

УДК 633.88

Математическая модель прогноза урожайности лекарственного сырья надземной массы полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.)

Бородий С.А., Кузьмичева К.С.

Костромская государственная сельскохозяйственная академия

Аннотация

*Предмет исследования — дикорастущая ценопопуляция полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.). Цель исследований — разработать математическую модель сезонного прогноза фитометрических параметров генеративного побега полыни обыкновенной в дикорастущих ценопопуляциях для Костромской области. Исследования проводили в период 1995...2019 гг. (ареал распространения полыни обыкновенной по территории Костромской области) и 2016...2017 гг. (сбор полевой информации и разработка модели прогноза). В результате установлено, что полынь обыкновенная растет, преимущественно, в населенных пунктах, по обочинам дорог, полигонам твердых бытовых и промышленных отходов, берегам рек вблизи населенных пунктов и другим местам, где присутствуют следы деятельности человека и может служить индикатором наличия антропогенного влияния на фитоценозы. Разработана математическая модель прогноза сезонной динамики фитометрических параметров побега, прогнозирующая с точностью: высоту — 95,2...97,9 %; надземную активную фитомассу — 93,9...99,0 %; массу листьев — 86,59...94,20 %; массу стебля — 93,53...98,81 %. Модель рекомендуется использовать при прогнозе запасов лекарственного сырья полыни обыкновенной (влажность 13%) в дикорастущих ценопопуляциях за 2,0...2,5 месяца до начала промышленной заготовки.*

Ключевые слова: ПОЛЫНЬ ОБЫКНОВЕННАЯ, *ARTEMISIA VULGARIS* L., ПРОДУКТИВНОСТЬ ГЕНЕРАТИВНОГО ПОБЕГА, ПРОГНОЗ УРОЖАЙНОСТИ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Введение

Полынь обыкновенная применяется в народной медицине многих стран [1]. Несмотря на то, что этот вид полыни не используется в официальной медицине, химический состав позволяет рассматривать его как перспективный. По результатам лабораторных анализов в траве содержатся смолистые и слизистые вещества, каротин, до

175 мг% витамина С, до 0,61% эфирного масла, следы алкалоидов. В состав эфирного масла входят цинеол, борнеол, альфа-туйон. В корнях обнаружены дубильные вещества, инулин и до 0,1% эфирного масла [1].

Растение обладает ранозаживляющим эффектом, применяется для лечения заболеваний органов дыхания, стимулирования аппетита и пищеварения, ускорения менструаций и родов, как противосудорожное, успокаивающее нервную систему и подавляющее боли, легкое снотворное, потогонное, антигельминтное [1]. Зеленую массу можно использовать для производства силоса, хорошо поедаемого животными [2]. Полынь обыкновенная, обладая инсектицидным свойством, может применяться в производстве препаратов для защиты культурных растений от вредоносных насекомых в органической системе земледелия и в населенных пунктах, поскольку растительные препараты быстро утилизируются микроорганизмами, и токсины не накапливаются в окружающей среде.

Полынь обыкновенная встречается во всех областях Российской Федерации [1], а в Костромской области широко распространена во всех муниципальных районах [2]. Однако места произрастания приурочены не только к берегам рек, кустарникам и оврагам, но и к мусорным свалкам, обочинам дорог, пустырям в населенных пунктах [1, 2], где сбор лекарственного сырья запрещается. Для расчета экономической эффективности производства лекарственного сырья полыни в культуре, кроме технологии, требуется прогноз урожайности, который для природно-климатических условий Костромской области отсутствует. Поэтому **цель исследований** — разработать математическую модель сезонного прогноза фитометрических параметров генеративного побега полыни обыкновенной в дикорастущих ценопопуляциях для Костромской области.

Исследования проводили в период 1995...2019 гг. (ареал распространения полыни обыкновенной по территории Костромской области) и 2016...2017 гг. (сбор полевой информации и разработка модели прогноза). Ареал распространения изучали методом маршрутного обследования. Места произрастания отмечали на карте точками. Изучение основных фитометрических параметров растения (высота побега, надземная активная (фотосинтезирующая) фитомасса, масса листьев и стебля стандартной (13%) влажности) проводили на участке антропогенно преобразованной территории в окрестностях ФГБОУ ВО Костромская ГСХА Костромского района Костромской области. Интервал наблюдений и учетов составлял 7 суток в период от весеннего отрастания побегов до

начала созревания плодов. Выборка для единичного учета включала 10 побегов в четырехкратной повторности, срезанных в случайном порядке на уровне почвы, с последующим измерением их высоты. Для изучения динамики массы фитоорганы отделяли от побега, высушивали до влажности 13% и взвешивали. В качестве параметра времени в модели принимали суммарную энтальпию воздуха, которую рассчитывали и прогнозировали на весенне-летний период текущего года по оригинальной методике авторов [3]. Статистическая обработка цифровых данных и разработка модели прогноза выполнена с использованием табличного процессора Excel.

Результаты исследований

Географическое распространение. Маршрутными обследованиями части территории Костромской области установлено, что полынь обыкновенная растет, преимущественно, в населенных пунктах, по обочинам дорог, полигонам твердых бытовых и промышленных отходов, берегам рек вблизи населенных пунктов и другим местам, где присутствуют следы деятельности человека (рис. 1). Следовательно, данный вид может служить индикатором наличия антропогенного влияния на фитоценозы.

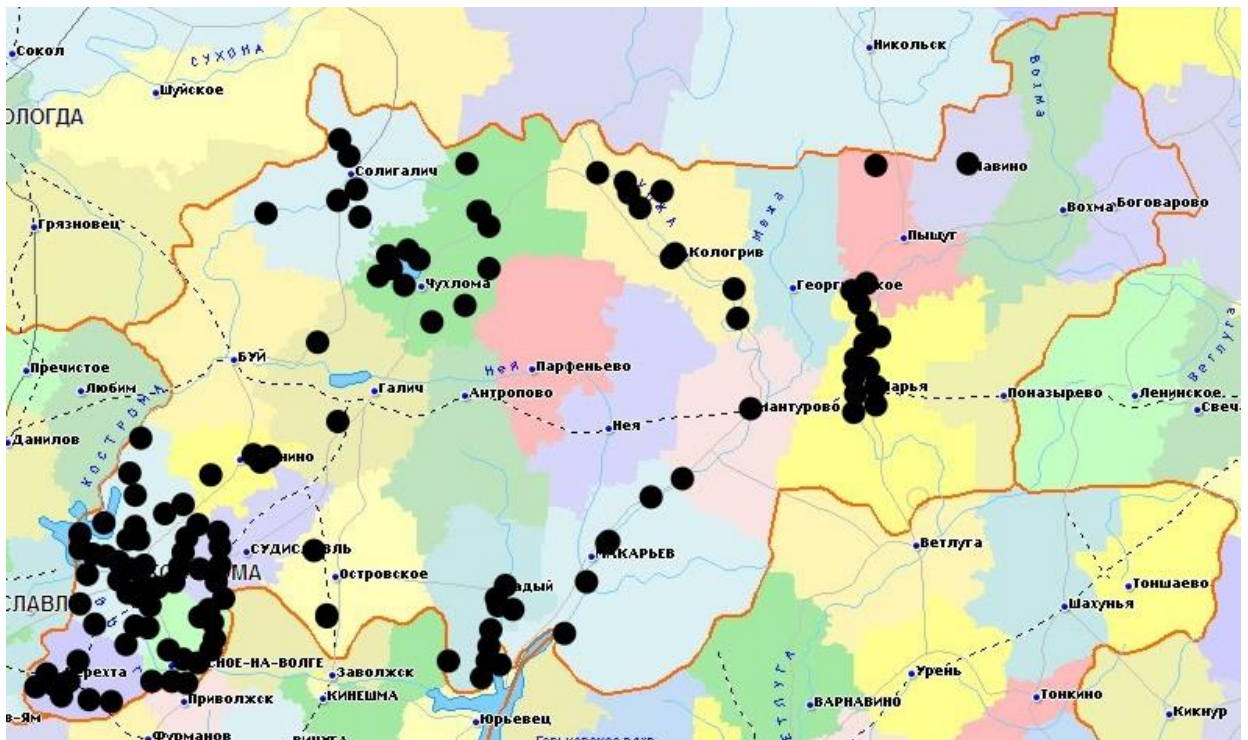


Рис. 1. Географическое распространение дикорастущих ценопопуляций полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в Костромской области, 1995...2019 гг. (ориг.)

Динамика высоты побега. Весеннее возобновление вегетации полыни наблюдалось во второй-третьей декаде апреля. От середины мая до июня-июля (цветение) высота увеличивалась наиболее интенсивно (рис. 2).

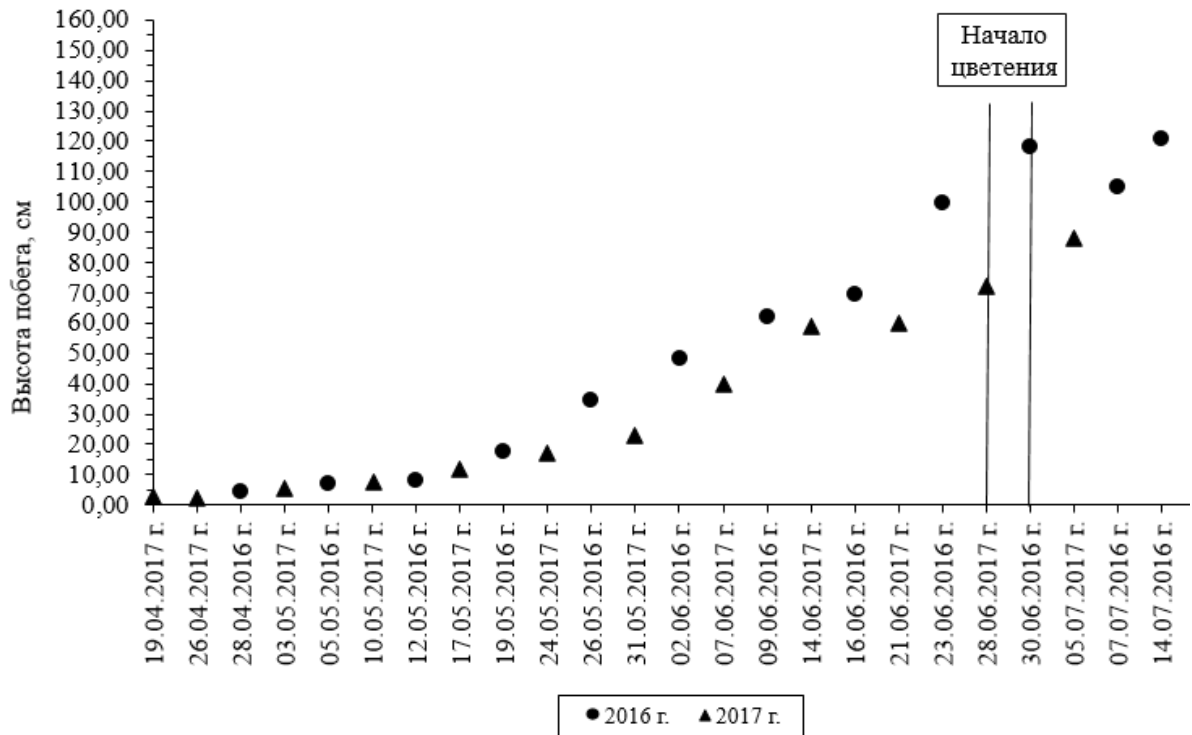


Рис. 2. Динамика высоты побега полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции (ориг.)

Сезонная динамика высоты побега (h_p) аппроксимирована степенной зависимостью с точностью 93,56% ($R^2=0,9356$). Прогноз этого параметра рассчитывается по следующей модели:

$$h_p = (0,0048 \cdot C_p^{1,2838}) + h_p' \quad (94,0 \leq C_p \leq 2935,0 \text{ КДж/кг}) \quad (1)$$

$$h_p' = hf_p - (0,0048 \cdot C_{pf}^{1,2838}),$$

где: h_p' — корректирующий коэффициент, см; hf_p — эмпирическая высота побега на календарную дату учёта, см; C_{pf} — эмпирическая суммарная энтальпия воздуха от даты весеннего возобновления вегетации до даты учета высоты побега, КДж/кг; C_p — прогнозируемая суммарная энтальпия воздуха, КДж/кг.

Ретроспективный расчет высоты побега показал высокое совпадение с эмпирическими данными: 95,2% в 2016 г. и 97,9% в 2017 г., что позволяет рекомендовать модель для прогноза высоты травостоя полыни (табл. 1).

Таблица 1. Верификация модели прогноза высоты побега полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции

Календарная дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Высота побега, см	
		эмпирическая	расчетная
28.04.2016	221,07	4,63	4,63
05.05.2016	460,24	7,15	12,31
12.05.2016	653,88	7,69	19,48
19.05.2016	825,97	17,88	26,39
26.05.2016	1075,95	34,86	37,17
02.06.2016	1327,36	48,26	48,76
09.06.2016	1509,33	62,38	57,55
16.06.2016	1733,45	69,10	68,80
23.06.2016	2076,74	99,46	86,83
30.06.2016	2364,69	118,23	102,64
07.07.2016	2664,95	105,10	119,71
14.07.2016	2934,72	120,90	135,52
R^2		0,9521	
19.04.2017	93,57	2,88	2,88
26.04.2017	110,13	2,08	3,26
03.05.2017	276,26	5,29	7,79
10.05.2017	321,12	7,41	9,18
17.05.2017	388,01	11,89	11,36
24.05.2017	554,78	17,03	17,25
31.05.2017	713,06	23,17	23,34
07.06.2017	845,23	40,05	28,72
14.06.2017	1065,6	58,92	38,24
21.06.2017	1283,62	60,15	48,22
28.06.2017	1492,37	72,27	58,25
05.07.2017	1752,64	88,16	71,32
R^2		0,9794	

Динамика надземной активной фитомассы побега. Надземной активной фитомассой мы считали массу фотосинтезирующих фитоорганов, которая до стадии цветения экспоненциально возрастала, далее подчинялась логарифмической зависимости (рис. 3) и в целом за период II декада апреля — III декада августа аппроксимирована с точностью 89,9%.

Таким образом, модель, описывающая динамику надземной активной фитомассы,

состоит из системы уравнений:

$$\begin{aligned} Ma &= 0,3312 \cdot e^{0,0019Cp} && (94,0 \leq Cp \leq 1753,0 \text{ КДж/кг}), \\ Ma &= 6,3678 \ln Cp - 35,991 && (1753,1 \leq Cp \leq 5248,0 \text{ КДж/кг}), \end{aligned} \quad (2)$$

где Ma — надземная активная фитомасса побега (13%-ной влажности), г.

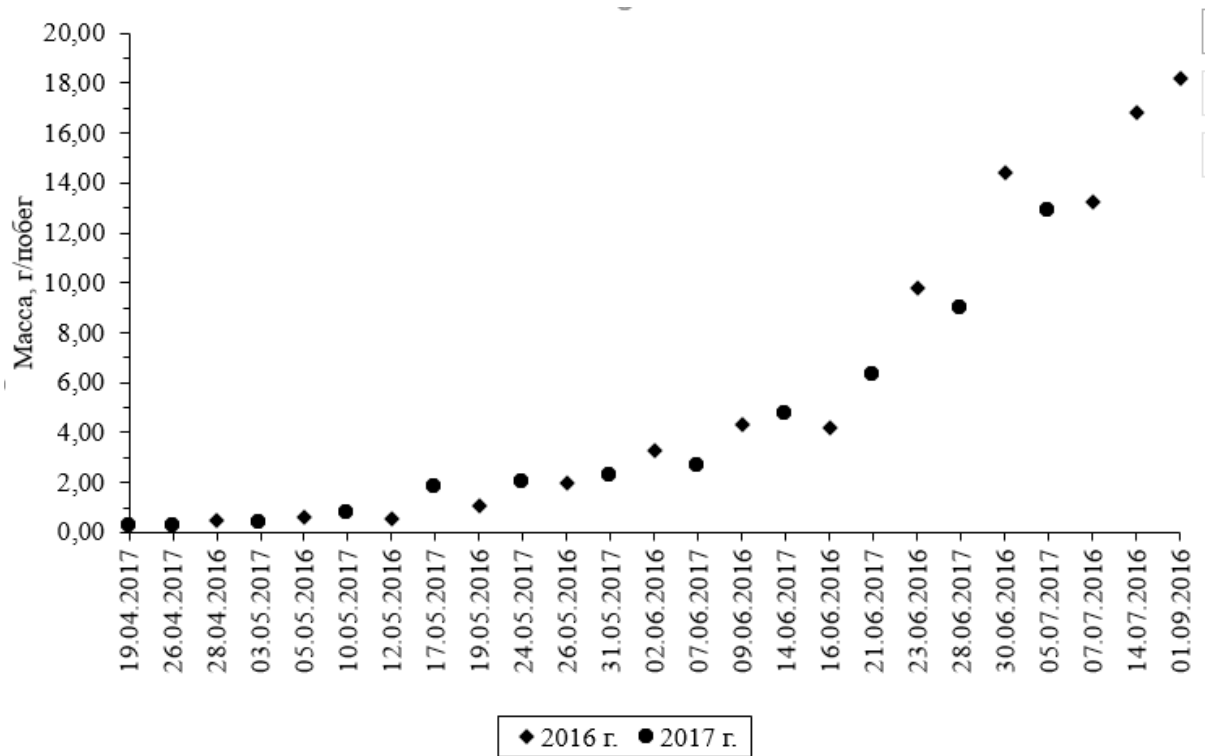


Рис. 3. Динамика надземной активной фитомассы побега полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции (ориг.)

Для прогноза Ma разработана модель:

$$Ma = f(Cp) + Ma' \quad (3)$$

$$Ma' = Maf - f(Cpf),$$

где Ma' — корректирующий коэффициент, г/побег; Maf — эмпирическая надземная активная фитомасса на календарную дату учёта, г/побег; $f(Cp)$, $f(Cpf)$ — функция динамики воздушно-сухой (13%) надземной активной фитомассы побега (см. (2)).

Корреляционный анализ показал хорошее совпадение эмпирических и прогнозируемых значений (табл. 2), что позволяет рекомендовать модель (3) для прогноза динамики общей надземной фитомассы побега.

В составе надземной активной фитомассы мы учитывали листья и стебли, доля

которых изменялась во времени. В связи с этим в модель введены коэффициенты, обеспечивающие расчет массы фитоорганов по массе побега без предварительного отделения и взвешивания этих фитоорганов в учетной выборке, что значительно снижает затраты труда при массовых обследованиях промышленных зарослей полыни.

Таблица 2. Верификация модели прогноза массы фитоорганов (влажность 13%) побега полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции

Календарная дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Надземная активная фитомасса (M_a), г/побег		Масса листьев (M_l), г/побег		Масса стебля (M_s), г/побег	
		эмпирич	расчет	эмпирич	расчет	эмпирич	расчет
28.04.2016	221,07	0,505	0,505	0,239	0,279	0,266	0,220
05.05.2016	460,24	0,595	0,795	0,320	0,423	0,275	0,363
12.05.2016	653,88	0,546	1,148	0,318	0,593	0,228	0,543
19.05.2016	825,97	1,078	1,592	0,728	0,801	0,350	0,775
26.05.2016	1075,95	1,988	2,559	0,995	1,236	0,921	1,292
02.06.2016	1327,36	3,273	4,125	2,010	1,910	1,049	2,150
09.06.2016	1509,33	4,336	5,829	1,829	2,614	2,247	3,101
16.06.2016	1733,45	4,174	8,923	1,645	3,842	2,227	4,855
23.06.2016	2076,74	9,758	12,651	3,800	5,099	5,639	7,084
30.06.2016	2364,69	14,438	13,478	4,995	5,122	8,994	7,693
07.07.2016	2664,95	13,218	14,239	4,240	5,069	8,145	8,254
14.07.2016	2934,72	16,823	14,853	5,531	4,967	9,578	8,699
01.09.2016	5247,63	18,201	18,554	2,740	2,772	9,358	10,355
R^2		0,9393		0,8659		0,9353	
19.04.2017	93,57	0,236	0,236	0,135	0,133	0,101	0,100
26.04.2017	110,13	0,274	0,249	0,158	0,139	0,116	0,106
03.05.2017	276,26	0,402	0,400	0,223	0,219	0,179	0,176
10.05.2017	321,12	0,745	0,450	0,404	0,245	0,341	0,200
17.05.2017	388,01	1,793	0,533	0,978	0,287	0,815	0,240
24.05.2017	554,78	2,028	0,791	1,020	0,415	1,008	0,368
31.05.2017	713,06	2,256	1,124	1,086	0,576	1,170	0,537
07.06.2017	845,23	2,631	1,491	0,971	0,748	1,660	0,728
14.06.2017	1065,60	4,712	2,349	1,904	1,137	2,743	1,184
21.06.2017	1283,62	6,329	3,636	2,738	1,696	3,493	1,885
28.06.2017	1492,37	8,957	5,484	3,439	2,467	5,413	2,912
05.07.2017	1752,64	12,901	9,094	4,312	3,901	8,349	4,957
R^2		0,9901		0,9420		0,9881	

Произведение прогнозируемых значений надземной активной фитомассы побега (Ma) на прогнозируемый коэффициент фитооргана (Kl , Ks) соответствует прогнозируемой массе листьев (Ml) и стебля (Ms):

$$Ml = Ma \cdot Kl \quad (4)$$

$$Ms = Ma \cdot Ks$$

Динамика массы листьев побега. Масса этого фитооргана возрастала до стадии начала цветения, а затем имела тенденцию к снижению вследствие отмирания нижних листьев (рис. 4). В результате уменьшался и коэффициент листьев (Kl), динамика которого рассчитана с точностью 72,18...85,16 % (табл. 3) по уравнению:

$$Kl = -0,00008 \cdot Cp + 0,5692 \quad (94,0 \leq Cp \leq 5248,0 \text{ КДж/кг}) \quad (5)$$

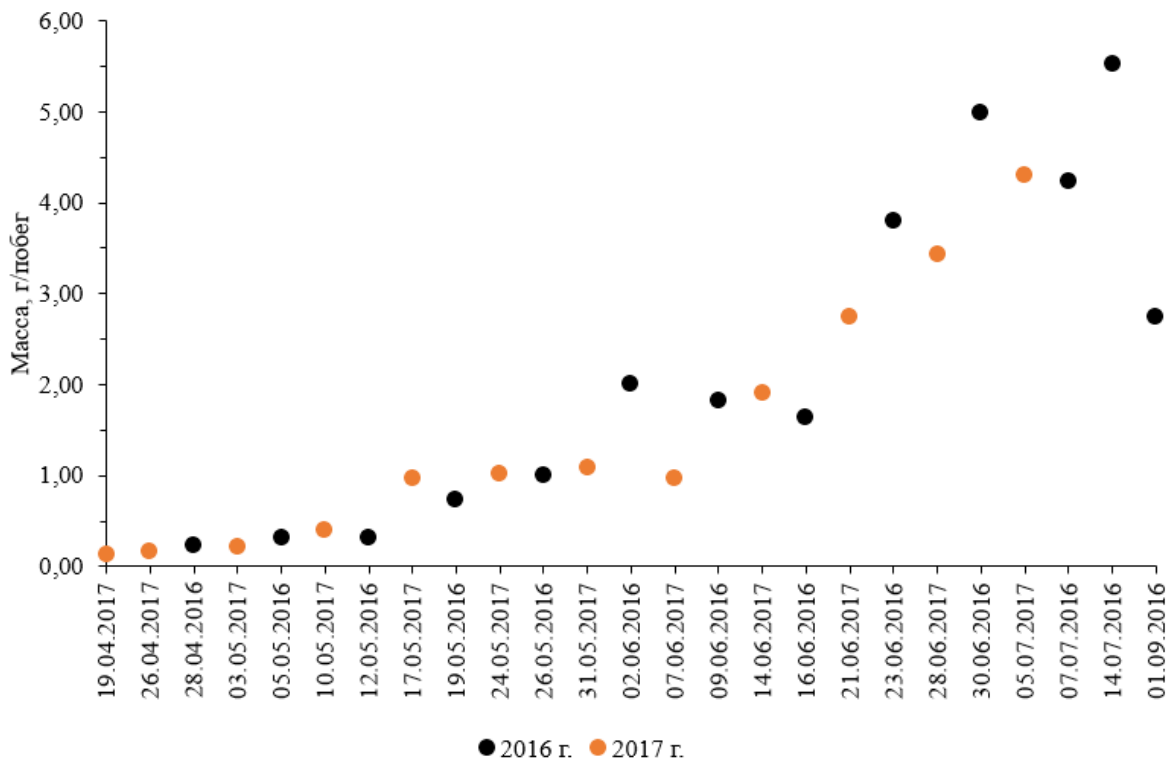


Рис. 4. Динамика массы листьев побега полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции (ориг.)

Для прогноза динамики массы листьев рассчитанное значение Kl подставляется в уравнение (4). Верификация по эмпирическим данным 2016 г. показала точность 86,59%, а 2017 г. — 94,20% (см. табл. 2), что позволяет рекомендовать модель для прогнозирования урожайности массы листьев в дикорастущих ценопопуляциях. Общий запас сырья листьев

рассчитывается как произведение Ml на количество побегов с единицы площади зарослей полыни обыкновенной.

Динамика массы стебля побега. Стебель побега формировался в стадию весеннего отрастания, но наиболее интенсивный рост его наблюдался перед началом цветения и в последующие стадии (рис. 5). Отмирание стебля и, следовательно, снижение активной фитомассы происходило после созревания семян, то есть от начала сентября.

Таблица 3. Верификация модели прогноза коэффициентов фитоорганов побега полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции

Календарная дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, КДж/кг	Коэффициент листьев, Kl		Коэффициент стебля, Ks	
		эмпирический	расчетный	эмпирический	расчетный
28.04.2016	221,07	0,473	0,552	0,527	0,436
05.05.2016	460,24	0,538	0,532	0,462	0,457
12.05.2016	653,88	0,582	0,517	0,418	0,473
19.05.2016	825,97	0,675	0,503	0,325	0,487
26.05.2016	1075,95	0,519	0,483	0,481	0,505
02.06.2016	1327,36	0,657	0,463	0,343	0,521
09.06.2016	1509,33	0,449	0,448	0,551	0,532
16.06.2016	1733,45	0,425	0,431	0,575	0,544
23.06.2016	2076,74	0,403	0,403	0,597	0,560
30.06.2016	2364,69	0,357	0,380	0,643	0,571
07.07.2016	2664,95	0,333	0,356	0,639	0,580
14.07.2016	2934,72	0,339	0,334	0,588	0,586
01.09.2016	5247,63	0,161	0,149	0,551	0,558
R^2		0,7218		0,4048	
19.04.2017	93,57	0,572	0,562	0,428	0,424
26.04.2017	110,13	0,577	0,560	0,423	0,425
03.05.2017	276,26	0,555	0,547	0,445	0,441
10.05.2017	321,12	0,542	0,544	0,458	0,445
17.05.2017	388,01	0,545	0,538	0,455	0,451
24.05.2017	554,78	0,503	0,525	0,497	0,465
31.05.2017	713,06	0,481	0,512	0,519	0,478
07.06.2017	845,23	0,369	0,502	0,631	0,488
14.06.2017	1065,60	0,410	0,484	0,590	0,504
21.06.2017	1283,62	0,439	0,467	0,561	0,519
28.06.2017	1492,37	0,388	0,450	0,612	0,531
05.07.2017	1752,64	0,341	0,429	0,659	0,545
R^2		0,8516		0,8699	

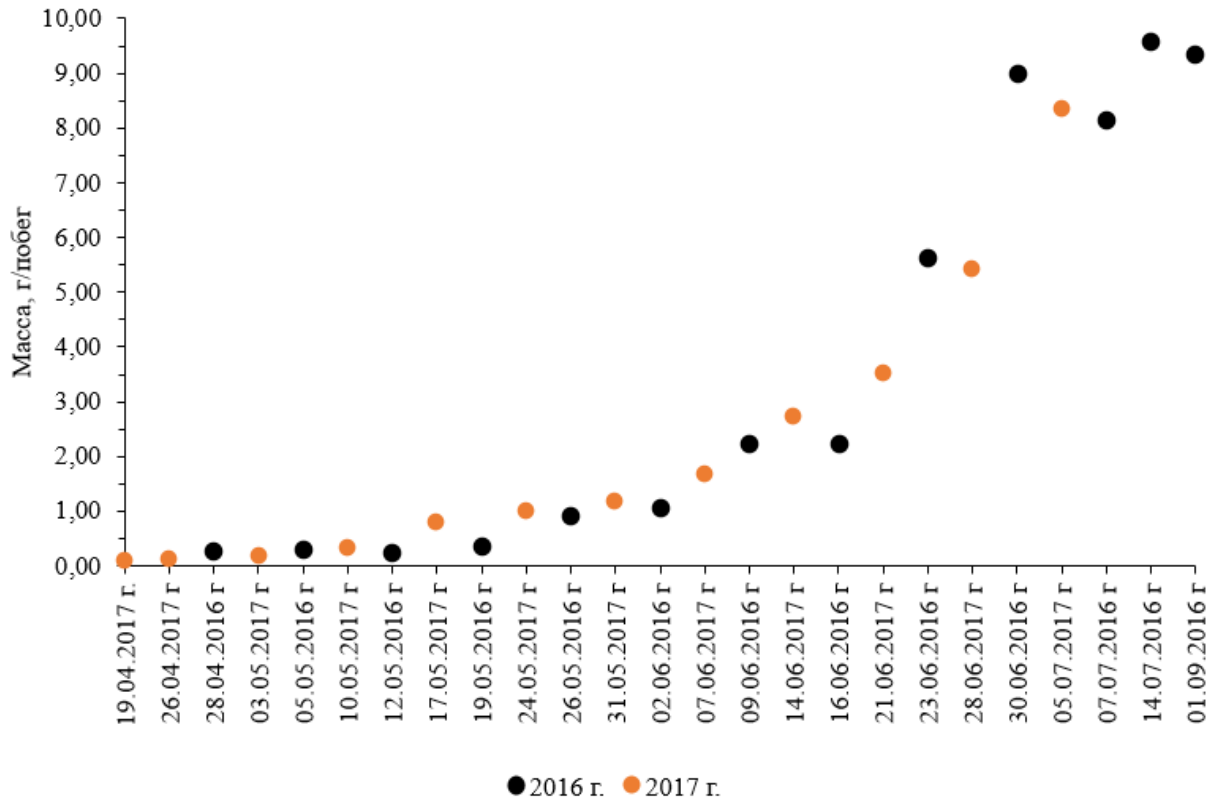


Рис. 5. Динамика массы стебля побега полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции (ориг.)

Прогноз массы этого фитооргана производится по формуле (4) при вводе в модель коэффициента стебля (K_s), динамика которого рассчитывается по формуле:

$$K_s = -0,00000002 \cdot Cp^{1,957} + 0,0001 \cdot Cp + 0,4144 \quad (94,0 \leq Cp \leq 5248,0 \text{ КДж/кг}) \quad (6)$$

Несмотря на довольно низкую точность работы формулы: от 40,48% в 2016 г. до 86,99% в 2017 г. (см. табл. 3), расчетная масса стебля соответствовала эмпирическим данным на 93,53...98,81 % (см. табл. 2), что обуславливает применимость модели для производственного применения.

Заключение

В результате исследований разработана математическая модель прогноза сезонной динамики фитометрических параметров побега, которая работала с точностью: высота — 95,2...97,9 %; надземная активная фитомасса — 93,9...99,0 %; масса листьев — 86,59...94,20 %; масса стебля — 93,53...98,81 %. Модель рекомендуется использовать при прогнозе запасов лекарственного сырья полыни обыкновенной (влажность 13%) в дикорастущих ценопопуляциях за 2,0...2,5 месяца до начала промышленной заготовки.

Список использованных источников

1. Махлаюк В.П. Лекарственные растения в народной медицине. – Саратов: Приволж. кн. изд-во. – 1993. – 544 с., ил.
2. Белозёров П.И. Флора Костромской области: монография / отв. ред. В.В. Шутов, Г.Ю. Макеева. — Кострома: Изд-во КГТУ. – 2008. – 197 с.
3. 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:

Бородий С.А., Кузьмичева К.С. Математическая модель прогноза урожайности лекарственного сырья надземной массы полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) // АгроЭкоИнфо. – 2020, №1. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_105.pdf.