ln(C_p) - 3,538$
1972,98...2963,02	—	$K_s = -0,0002 \cdot C_p + 1,1816$
2963,03...3259,13	$K_s = -0,0007 \cdot C_p + 2,5638$	$K_s = -0,0007 \cdot C_p + 2,4818$
R^2	0,9521	0,9705

Точность прогноза, рассчитанного по модели (3), составляла 91,47% по варианту

Экобиосфера 0,5 л/т семян и 84,08% по варианту Экобиосфера 1,0 л/т семян (см. табл. 6).

Динамика массы элементов колоса.

Эффективность препарата «Экобиосфера Б» и его дозы, выражавшаяся в различии массы элементов колоса (ось соцветия, завязи, колосковые и цветковые чешуи) по вариантам опыта, наблюдалась от фазы колошения до формирования зерновки. По мере роста и созревания плодов происходило отмирание этих фитоорганов и снижение их фотосинтетической активности (рис. 5).

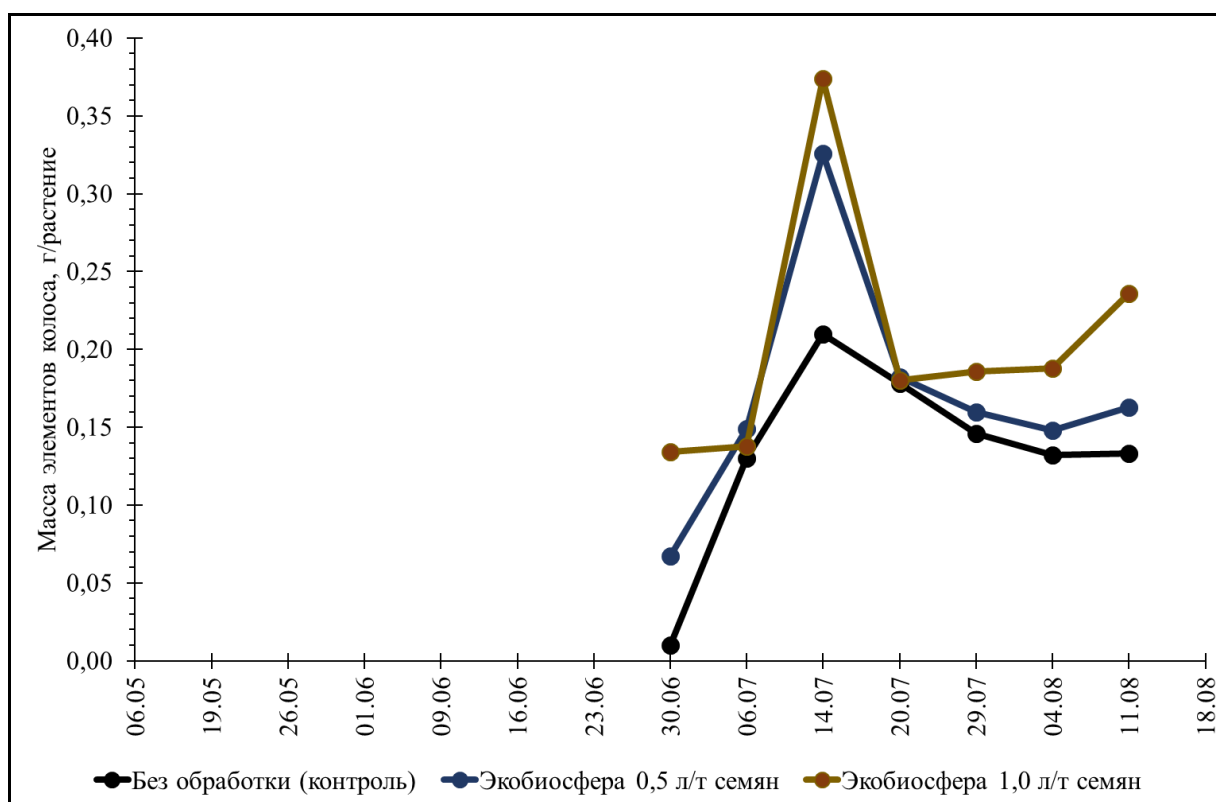


Рис. 5. Динамика массы элементов колоса (влажность 13%) яровой пшеницы Любава, 2023 г. (ориг.)

Коэффициент элементов колоса (K_g) на протяжении вышеуказанного периода вегетации описана системой уравнений (табл. 9).

Точность прогноза по модели (3) по вариантам Экобиосфера Б 0,5 л/т семян и Экобиосфера Б 1,0 л/т семян составила, соответственно, 97,00 и 88,69% (см. табл. 6).

Таблица 9. Система уравнений динамики коэффициента элементов колоса растений яровой пшеницы Любава

Диапазон суммарной энтальпии воздуха, C_p КДж/кг	Уравнение динамики коэффициента элементов колоса (Kg)	
	Экобиосфера Б 0,5 л/т семян	Экобиосфера Б 1,0 л/т семян
1716,27...2560,81	$Kg = 7E - 17 \cdot Cp^{4,6291}$	—
2560,82...2963,02	$Kg = 5E + 17 \cdot Cp^{-5,4560}$	—
2963,03...3259,12	$Kg = 0,1374 \cdot Cp^{-8E-04}$	—
3259,13...3642,04	$Kg = 0,3654 \cdot Ln(Cp) - 2,7801$	—
1716,27...1972,97	—	$Kg = -2E - 06 \cdot Cp + 0,1236$
1972,98...2560,81	—	$Kg = 0,5516 \cdot Ln(Cp) - 4,0656$
2560,82...2963,02	—	$Kg = -0,8100 \cdot Ln(Cp) + 6,4685$
2963,03...3642,04	—	$g = 0,1952 \cdot Ln(Cp) - 1,4153$
R^2	0,9924	0,9974

Динамика массы плодов.

В динамике массы зерновок отмечена тенденция, аналогичная таковой для ростовых процессов вышеописанных фитоэлементов, что свидетельствует об эффективности препарата Экобиосфера Б для предпосевной обработки семян (рис. 6).

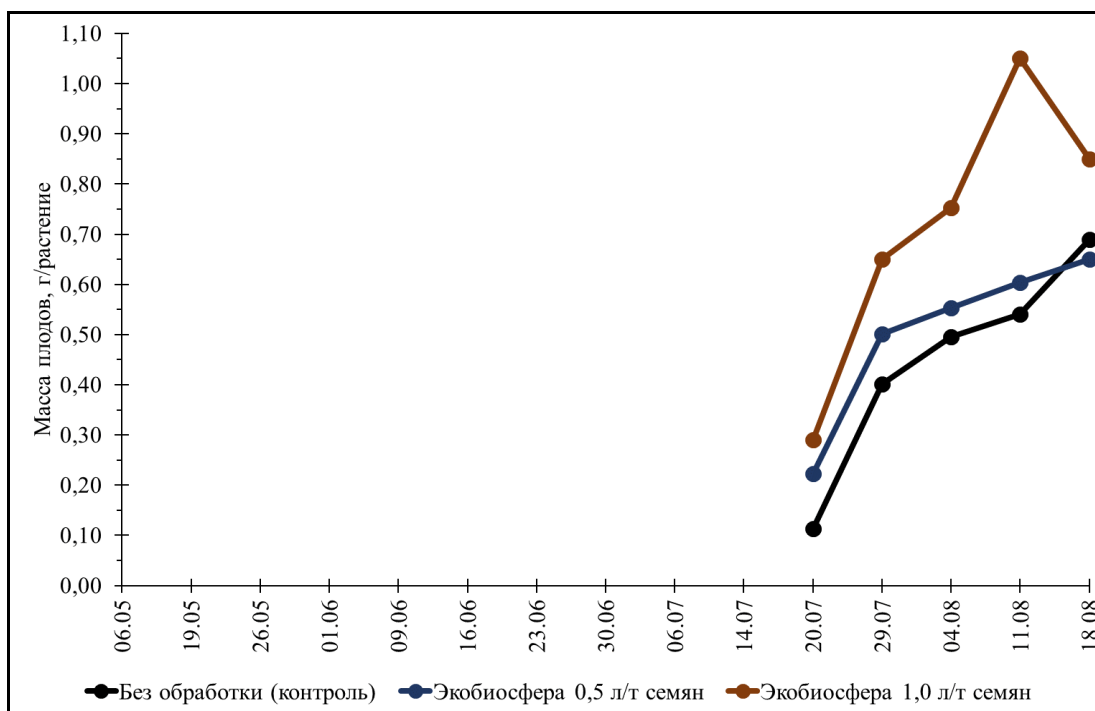


Рис. 6. Динамика массы плодов (влажность 13%) яровой пшеницы Любава, 2023 г. (ориг.)

Динамика коэффициента плодов (Kp) была аппроксимирована уравнением (табл. 10).

Таблица 10. Уравнения динамики коэффициента плодов растений яровой пшеницы Любава

Диапазон суммарной энтальпии воздуха, Cp КДж/кг	Уравнение динамики коэффициента плодов (Kp)	
	Экобиосфера Б 0,5 л/т семян	Экобиосфера Б 1,0 л/т семян
2560,82...4001,35	$Kp = 1,842 \cdot Ln(Cp) - 14,280$	$Kp = 1,764 \cdot Ln(Cp) - 13,626$
R^2	0,9857	0,9895

Динамика массы этого фитооргана, рассчитанная по модели (3) соответствовала эмпирическим данным на 92,00 и 88,27 % по вариантам Экобиосфера Б 0,5 л/т семян и Экобиосфера Б 1,0 л/т семян соответственно (см. табл. 6).

Заключение

В результате исследований установлено, что предпосевная обработка семян препаратом «Экобиосфера Б» (1,0 л/т семян) способствовала ускорению прохождения фенологических фаз развития в середине периода вегетации яровой пшеницы Любава на 7 суток по сравнению с контрольными (без обработки) растениями. Рассчитана теплоемкость фенологических фаз развития, обеспечивающая возможность прогнозирования календарных сроков фенологических фаз развития от даты посева до уборочной спелости на основании прогноза тепловых ресурсов текущего года.

Расчетные значения параметров фитоорганов по разработанным моделям прогноза динамики ростовых процессов на период вегетации с корректирующими коэффициентами эффективности нормы расхода препарата «Экобиосфера Б» для предпосевной обработки семян соответствовали эмпирическим данным:

— Экобиосфера Б (0,5 л/т семян): высота растения — 99,29%, массы фитоорганов влажностью 13%: наземная активная фитомасса — 95,25%, листьев — 89,00%, стебля — 91,47%, элементов колоса — 97,00%, плодов — 92,00%.

— Экобиосфера Б (1,0 л/т семян): высота растения — 99,07%, массы фитоорганов влажностью 13%: наземная активная фитомасса — 91,97%, листьев — 90,08%, стебля — 84,08%, элементов колоса — 88,69%, плодов — 88,27%.

Применение моделей в производственных условиях обеспечивает возможность прогнозирования продуктивности растения и урожайности яровой пшеницы Любава минимум за 80...90 суток до начала уборочных работ.

Список использованных источников:

1. Демьянова-Рой Г.Б., Панкратов Ю.В., Болнова С.В., Воробьев Е.С. Агрофизические свойства почвы и урожайность полевых культур при различных приемах ее обработки [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2019. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2019/3/st_338.doc.
2. Сорокин А.Н. Эффективность предпосевного озонирования семян при выращивании яровой пшеницы / А.Н. Сорокин, Т.М. Морозова // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2019. – № 3(59). – С. 126–132. – EDN OZYRGP.
3. Каюмов М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: [По агр. спец.]. - Москва: Агропромиздат, 1989. - 317с.
4. Основы опытного дела в растениеводстве / В.Е. Ещенко, М.Ф. Трифонова, П.Г. Копытко и др.; Под ред. В.Е. Ещенко и М.Ф. Трифоновой. — М.: КолосС, 2009. — 268 с.: ил. — (Учебники и учеб. Пособия для студентов высш. учеб. заведений).
5. Агроэкологическое обоснование технологии возделывания пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в Костромской области: монография/ С.А. Бородий, В.С. Виноградова, П.С. Бородий. — Караваево: Костромская ГСХА, 2019. — 156 с.
6. Бородий С.А. Теоретическое обоснование комплексной имитационно-мониторинговой модели продукционного процесса растений в агроэкосистемах. — Кострома: Изд. КГСХА, 2000. — 206 с.
7. Бородий С.А., Бородий П.С. Прогноз фенологических стадий развития пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в дикорастущих ценопопуляциях / Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. — Выпуск 86. — Кострома: КГСХА, 2017. — С. 5—11.

Цитирование:

Виноградова В.С., Бородий С.А., Макаров С.С. Ростовая модель прогноза продуктивности яровой пшеницы Любава на фоне предпосевной обработки семян препаратом «Экобиосфера Б» [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/2/st_207.pdf