

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ВЫСОТЫ И МАССЫ ГЕНЕРАТИВНОГО ПОБЕГА ПИЖМЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*TANACETUM VULGARE* L.) ДЛЯ ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ ДИКОРАСТУЩИХ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ

Сергей Алексеевич Бородий
Вера Сергеевна Виноградова
Павел Сергеевич Бородий

Костромская государственная сельскохозяйственная академия

Организация работ по заготовке лекарственного сырья требует прогноза урожайности по ростовым моделям, отсутствующим для пижмы. Цель исследования заключалась в разработке математической модели прогноза урожайности дикорастущих ценопопуляций пижмы обыкновенной. Исследования проводили в 2012–2014 гг. в дикорастущей ценопопуляции пижмы обыкновенной на семяночной залежи в 1,5 км от окраины г. Костромы. Для изучения динамики морфометрических параметров надземную массу 10 побегов (по одному от каждой куртины пижмы) срезали на уровне почвы в период от фазы весеннего отрастания до осеннего отмирания побега с интервалом 7 суток. У каждого побега измеряли высоту, воздушно-сухую (влажность 13%) массу листьев, стебля, соцветий с последующим усреднением результатов. Математическую модель прогноза динамики урожайности разрабатывали при помощи надстройки «Пакет анализа» MS Excel. Прогноз динамики формирования урожайности лекарственного сырья пижмы рассчитывали по разработанному математическим моделям на основании суммарной энтальпии воздуха от стабильного перехода среднесуточной температуры воздуха через +5°C до календарной даты учета фактического количества побегов на единице площади, высоты и надземной фитомассы побега. Точность прогноза оценивали методом корреляционного анализа эмпирических и прогностических данных по коэффициенту детерминации. При использовании разработанных моделей получены следующие показатели точности прогноза динамики высоты побега от весеннего отрастания до цветения – 99,41–99,95%, урожайности надземной общей фитомассы – 93,27–99,05%, надземной активной фитомассы – 92,79–99,76%, массы листьев – 91,77–97,86%, массы стебля – 89,50–99,00%, массы соцветий – 96,83–99,91%. Авторские разработки позволяют прогнозировать урожайность пижмы обыкновенной минимум за 2–3 месяца до начала заготовки лекарственного сырья, что важно для планирования календарных сроков, объемов сбора и организации заготовительных работ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пижма обыкновенная, *Tanacetum vulgare* L., динамика продуктивности побега, прогноз урожайности, математическая модель.

MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMICS OF HEIGHT AND WEIGHT OF GENERATIVE SHOOT OF TANSY (*TANACETUM VULGARE* L.) FOR FORECASTING THE YIELD OF MEDICINAL RAW MATERIAL IN WILD CENOPOPULATIONS

Sergey A. Borodiy
Vera S. Vinogradova
Pavel S. Borodiy

Kostroma State Agricultural Academy

Organizing the work on procurement of medicinal raw materials requires forecasting the yield by growth models that are not available for tansy. The objective of this study was to develop a mathematical model for forecasting the yield of wild cenopopulations of tansy. Studies were conducted in 2012–2014 in a wild cenopopulation of tansy growing on seven-year-old fallow located 1.5 km away from the outskirts of Kostroma. In order to study the dynamics of morphometric parameters, the green weight of top 10 shoots (one from each tansy cluster) were cut

at the soil level in the period from spring regrowth till autumn dieback of shoots at the interval of 7 days. Each shoot was measured by height, air-dry (moisture of 13%) weight of leaves, stem and inflorescences with further averaging of results. The mathematical model was developed using the MS Excel Analysis ToolPak add-in. The forecast of dynamics of yield of tansy medicinal raw material was calculated by the developed mathematical models on the basis of total air enthalpy from the moment of stable average daily temperature transition through the point of +5°C till the calendar date of recording the actual number of shoots per unit area, height, and aboveground biomass of shoots. The accuracy of forecast was evaluated using the method of correlation analysis of empirical and predictive data by the coefficient of determination. The developed models allowed obtaining the following forecast accuracy values: 99.41–99.95% for forecast dynamics of shoot height from spring regrowth till flowering, 93.27–99.05% for yield of total aboveground biomass, 92.79–99.76% for yield of active aboveground biomass, 91.77–97.86% for weight of leaves, 89.50–99.00% for weight of stem, and 96.83–99.91% for weight of inflorescences. The authors' developments allow forecasting the yield of tansy at least 2–3 months before the beginning of procurement of medicinal raw materials, which is important for planning the calendar terms, harvesting volumes and organization of works.

KEYWORDS: tansy, *Tanacetum vulgare* L., dynamics of productivity of shoot, yield forecasting, mathematical model.

Введение

Пижма обыкновенная применяется в медицине [5], защите растений от вредителей и болезней [1, 6], кулинарии [3, 10]. В настоящее время основная масса лекарственного сырья собирается в дикорастущих ценопопуляциях, что вызывает необходимость заблаговременной оценки урожайности соцветий на эксплуатируемых участках в зависимости от эдафических и агрометеорологических факторов текущего года.

В сельскохозяйственном производстве существует достаточно много способов управления формированием урожая (подкормки, стимуляторы и ингибиторы ростовых процессов, средства защиты от вредоносных объектов и др.), которые принципиально можно использовать и для дикорастущих растений. Однако экономическая целесообразность антропогенного регулирования продукционного процесса зависит от прогноза потенциальной урожайности на фоне фактического плодородия почвы. Принципы программирования урожайности были сформулированы еще в конце XX в. [9]. В это же время для основных сельскохозяйственных культур начата разработка ростовых моделей планирования и прогноза урожайности [2, 7, 8], но для пижмы обыкновенной такие модели отсутствуют.

Цель исследований состояла в разработке математической модели прогноза урожайности дикорастущих ценопопуляций пижмы обыкновенной.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучить динамику морфометрических параметров надземных фитоорганов пижмы обыкновенной;
- разработать математические модели динамики высоты и массы фитоорганов побега в зависимости от суммарной энтальпии воздуха.

Материалы и методы

Исследования проводили в 2012–2014 гг. в дикорастущей ценопопуляции пижмы обыкновенной, произраставшей на семилетней залежи в 1,5 км от окраины г. Костромы.

Для изучения динамики морфометрических параметров надземную массу 10 побегов (по одному от каждой куртины пижмы) срезали на уровне почвы в период от фазы весеннего отрастания до осеннего отмирания побега с интервалом 7 суток. У каждого побега измеряли высоту, воздушно-сухую (влажность 13%) массу листьев, стебля, соцветий с последующим усреднением результатов.

Математическую модель прогноза динамики урожайности разрабатывали при помощи надстройки «Пакет анализа» MS Excel. В качестве параметра времени использовали суммарную энтальпию воздуха [2].

Точность прогноза оценивали методом корреляционного анализа эмпирических и прогностических данных по коэффициенту детерминации [4].

Результаты и их обсуждение

Высота побега

Увеличение высоты побега от весеннего отрастания до фазы начала цветения пижмы обыкновенной подчинилось линейной зависимости, далее рост прекращался, и высота оставалась практически стабильной до конца вегетации.

Прогноз динамики высоты побега (h , см) до фазы цветения в зависимости от суммарной энтальпии воздуха (C_p , КДж/кг) рассчитывается по формулам:

$$h = (0,376 \cdot C_p - 2,2432) + h';$$

$$h' = hf - (0,376 \cdot C_p - 2,2432),$$

где h' – корректирующий коэффициент, см;

hf – эмпирическая высота стебля на момент учета, см;

C_p – суммарная энтальпия воздуха от весеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через +5°C до календарной даты учета, КДж/кг.

Диапазон C_p для корректной работы модели лежит в пределах 80,0–3000,0 КДж/кг (табл. 1).

Таблица 1. Верификация модели прогноза динамики высоты побега пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в дикорастущих ценопопуляциях

Дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Высота побега, см (эмпирическая)	Высота побега, см (прогноз)
26.04.2012 г.	202,19	5,50	5,36
03.04.2012 г.	359,65	10,40	11,28
10.05.2012 г.	554,46	19,27	18,60
17.05.2012 г.	765,57	27,17	26,54
21.06.2012 г.	2041,09	72,47	74,50
27.06.2012 г.	2267,92	83,52	83,03
05.07.2012 г.	2604,61	96,21	95,69
12.07.2012 г.	2952,72	108,90	108,78
R ²		0,9995	
30.04.2013 г.	82,72	7,00	7,00
07.05.2013 г.	223,20	14,41	12,28
15.05.2013 г.	495,46	22,79	22,52
22.05.2013 г.	714,01	31,75	30,74
29.05.2013 г.	966,60	44,50	40,23
11.06.2013 г.	1465,85	59,72	59,01
18.06.2013 г.	1737,67	65,00	69,23
25.06.2013 г.	2035,40	75,72	80,42
01.07.2013 г.	2363,89	93,37	92,77
09.07.2013 г.	2772,07	101,78	108,12
R ²		0,9941	
29.04.2014 г.	264,70	13,65	13,65
06.05.2014 г.	363,43	17,55	17,36
13.05.2014 г.	536,37	22,65	23,86
20.05.2014 г.	750,36	32,10	31,91
27.05.2014 г.	1050,11	46,20	43,18
03.06.2014 г.	1283,67	57,00	51,96
10.06.2014 г.	1592,81	69,30	63,59
17.06.2014 г.	1808,02	69,40	71,68
24.06.2014 г.	2015,56	77,10	79,48
01.07.2014 г.	2214,75	77,00	86,97
08.07.2014 г.	2500,54	85,80	97,72
R ²		0,9709	

Верификация математической модели, разработанной по эмпирическим данным 2012 г., по независимым данным 2013 и 2014 гг. показала точность прогноза соответственно 99,41 и 97,31% (табл. 1), что обуславливает пригодность модели для прогноза динамики высоты побега пижмы обыкновенной в дикорастущих ценопопуляциях.

Надземная общая фитомасса

Стабильное нарастание этого параметра до начала цветения побега подчинялось степенной зависимости. На последующих стадиях развития растения изменение массы было нестабильным в результате разнокачественности побегов, взятых для анализа, однако наблюдалась тенденция к снижению вследствие отмирания листовой массы и рассеивания семян.

Модель прогноза динамики воздушно-сухой (13%) надземной общей фитомассы (M_o) побега от весеннего отрастания до цветения представляет собой систему уравнений:

$$M_o = (0,00000003 \cdot C_p^{2,1922}) + M_o';$$

$$M_o' = M_{of} - (0,00000003 \cdot C_p^{2,1922}),$$

где M_o' – корректирующий коэффициент, г/побег;

M_{of} – эмпирическая надземная общая фитомасса на момент учета, г/побег;

C_p – суммарная энтальпия воздуха от весеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через +5°C до календарной даты учета, КДж/кг.

Верификация модели показала точность прогноза в диапазоне от 93,3 до 99,1% (табл. 2).

Надземная активная фитомасса побега представляет собой массу вегетирующих фитоорганов без учета отмерших частей побега. Динамика активной фитомассы в целом в исследованиях была аналогична общей массе, количественно отличаясь от нее на величину массы отмерших фитоорганов, и до начала цветения подчинялась степенной зависимости.

Надземная активная фитомасса (M_n) является частью общей надземной фитомассы (M_o), поэтому для прогноза требуется вычислить коэффициент надземной активной фитомассы (K_n), позволяющий рассчитать M_n в любой заданный момент времени по прогнозу M_o .

Коэффициент надземной активной фитомассы (K_n) до фазы 7–9-го листа практически равнялся единице, поскольку отмирания фитоорганов еще не происходило. После формирования 9-го листа K_n снижался вследствие отмирания листьев.

Динамика коэффициента надземной активной фитомассы (K_n) прогнозируется системой уравнений по формулам:

$$K_n = 1 \text{ при } C_p < 766,00 \text{ КДж/кг};$$

$$K_n = -0,00003 \cdot C_p + 0,9969 \text{ при } C_p \text{ от } 766,10 \text{ до } 3000 \text{ КДж/кг}.$$

Верификация модели показала точность прогноза в диапазоне от 75,2 до 97,3% (табл. 3).

Для прогноза надземной активной фитомассы (M_n) надземная общая масса побега (M_o) умножается на K_n

$$M_n = M_o \cdot K_n.$$

Точность модели составляет 93,3–99,1% (табл. 2).

Масса листьев дикорастущей ценопопуляции возрастала до начала цветения и достигала максимума в период цветения. В дальнейшем отмечена тенденция снижения этого показателя вследствие постепенного отмирания листьев.

В каждый момент времени масса листьев (M_l) в общей надземной активной массе побега занимала определенную долю, величина которой с возрастом снижалась вследствие естественного отмирания листьев и роста других фитоорганов. Таким образом, следует установить зависимость коэффициента массы листьев побега (K_l) от суммарной энтальпии воздуха.

Динамика коэффициента массы листьев побега (K_l) прогнозируется с точностью от 95,7 до 97,6% (табл. 3) по логарифмической функции

$$K_l = -0,2701 \cdot \ln(C_p) + 2,4762 \quad \text{для } C_p \text{ от } 80,00 \text{ до } 3000,00 \text{ КДж/кг.}$$

Верификация модели показала возможность прогнозировать динамику воздушно-сухой массы листьев побега с точностью от 91,8 до 97,9% (табл. 2) по уравнению

$$M_l = M_n \cdot K_l.$$

Масса стебля возрастала до начала цветения и достигала максимума в период цветения. В дальнейшем отмечена тенденция снижения этого параметра вследствие постепенного отмирания стебля, которое начиналось от верхней части побега.

В каждый момент времени масса стебля (M_s) в общей надземной активной массе побега занимала определенную долю, значение которой возрастало до фазы бутонизации, а затем стабилизировалось.

Динамика коэффициента массы стебля (K_s) прогнозируется с точностью от 91,3 до 98,9% (табл. 3) по логарифмической функции

$$K_s = 0,2058 \cdot \ln(C_p) - 1,077 \quad \text{для } C_p \text{ от } 202,0 \text{ до } 3000,0 \text{ КДж/кг.}$$

Верификация модели показала возможность прогнозировать массу стебля побега пижмы с точностью от 89,5 до 99,0% (табл. 2) по уравнению

$$M_s = \dot{I}_n \cdot K_s.$$

Масса соцветий (корзинок) увеличивалась до начала цветения, была довольно стабильной в период цветения, а позднее имела тенденцию к возрастанию за счет формирования и роста плодов.

В каждый момент времени масса соцветий в надземной активной массе побега, как и другие фитоорганы, занимала определенную долю (коэффициент соцветий).

Динамика коэффициента массы соцветий (K_g) прогнозируется с точностью от 90,2 до 99,6% (табл. 3) по логарифмической функции

$$K_g = 0,2438 \cdot \ln(C_p) - 1,8437 \quad \text{для } C_p \text{ от } 2000,0 \text{ до } 3000,0 \text{ КДж/кг.}$$

Верификация модели показала возможность прогнозировать массу соцветий (M_g) побега с точностью от 98,2 до 99,9% (табл. 2) по уравнению

$$M_g = M_n \cdot K_g.$$

Следовательно, по эмпирическим результатам весеннего учета надземной массы побега, количества побегов на единице площади, прогнозу суммарной энтальпии воздуха от стабильного перехода среднесуточной температуры воздуха через $+5^\circ\text{C}$ [2] и разработанной математической модели можно прогнозировать урожайность пижмы обыкновенной минимум за 2–3 месяца до начала заготовки лекарственного сырья (до фазы цветения).

Таблица 2. Верификация моделей прогноза динамики воздушно-сухой массы фитоорганов побега пшжмы обыкновенной (*Talassetia vulgare* L.) в дикорастущей ценопопуляции

Дата учета	Суммарная энталпия воздуха, кДж/кг	Наземная общая фитомасса, г/побег		Наземная активная фитомасса, г/побег		Масса листьев, г/побег		Масса стебля, г/побег		Масса соцветий, г/побег	
		эмпир.	прогноз	эмпир.	прогноз	эмпир.	прогноз	эмпир.	прогноз	эмпир.	прогноз
26.04.2012 г.	202,19	0,0427	0,1092	0,0427	0,1092	0,0427	0,1138	0,0000	0,0017		
03.04.2012 г.	359,65	0,0892	0,1955	0,0892	0,1955	0,0645	0,1733	0,0247	0,0262		
10.05.2012 г.	554,46	0,3840	0,3858	0,3840	0,3858	0,3170	0,2970	0,0670	0,0861		
17.05.2012 г.	765,57	0,8660	0,7053	0,8660	0,7053	0,6300	0,4814	0,2360	0,2043		
21.06.2012 г.	2041,09	5,9440	5,4827	5,970	5,1300	2,3740	2,1428	3,1760	2,5212	0,0470	0,0737
27.06.2012 г.	2267,92	7,4230	6,8881	7,0370	6,3981	2,7020	2,4904	4,1780	3,2831	0,1570	0,2562
05.07.2012 г.	2604,61	10,7650	9,3033	9,9000	8,5475	3,3120	3,0075	6,0770	4,6296	0,5110	0,6308
12.07.2012 г.	2952,72	12,0540	12,2243	11,1820	11,1035	2,7470	3,5306	7,0420	6,3006	1,3930	1,1590
	R ²	0,9905		0,9925		0,9396		0,9900		0,9683	
30.04.2013 г.	82,72	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0800	0,0000	0,0000		
07.05.2013 г.	223,20	0,2490	0,1175	0,2490	0,1175	0,2220	0,1175	0,0270	0,0042		
15.05.2013 г.	495,46	0,5510	0,3179	0,5510	0,3179	0,4440	0,2544	0,1070	0,0636		
22.05.2013 г.	714,01	1,2440	0,6160	1,2440	0,6160	0,8720	0,4320	0,3720	0,1696		
29.05.2013 г.	966,60	1,8740	1,1257	1,8290	1,0895	1,0630	0,6751	0,7660	0,3678		
11.06.2013 г.	1465,85	3,4420	2,6923	3,1100	2,5656	1,5250	1,3010	1,5850	1,0861		
18.06.2013 г.	1737,67	4,9940	3,8752	4,5900	3,6611	2,0360	1,6884	2,5540	1,6780		
25.06.2013 г.	2035,40	6,7710	5,4498	6,1250	5,1001	2,5240	2,1342	3,5230	2,5035	0,0780	0,0698
01.07.2013 г.	2363,89	9,9080	7,5360	8,6430	6,9782	2,6310	2,6381	5,5530	3,6403	0,4590	0,3500
09.07.2013 г.	2772,07	11,9250	10,6540	11,6200	9,7350	3,8110	3,2614	6,5600	5,3975	1,2490	0,8663
	R ²	0,9900		0,9976		0,9786		0,9817		0,9991	
29.04.2014 г.	264,70	0,2010	0,2010	0,2010	0,2010	0,1620	0,1949	0,0390	0,0143		
06.05.2014 г.	363,43	0,3220	0,2626	0,3220	0,2626	0,2610	0,2321	0,0610	0,0358		
13.05.2014 г.	536,37	0,6280	0,4284	0,6280	0,4284	0,5050	0,3336	0,1230	0,0927		
20.05.2014 г.	750,36	1,2400	0,7425	1,2400	0,7425	0,9000	0,5109	0,3400	0,2120		
27.05.2014 г.	1050,11	2,2810	1,3993	2,2390	1,3509	1,3610	0,8068	0,8780	0,4791		
03.06.2014 г.	1283,67	4,0580	2,0961	3,8500	2,0088	2,0960	1,0907	1,7540	0,7955		
10.06.2014 г.	1592,81	4,8900	3,2794	4,5810	3,1125	2,0110	1,5086	2,5700	1,3708		
17.06.2014 г.	1808,02	5,2300	4,2849	5,0150	4,0392	2,2810	1,8195	2,7230	1,8843	0,0110	0,0000
24.06.2014 г.	2015,56	6,7420	5,4000	6,0700	5,0567	2,5410	2,1294	3,4780	2,4720	0,0510	0,0571
01.07.2014 г.	2214,75	7,1270	6,6072	6,5130	6,1477	2,6670	2,4323	3,7180	3,1246	0,1280	0,2107
08.07.2014 г.	2500,54	8,0210	8,5786	7,2670	7,9085	2,9760	2,8697	3,8820	4,2171	0,4090	0,5050
	R ²	0,9327		0,9279		0,9177		0,8950		0,9824	

Таблица 3. Верификация моделей прогноза динамики коэффициентов массы фитоорганов побега пажиты обыкновенной (*Galactium vilgare L.*) в дикорастущей популяции

Дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Коэффициент надземной активной фитомассы, Кл		Коэффициент массы листьев, КЛ		Коэффициент массы стебля, Кс		Коэффициент массы соцветий, Кс	
		эмпирич.	расчетный	эмпирич.	расчетный	эмпирич.	расчетный	эмпирич.	расчетный
26.04.2012 г.	202,19	1,0000	1,0000	1,0000	1,0422	0,0000	0,0156	*	*
03.04.2012 г.	359,65	1,0000	1,0000	0,9128	0,8866	0,0872	0,1342	*	*
10.05.2012 г.	554,46	1,0000	1,0000	0,8255	0,7697	0,1745	0,2232	*	*
17.05.2012 г.	765,57	1,0000	1,0000	0,7275	0,6826	0,2725	0,2896	*	*
21.06.2012 г.	2041,09	0,9416	0,9357	0,4242	0,4177	0,5674	0,4915	0,0084	0,0144
27.06.2012 г.	2267,92	0,9480	0,9289	0,3840	0,3892	0,5937	0,5131	0,0223	0,0400
05.07.2012 г.	2604,61	0,9196	0,9188	0,3345	0,3519	0,6138	0,5416	0,0516	0,0738
12.07.2012 г.	2952,72	0,9277	0,9083	0,2457	0,3180	0,6298	0,5674	0,1246	0,1044
R ²		0,9733		0,9763		0,9890		0,9019	
30.04.2013 г.	82,72	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	*	*
07.05.2013 г.	223,20	1,0000	1,0000	0,8916	1,0000	0,1084	0,0360	*	*
15.05.2013 г.	495,46	1,0000	1,0000	0,8058	0,8001	0,1942	0,2001	*	*
22.05.2013 г.	714,01	1,0000	1,0000	0,7010	0,7014	0,2990	0,2753	*	*
29.05.2013 г.	966,60	0,9760	0,9679	0,5812	0,6196	0,4188	0,3376	*	*
11.06.2013 г.	1465,85	0,9035	0,9529	0,4904	0,5071	0,5096	0,4233	*	*
18.06.2013 г.	1737,67	0,9191	0,9448	0,4436	0,4612	0,5564	0,4583	*	*
25.06.2013 г.	2035,40	0,9046	0,9358	0,4121	0,4185	0,5752	0,4909	0,0127	0,0137
01.07.2013 г.	2363,89	0,8723	0,9260	0,3044	0,3780	0,6425	0,5217	0,0531	0,0502
09.07.2013 г.	2772,07	0,9007	0,8966	0,3280	0,3350	0,5645	0,5544	0,1075	0,0890
R ²		0,8404		0,9711		0,9677		0,9955	
29.04.2014 г.	264,70	1,0000	1,0000	0,8060	0,9694	0,1940	0,0711	*	*
06.05.2014 г.	363,43	1,0000	1,0000	0,8106	0,8838	0,1894	0,1363	*	*
13.05.2014 г.	536,37	1,0000	1,0000	0,8041	0,7787	0,1959	0,2164	*	*
20.05.2014 г.	750,36	1,0000	0,9744	0,7258	0,6880	0,2742	0,2855	*	*
27.05.2014 г.	1050,11	0,9816	0,9654	0,6079	0,5972	0,3921	0,3547	*	*
03.06.2014 г.	1283,67	0,9487	0,9584	0,5444	0,5430	0,4556	0,3960	*	*
10.06.2014 г.	1592,81	0,9368	0,9491	0,4390	0,4847	0,5610	0,4404	*	*
17.06.2014 г.	1808,02	0,9589	0,9427	0,4548	0,4505	0,5430	0,4665	0,0022	0,0000
24.06.2014 г.	2015,56	0,9475	0,9364	0,4186	0,4211	0,5730	0,4889	0,0084	0,0113
01.07.2014 г.	2214,75	0,9550	0,9305	0,4095	0,3956	0,5709	0,5083	0,0197	0,0343
08.07.2014 г.	2500,54	0,9507	0,9219	0,4095	0,3629	0,5342	0,5332	0,0563	0,0639
R ²		0,7521		0,9574		0,9126		0,9493	

Примечание: * – стадия цветения не достигнута.

Выводы

1. Для дикорастущих ценопопуляций пижмы обыкновенной рекомендуется применять математическую модель, обеспечивающую точность прогноза высоты побега 99,41–99,95%, надземной общей фитомассы – 93,27–99,05%, надземной активной фитомассы – 92,79–99,76%, массы листьев – 91,77–97,86%, массы стебля – 89,50–99,00%, массы соцветий – 96,83–99,91%.

2. Прогноз динамики формирования урожайности лекарственного сырья пижмы рассчитывается по предлагаемой математической модели на основании суммарной энтропии воздуха от стабильного перехода среднесуточной температуры воздуха через +5°C до календарной даты учета фактического количества побегов на единице площади, высоты и надземной фитомассы побега.

Авторские разработки позволяют прогнозировать урожайность пижмы обыкновенной минимум за 2–3 месяца до начала заготовки лекарственного сырья, что важно для планирования календарных сроков, объемов сбора и организации заготовительных работ.

Библиографический список

1. Богуславская Н.В. Совершенствование ассортимента биологически активных веществ и препаратов, обладающих нематитцидной активностью [опыты по защите огурца от галловых нематод (Белорусия)] / Н.В. Богуславская // Экологическая безопасность в АПК. – 2010. – № 3. – С. 760.
2. Бородий С.А. Теоретическое обоснование комплексной имитационно–мониторинговой модели продукционного процесса растений в агроэкосистемах : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.09 / С.А. Бородий. – Кострома, 2000. – 364 с.
3. Веретнова О.Ю. Разработка и товароведная оценка железированных десертов на основе шротов полыни горькой, багульника болотного и пижмы обыкновенной Красноярского края : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / О.Ю. Веретнова. – Красноярск, 2009. – 20 с.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
5. Махлаюк В.П. Лекарственные растения в народной медицине / В.П. Махлаюк. – Саратов : Приволжское кн. изд-во, 1993. – 544 с.
6. Милевская И.А. Влияние экстрактов из четырех видов лекарственных растений на рост фитопатогенных грибов и бактерий (Польша) / И.А. Милевская // Экологическая безопасность в АПК. – 1999. – № 1. – С. 126.
7. Образцов А.С. Системный метод: применение в земледелии / А.С. Образцов. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 303 с.
8. Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистемы / Р.А. Полуэктов. – Москва : Гидрометеоиздат, 1991. – 312 с.
9. Растениеводство : учебник / Г.С. Посыпанов, Г.Е. Долгодворов, Б.Х. Жеруков и др. ; под ред. Г.С. Посыпанова. – Москва : КолосС, 2007. – 612 с.
10. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование ; отв. ред. П.Д. Соколов. – Санкт-Петербург : Наука, 1993. – 352 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Сергей Алексеевич Бородий – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства, селекции, семеноводства и луговодства ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», Российская Федерация, г. Кострома, пос. Караваево, e-mail: borody.sergei@yandex.ru.

Вера Сергеевна Виноградова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ботаники, физиологии растений и кормопроизводства ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», Российская Федерация, г. Кострома, пос. Караваево, e-mail: verochka@mail.ru.

Павел Сергеевич Бородий – аспирант кафедры ботаники, физиологии растений и кормопроизводства ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», Российская Федерация, г. Кострома, пос. Караваево, e-mail: pavel_borodiy@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 06.08.2018

Дата принятия к печати 03.09.2018

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Sergey A. Borodiy – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Crop Science, Plant Breeding, Seed Production and Meadow Management, Kostroma State Agricultural Academy, Russian Federation, Kostroma, pos. Karavaevo, e-mail: borody.sergei@yandex.ru.

Vera S. Vinogradova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Botany, Plant Physiology and Fodder Production, Kostroma State Agricultural Academy, Russian Federation, Kostroma, pos. Karavaevo, e-mail: verochka@mail.ru.

Pavel S. Borodiy – Postgraduate Student, the Dept. of Botany, Plant Physiology and Fodder Production, Kostroma State Agricultural Academy, Russian Federation, Kostroma, pos. Karavaevo, e-mail: pavel_borodiy@mail.ru.

Received August 06, 2018

Accepted September 03, 2018