

ЗНАЧЕНИЕ ФАКТОРА «СРОКИ СЕВА» ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОДЕЛЕЙ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА

В. А. РАДОВНЯ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: wladrad@tut.by

(Поступила в редакцию 16.01.2023)

Для условий Белорусского Полесья методом многофакторного линейного регрессионного анализа рассчитана статистическая модель подсолнечника с точностью прогноза урожайности маслосемян до 87 %, включающая три важнейших параметра: сумму активных температур, количество осадков и продолжительность вегетации. Предложена аналогичная «прогностическая» модель с точностью прогноза до 86 %, включающая данные параметры только до фазы цветения.

Анализ моделей позволил установить, что в условиях Белорусского Полесья при оптимальных сроках сева подсолнечника максимальная урожайность маслосемян достигается в случае умеренно теплых условий в период всходы – цветение, умеренного выпадения осадков и длительного периода цветения – созревания. В целом, главное значение в получении высоких урожаев подсолнечника в условиях региона имеет большая продолжительность начального развития и достаточная теплообеспеченность в период цветения-созревания.

Показано, что для разработки моделей подсолнечника целесообразно использовать экспериментальные данные различных сроков сева, что позволяет повысить их точность. Дальнейшее развитие моделей будет связано с включением в них новых параметров, учитывающих сортовые особенности растений и влияние лимитирующих факторов (стрессовые условия, болезни и сорняки, минеральное питание).

Предложены различные направления использования модели подсолнечника в научных целях: для анализа влияния погодных условий на полученную урожайность, для планирования новых экспериментов, для оценки сортообразцов в селекционной работе. В сельскохозяйственном производстве «прогностические» модели, позволяющие рассчитывать урожайность на этапе цветения культуры, предлагается использовать для расчёта ориентировочных объемов уборки.

Ключевые слова: подсолнечник, сроки сева, продукционный процесс, урожайность маслосемян, статистическое моделирование.

For the conditions of the Belarusian Polissya, a statistical model of sunflower was calculated using the method of multivariate linear regression analysis with an accuracy of predicting the yield of oilseeds up to 87 %, including three most important parameters: the sum of active temperatures, the amount of precipitation and the duration of the growing season. A similar "prognostic" model is proposed with a prediction accuracy of up to 86 %, including these parameters only before the flowering phase.

The analysis of the models made it possible to establish that in the conditions of the Belarusian Polissya, with optimal sunflower sowing terms, the maximum yield of oilseeds is achieved in the case of moderately warm conditions during the period of germination – flowering, moderate precipitation and a long period of flowering - maturation. In general, the main factor in obtaining high yields of sunflower in the conditions of the region is the long duration of initial development and sufficient heat supply during the flowering-ripening period.

It is shown that for the development of sunflower models it is expedient to use experimental data of various sowing dates, which makes it possible to increase their accuracy. Further development of models will be associated with the inclusion of new parameters in them, taking into account the varietal characteristics of plants and the influence of limiting factors (stress conditions, diseases and weeds, mineral nutrition).

Various ways of using the sunflower model for scientific purposes are proposed: to analyze the effect of weather conditions on the yield obtained, to plan new experiments, to evaluate varieties in breeding work. In agricultural production, "predictive" models that allow calculating the yield at the flowering stage of a crop are proposed to be used to calculate the estimated harvesting volumes.

Key words: sunflower, sowing time, production process, oilseed yield, statistical modeling.

Введение

Одним из актуальных направлений развития современной агрономической науки является разработка моделей продукционных процессов, или моделей растений, которые способны моделировать рост и развитие растений при различных условиях внешней среды (погода, почва, агротехника) и оценивать различные сценарии роста растения. Такие модели перспективно использовать в научных целях (при планировании эксперимента, либо анализе полученных данных), а также в производственных целях (в автоматизированных системах поддержки решений) [5].

Первым этапом моделирования продукционных процессов является определение важнейших параметров модели. Обычно, включение в модель дополнительных параметров повышает её точность, но избыточное их количество затрудняет практическое использование модели. Поэтому определение количества параметров и уровня их взаимодействия являются важнейшим методологическим вопросом моделирования продукционных процессов [6].

В условиях Республики Беларусь тепловые ресурсы позволяют выращивать ранние и среднеранние гибриды, требующие для своего развития 1800–2200 °С активных температур [4]. Следовательно, основным параметром продукционной модели подсолнечника в условиях республики должна быть сумма активных температур. Другим лимитирующим фактором при возделывании подсолнечника

являются осадки. С одной стороны, подсолнечник обладает высоким транспирационным коэффициентом (до 500–700), с другой стороны, его мощная корневая система способна извлекать воду из глубоких горизонтов почвы, недоступных для зерновых культур [3]. Ряд исследователей указывают, что для формирования высокого урожая подсолнечника решающее значение имеет достаточная обеспеченность растений влагой в критический период, который приходится на период от фазы розетки до полного цветения и составляет около 40–45 дней [1, 2]. Таким образом, на величину урожая подсолнечника влияет не только количество, но и сроки выпадения осадков.

Целью настоящей работы является определить степень и направление влияния метеорологических условий (температура, осадки) на семенную продуктивность подсолнечника и усовершенствовать методологию разработки моделей продукционных процессов. Поставленные задачи решались методами статистического моделирования – многофакторного линейного регрессионного анализа.

При построении статистических моделей возникает проблема репрезентативной выборки данных, которая может решаться путем использования больших массивов данных, либо использования экспериментальных данных, полученных в контролируемых условиях.

Для построения статистических моделей подсолнечника нами были использованы данные по урожайности маслосемян подсолнечника, высеянного в оптимальные и в поздние сроки сева. Такой подход позволяет оценить реакцию генотипов на изменение температурного и влажностного режимов, при этом нивелировать все другие факторы (обработка почвы, минеральное питание, засоренность).

Основная часть

Полевые опыты проводились на полях РНДУП «Полесский институт растениеводства» (п. Кричицкий, Мозырский район, Гомельской области) в 2007–2010 годах. Почва опытного участка дерново-подзолистая, супесчаная, подстилаемая с глубины 1 м суглинистой мореной. Предшественник – кукуруза на зерно. Учетная площадь делянок составляла 25 м² при трехкратной повторности.

В опытах применялась рекомендованная технология возделывания. Доза минеральных удобрений составляла N₆₀₊₃₀P₆₀K₉₀. Для защиты посевов от сорняков применялись гербициды Гезагард (4 л/га) и Фюзилад (1 л/га). Посев – широкорядный (70 см) с нормой высева 80 тыс. шт/га.

Первый срок (оптимальный) проводился при прогревании почвы на глубину 6 см более 10 °С (в 2007 году 28 апреля, в 2008 году – 3 мая, в 2009 году 4 мая, в 2010 году – 3 мая). Второй срок проводился через 10–18 дней (в 2007 году 10 мая, в 2008 году – 13 мая, в 2009 году 22 мая, в 2010 году – 18 мая).

В опытах использовались перспективные и районированные сорта и гибриды двух групп спелости: ранней (Визави, Донской-22, Поиск, Степок) и среднеранней (Фермер, Ясень, LG-5412, LG-5444). Количество и сортовой состав подсолнечника за годы исследований несколько различался (табл. 1).

Урожайные данные за 2007, 2009, 2010 годы были использованы для корреляционного анализа и построения статистических моделей, данные за 2008 год использовались для проверки полученных моделей. Продолжительность вегетационного периода подсолнечника определялась от момента появления всходов до наступления физиологической спелости (фаза желтой спелости). Сумма активных температур в основные периоды подсолнечника (всходы – полное цветение и полное цветение – физиологическая спелость) определялась как сумма среднесуточных температур выше 5 °С, накопленных за период вегетации сортов и гибридов подсолнечника. Сумма осадков за период ювениального развития сортов и гибридов подсолнечника определялась как сумма осадков за 30 дней до посева, в период появления всходов и в начальный период вегетации (до фазы полного цветения). Сумма осадков за период генеративного развития определялась как сумма осадков за период 30 дней до полного цветения и до фазы физиологической спелости семян. Корреляционный и регрессионный анализ проводились с помощью пакета анализа программы Excel. Точность прогноза (%) для 2008 года определялась путем вычитания из 100 % среднего значения отклонений к фактически полученной урожайности. Погодные условия за годы проведения исследований были контрастными, что позволило оценить реакцию сортов и гибридов на изменения температурного и влажностного режимов в период вегетации. Погодные условия в 2007 году характеризовались высокими температурами в конце мая – июне (+3,6...8,2 °С к норме) и дефицитом осадков. В июле температура воздуха была близкой к среднегодовой, но осадков выпало 238 % к норме. В августе температуры воздуха превышали среднегодовые значения на 3,2...5,1 °С, количество осадков соответствовало норме. ГТК за период вегетации подсолнечника составил около 1,6.

В последующем 2008 году среднесуточные температуры воздуха с мая до начала июля были ниже или на уровне среднегодовых значений, а осадков выпадало до половины нормы. В июле августе среднесуточные температуры воздуха превысили норму на 1,2...4,8 °С, выпало осадков 72–129 % к норме. В связи с этим, если в 2007 г. посевы сильно пострадали от болезней листьев, в 2008 году наблюдалось сильное поражение склеротиниозом. В начале вегетации 2009 г. в течение всего апреля ощущался дефицит влаги, однако после посева в период прорастания подсолнечника выпадали обильные осадки. Далее до начала августа осадки выпадали довольно равномерно и превышали нор-

му в 1,2–1,5 раза. В августе и сентябре отмечался дефицит осадков на уровне 30 мм в месяц. Май был относительно холодным, в дальнейшем температурный режим незначительно превышал норму. ГТК за весь вегетационный период составил 1,55. Следующий 2010 г. на фоне большого количества осадков (405 мм за вегетационный период) отличался высокой теплообеспеченностью. ГТК за вегетационный период составил 1,37, в связи с чем 2010 год можно охарактеризовать как достаточно влагообеспеченный и благоприятный для роста и развития подсолнечника.

Таблица 1. Погодные условия за период проведения полевых экспериментов и урожайность маслосемян изучаемых сортов и гибридов подсолнечника

Показатель	Период	2007 год		2008 год		2009 год		2010 год	
		1*	2*	1*	2*	1*	2*	1*	2*
Продолжительность вегетации, дней	Всходы-полное цветение	52–62	55	56–64	63	72–78	66–70	57–61	52–54
	Полное цветение-спелость	32–37	33	46–48	50	36–45	39–42	36–42	36–41
	Дата полного цветения	01–10.07	10.07	13–16.07	28.07	26.07–01.08	06–10.08	09–12.07	16–18.07
	Период вегетации подсолнечника	89–99	89	103–110	113	108–120	105–112	94–102	88–95
Сумма активных температур, °С	Всходы-полное цветение	1030–1213	1050	948–1108	1120	1281–1402	1250–1300	1072–1114	1045–1095
	Полное цветение-спелость	656–745	714	896–939	938	627–789	655–700	899–1031	897–971
	Период вегетации подсолнечника	1706–1958	1764	1875–2004	2058	1908–2136	1941–2000	1991–2171	1942–2066
Осадки, мм	Всходы-полное цветение	108–200	178	192–229	219	304–347	292–300	185–203	189–194
	Полное цветение-спелость	245–280	297	170–180	209	208–215	191–198	200–209	188–204
	Период вегетации подсолнечника	343–351	342	342–346	251	347–400	332–347	285–305	267–288
Сорта и гибриды	Донской-22 Ясень Санмарин 410	Поиск	Поиск Донской-22 Ясень	Фермер	Поиск Визави Степок Ясень LG 5444 LG 5412	Поиск Визави Степок Ясень LG 5444 LG 5412	Поиск Визави Степок Ясень LG 5444 LG 5412	Поиск Визави Степок Ясень	
Урожайность маслосемян, ц/га	17,3–24,7	20,2	25,3–34,9	33,9	21,0–27,8	21,1–26,1	31,6–40,4	16,6–32,5	

Примечание: * – 1 – оптимальный срок сева, 2 – поздний срок сева, даты посева приведены в методике исследований.

Проведенный корреляционный анализ (табл. 2) показал, что в случае использования экспериментальных данных по двум срокам сева (оптимальный и поздний) урожайность маслосемян в средней степени коррелирует только с суммой активных температур, накопленных за период полное цветение – физиологическая спелость семян ($r = +0,62$). В случае использования в расчётах экспериментальных данных только по оптимальному сроку сева обнаруживаются также зависимости средней силы урожайности маслосемян от количества выпадающих осадков в период полного цветения – физиологической спелости ($r = -0,53$), а также тесные зависимости урожайности маслосемян от продолжительности вегетационного периода ($r = -0,74$), а также от количества выпавших осадков ($r = -0,72$) и от суммы активных температур за период полного цветения – спелости ($r = +0,84$).

Необходимо обратить внимание на направление полученных зависимостей: увеличение продолжительности вегетации и количества выпавших осадков в условиях Белорусского Полесья ведут к снижению урожайности маслосемян. Таким образом, использование корреляционного или однофакторного регрессионного анализов без вычленения отдельных периодов роста и развития подсолнечника, а также учёта влияния других факторов может привести к неправильным выводам.

В связи с этим с помощью многофакторного линейного регрессионного анализа нами рассчитаны модели урожайности маслосемян при различном сочетании параметров: сумма активных температур, осадки и продолжительность вегетации (M1 – M4, табл. 3).

Таблица 2. Зависимость урожайности маслосемян подсолнечника от продолжительности вегетации и метеорологических условий года (r)

Показатель	Период развития	Расчёт по двум срокам сева	Расчёт по оптимальному сроку сева
Продолжительность вегетации	Всходы-полное цветение	-0,18	-0,41
	Полное цветение-спелость	0,05	0,08
	Вегетационный период	-0,33	-0,74
Сумма активных температур	Всходы-полное цветение	-0,20	-0,41
	Полное цветение-спелость	0,62	0,84
	Вегетационный период	0,50	0,49
Осадки	Всходы-полное цветение	-0,24	-0,31
	Полное цветение-спелость	-0,31	-0,53
	Вегетационный период	-0,40	-0,72

Как и ожидалось, включение в модели дополнительного количества параметров повысило коэффициенты детерминации R^2 . При этом в случае проведения расчетов только по оптимальным срокам сева R^2 в моделях $M2^*$ и $M3^*$ составили 0,85...0,87, в то время как в случае расчёта по всем срокам сева коэффициенты детерминации были значительно меньше ($R^2=0,53...0,64$).

Аналогичная ситуация отмечена и в «прогностических» моделях $M2a$ и $M3a$, где используются параметры только за период развития всходы – полное цветение. Коэффициенты детерминации в данных уравнениях небольшие и говорят о более низкой точности определения урожайности маслосемян подсолнечника в период полного цветения. В сравнении с ними модели $M2b$ и $M3b$, учитывающие условия вегетации только в период цветения – созревания, оказались более точными ($R^2 = 0,69...0,81$).

Таблица 3. Модели урожайности маслосемян подсолнечника при различном сочетании параметров

Модель	Расчёт по двум срокам сева	Расчёт по оптимальному сроку сева *
M1 (модель 1) «сумма активных температур»	$Y=0,012x_1+0,04x_2-16,04$ $R^2=0,42$	$Y=-0,0004x_1+0,04x_2-3,07$ $R^2=0,69$
M2 (модель 2) «сумма активных температур +осадки»	$Y=0,063x_1+0,025x_2-0,115x_3-0,088x_4-21,83$ $R^2=0,53$	$Y=0,042x_1+0,022x_2-0,105x_3-0,183x_4+25,2$ $R^2=0,85$
M3 (модель 3) «сумма активных температур +осадки +вегетационный период»	$Y=-0,022x_1+0,034x_2-0,11x_3-0,08x_4+1,3x_5-0,113x_6-9,12$ $R^2=0,64$	$Y=-0,065x_1+0,004x_2-0,17x_3-0,26x_4-0,13x_5+0,66x_6+27,56$ $R^2=0,87$
M4 (модель 4) «осадки +вегетационный период»	$Y=-0,18x_3-0,15x_4+x_5+0,52x_6+18,3$ $R^2=0,48$	$Y=-0,1x_3-0,23x_4+0,18x_5+0,89x_6+57,6$ $R^2=0,83$
M2a (модель 2a) «сумма активных температур +осадки» до фазы полного цветения	$Y=0,013x_1+0,04x_3+21,05$ $R^2=0,06$	$Y=-0,1x_1+0,12x_3+116,98$ $R^2=0,29$
M3a (модель 3a) «сумма активных температур +осадки +вегетационный период» до фазы полного цветения	$Y=-0,016x_1-0,04x_3+0,42x_5+29,2$ $R^2=0,08$	$Y=-0,032x_1+0,26x_3-2,17x_5+147$ $R^2=0,45$
M1b (модель 1b) «сумма активных температур» за репродукционный период	$Y=0,029x_2+3,812$ $R^2=0,38$	$Y=0,04x_2-3,62$ $R^2=0,69$
M2b (модель 2b) «сумма активных температур +осадки» за репродукционный период	$Y=-0,027x_2-0,036x_4+12,94$ $R^2=0,41$	$Y=0,035x_2-0,077x_4+16,69$ $R^2=0,79$
M3b (модель 3b) «сумма активных температур +осадки +вегетационный период» за репродукционный период	$Y=0,027x_2-0,043x_4-0,155x_6+20,5$ $R^2=0,42$	$Y=0,037x_2-0,084x_4-0,34x_6+30,12$ $R^2=0,81$

Y – урожайность маслосемян подсолнечника, ц/га; x_1 – сумма активных температур до фазы полного цветения, °C; x_2 – сумма активных температур за период полное цветение – физиологическая спелость, °C; x_3 – осадки до фазы полного цветения, мм; x_4 – осадки за месяц до полного цветения до конца вегетации, мм; x_5 – продолжительность вегетации от всходов до полного цветения, дней; x_6 – продолжительность вегетации от полного цветения до физиологической спелости, дней.

Примечание: знак «*» означает расчёт модели только по оптимальным срокам сева.

Регрессионный анализ позволяет вычленить степень и направление влияния каждого фактора на урожайность маслосемян, а также их взаимодействие.

Если анализировать наиболее полные модели $M3$ и $M3^*$ заметно, что при оптимальных сроках сева (модель $M3^*$) x_1 и x_5 имеют отрицательные коэффициенты, т.е. продолжительный период начального развития в условиях высоких температур связан со снижением урожайности. В модели $M3$, рассчитанной по всем срокам сева, значение параметра x_1 (суммы активных температур за начальный период развития) в 3 раза меньше, чем в модели $M3$. При этом параметр x_5 возрастает в 10 раз и изменяет своё направление зависимости на положительное, одновременно снижаются коэффициенты при x_3 и x_4 . То есть выпадающие осадки при оптимальных сроках сева оказывают менее существенное отрицательное влияние на урожайность маслосемян. Если рассматривать значение параметр x_6 (продолжительности периода цветения-физиологическая спелость), то оно более значимо также при оптимальных сроках сева.

Следует обратить внимание на параметр x_2 (сумма активных температур в период цветения – созревания), значение которого в моделях $M1$ и $M2$ практически не зависит от других переменных и составляет 0,022–0,04, т. е. каждые 100 °C активных температур, накопленные во второй половине вегетации, увеличивают урожайность маслосемян на 2,2–4,0 °C.

Таким образом, в условиях Белорусского Полесья при оптимальных сроках сева подсолнечника максимальная урожайность маслосемян достигается в случае умеренно теплых условий в период всходы – цветение (конец мая – начало июля), умеренного выпадения осадков и длительного периода цветения – созревания. Если говорить про все сроки сева, главное значение в получении высоких урожаев подсолнечника имеет большая продолжительность начального развития и достаточная теплообеспеченность в период цветения-созревания.

Проверка полученных моделей (табл. 4) показала, что в 2008 году точность прогноза наиболее полной модели $M3$ составила 87,3 %, что является достаточно высоким показателем. Интересно, что модель $M2^*$, рассчитанная по оптимальным срокам сева, также показала сопоставимую точность

прогноза, в то время как модель МЗ* оказалась менее точной. Предлагается модель МЗ в дальнейшем использовать в качестве базовой и калибровать её путем включения новых данных.

Следует отметить, что в случае исключения из расчетов старого гибрида Донской 22, модель МЗ имела бы точность прогноза 97,4 %. Это подтверждает существенное влияние фактора «сорт» на продуктивность и необходимость разработки в дальнейшем моделей растений, учитывающих сортовые особенности (холодостойкость, устойчивость к стрессовым факторам и, особенно, к болезням). Модели М4 и М4*, не учитывающие сумму активных температур за отдельные периоды вегетации подсолнечника, оказались наименее точными, особенно в случае использования в расчетах данных только оптимальных сроков сева. Завышение прогнозной урожайности фактически полученной показывает, насколько важна для выращивания подсолнечника в условиях Белорусского Полесья теплообеспеченность.

Таблица 4. Проверка полученных моделей урожайности (2008 г.)

Сорт	Урожайность фактическая ц/га	Урожайность расчётная, ц/га					
		М2	М2*	М3	М3 *	М4	М4*
Поиск (опт. срок)	34,9	24,0	34,1	34,3	39,8	38,7	51,2
Донской 22 (опт. срок)	25,3	29,1	36,3	36,2	42,1	39,5	48,1
Ясень (опт. срок)	32,8	25,3	33,3	34,5	38,5	37,6	48,6
Фермер (позд. срок)	33,9	28,6	31,6	33,6	37,4	36,5	43,5
Точность прогноза, %		79,9	86,5	87,3	75,0	77,7	46,1

Проверка «прогностических» моделей урожайности показала на достаточно высокую точность прогноза модели М3а (86,4 %) в период полного цветения подсолнечника (табл. 5). При этом значения оказались заниженными, что говорит о необходимости совершенствования данных моделей.

Таблица 5. Проверка «прогностических» моделей урожайности

Сорт	Урожайность фактическая, ц/га	Урожайность расчётная			
		М2а	М2а*	М3а	М3а *
Поиск (опт. срок)	34,9	25,7	47,1	29,9	45,1
Донской 22 (опт. срок)	25,3	26,3	35,9	29,2	32,2
Ясень (опт. срок)	32,8	25,8	43,3	29,5	41,1
Фермер (позд. срок)	33,9	26,9	33,5	29,0	31,4
Точность прогноза, %		81,9	72,5	86,4	77,7

Прогнозная урожайность подсолнечника, согласно модели М3а*, рассчитанной только по данным оптимальным сроков сева, превысила фактически полученные значения на 9,2–29,1 % при точности прогноза всего 77,7 %. Однако данная модель точно показала, что ранний гибрид Донской 22 при оптимальном сроке сева существенно уступит другим гибридам по урожайности маслосемян. Является интересным в дальнейшем усовершенствовать данную модель применительно к селекционным целям для проведения предварительной оценки и отбора перспективных образцов.

Заключение

На основании экспериментальных данных создана базовая статистическая модель подсолнечника, позволяющая рассчитывать для условий Белорусского Полесья урожайность маслосемян при различных погодных условиях с точностью прогноза до 87 %. Дальнейшая калибровка модели (включение в неё новых данных) позволит повысить точность. Дальнейшее развитие моделей будет связано с включением в них новых параметров, учитывающих сортовые особенности растений и влияние лимитирующих факторов (стрессовые условия, болезни и сорняки, минеральное питание).

Для статистического моделирования урожайности подсолнечника в условиях Белорусского Полесья необходимо включение как минимум трёх параметров (сумма активных температур, количество осадков и продолжительность вегетации) и дифференцирование вегетационного периода подсолнечника как минимум на две части – всходы-цветение и цветение – физиологическая спелость.

Для разработки моделей подсолнечника целесообразно использовать экспериментальные данные различных сроков сева, что позволяет повысить их точность.

Модели подсолнечника рекомендуется использовать в научных целях для анализа влияния погодных условий на полученную урожайность, для планирования новых экспериментов, для оценки сортообразцов в селекционной работе. В сельскохозяйственном производстве «прогностические» модели возможно использовать для расчёта ориентировочных объемов уборки уже в период цветения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев, Д. С. Подсолнечник / Д. С. Васильев. – М.: ВО «Агропромиздат», 1990. – 174 с.
2. Есепчук, Н. И. Интенсивная технология производства подсолнечника / Н. И. Есепчук, Е. К. Гриднев – М.: Агропромиздат, 1992. – 66 с.
3. Морозов, В. К. Подсолнечник в засушливой зоне / В. К. Морозов. – Саратов: Прив. кн. изд-во, 1967. – 185 с.
4. Возделывание подсолнечника на маслосемена / Я. Э. Пилюк, В. А. Радовня [и др.] // Организационно-технологические нормы возделывания кормовых и технических культур: сборник отраслевых регламентов / НПЦ НАН Беларуси по земледелию; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Белорусская наука, 2012. – С. 408–425.
5. James W. Jones Brief history of agricultural systems modeling // Agricultural Systems. – 2016, June. – P. 240–254.
6. Next Generation Models / Edited by John M. Antle, James W. Jones, Cynthia E. Rosenzweig// Agricultural Systems. – 2017, July. –185 p.