

Бородий С.А., Кузьмичева К.С.
Верификация математической модели прогноза фитометрических параметров генеративного побега
полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции
.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

УДК 633.88

**Верификация математической модели прогноза фитометрических
параметров генеративного побега полыни обыкновенной
(*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции**

Бородий С.А., Кузьмичева К.С.

Костромская ГСХА

Аннотация

*Предмет исследования — дикорастущая ценопопуляция полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.). Цель исследований — верифицировать математическую модель сезонного прогноза фитометрических параметров генеративного побега полыни обыкновенной в дикорастущей ценопопуляции Галичского района Костромской области. Модель прогноза разработана на основе экспериментальных данных 2016...2017 гг., полученных в Костромском районе Костромской области. Для верификации использованы независимые данные 2020 г. Галичского района Костромской области. В результате установлено, что погрешность прогноза календарных сроков наступления фенологических фаз развития растения не превышала семи суток, что допустимо для планирования маршрута движения бригад сборщиков по территории Костромской области. Точность прогноза фитометрических параметров (высота побега — 97,5%; надземная активная фитомасса — 89,6%; масса листьев — 90,3%; масса стебля — 91,0%) обусловила применимость модели для прогноза запасов лекарственного сырья полыни обыкновенной (влажность 13%) в дикорастущих ценопопуляциях за два месяца до начала промышленной заготовки.*

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

Введение

Полынь обыкновенная используется в народной медицине, поскольку трава

Бородий С.А., Кузьмичева К.С.

Верификация математической модели прогноза фитометрических параметров генеративного побега
полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции

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

=====

содержит эфирное масло (до 0,61%), в составе которого обнаружены цинеол, борнеол, альфа-туйон, смолистые и слизистые вещества, каротин, витамин С (до 175 мг%), алкалоиды (следы). Корни содержат до 0,10% эфирного масла, инулин и дубильные вещества [1]. Таким образом, по химическому составу этот вид сходен с применяемой в официальной медицине полынью горькой (*Artemisia absintium* L.) [2], а, следовательно, может служить потенциальным источником лекарственного сырья.

Полынь обыкновенная широко распространена по территории Костромской области [3, 4] и местами образует промышленные заросли, объем которых в настоящее время значительно превышает потребность. Между тем известно, что растение обладает антигельминтным и инсектицидным свойствами, что, в перспективе, обеспечивает повышение потребности в сырье для лечения животных и защиты растений от вредителей в органическом земледелии.

Технология выращивания полыни обыкновенной в производственных условиях отсутствует, поэтому сбор сырья будет производиться в дикорастущих ценопопуляциях. Организация работы сборщиков предусматривает прогноз календарного срока выезда и объема фитомассы в местах сбора.

По результатам исследований 2016...2017 гг. нами была разработана математическая модель прогноза сезонной динамики фитометрических параметров побега в природно-климатических условиях Костромского района, точность работы которой (86,59...99,0 %) была достаточно высокой для применения ее в организации промышленных заготовок лекарственного сырья полыни обыкновенной [4]. Поскольку верификация модели проводилась ретроспективно и использовались зависимые, то есть участвовавшие в расчетах, модели, экспериментальные данные, полученные на одном и том же участке в разные годы, потребовалось испытание модели на независимых данных. В связи с этим **цель исследований** — верифицировать математическую модель сезонного прогноза фитометрических параметров генеративного побега полыни обыкновенной в дикорастущей ценопопуляции Галичского района Костромской области.

Исследования проводили в период 2016...2017 гг. (сбор полевой информации и разработка модели прогноза) и в 2020 г. (верификация модели на независимых данных). Сбор исходной информации для верификации модели, разработанной в условиях Костромского района, проводили в дикорастущей ценопопуляции Галичского района

Бородий С.А., Кузьмичева К.С.

Верификация математической модели прогноза фитометрических параметров генеративного побега
 полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции

Электронный научно-производственный журнал
 «АгроЭкоИнфо»

Костромской области (рис. 1). Для прогноза фитомассы 11 мая 2020 года в дикорастущей ценопопуляции полыни обыкновенной были срезаны 10 генеративных побегов в четырехкратной повторности, вычислена средняя высота и масса при влажности 13%. От начала вегетационного периода до календарной даты учета рассчитана суммарная энтальпия воздуха. Эти исходные данные ввели в модель и рассчитали прогноз динамики высоты и надземной активной фитомассы с разделением ее на массу листьев и стеблей до фазы начала цветения (рекомендованный срок сбора лекарственного сырья).

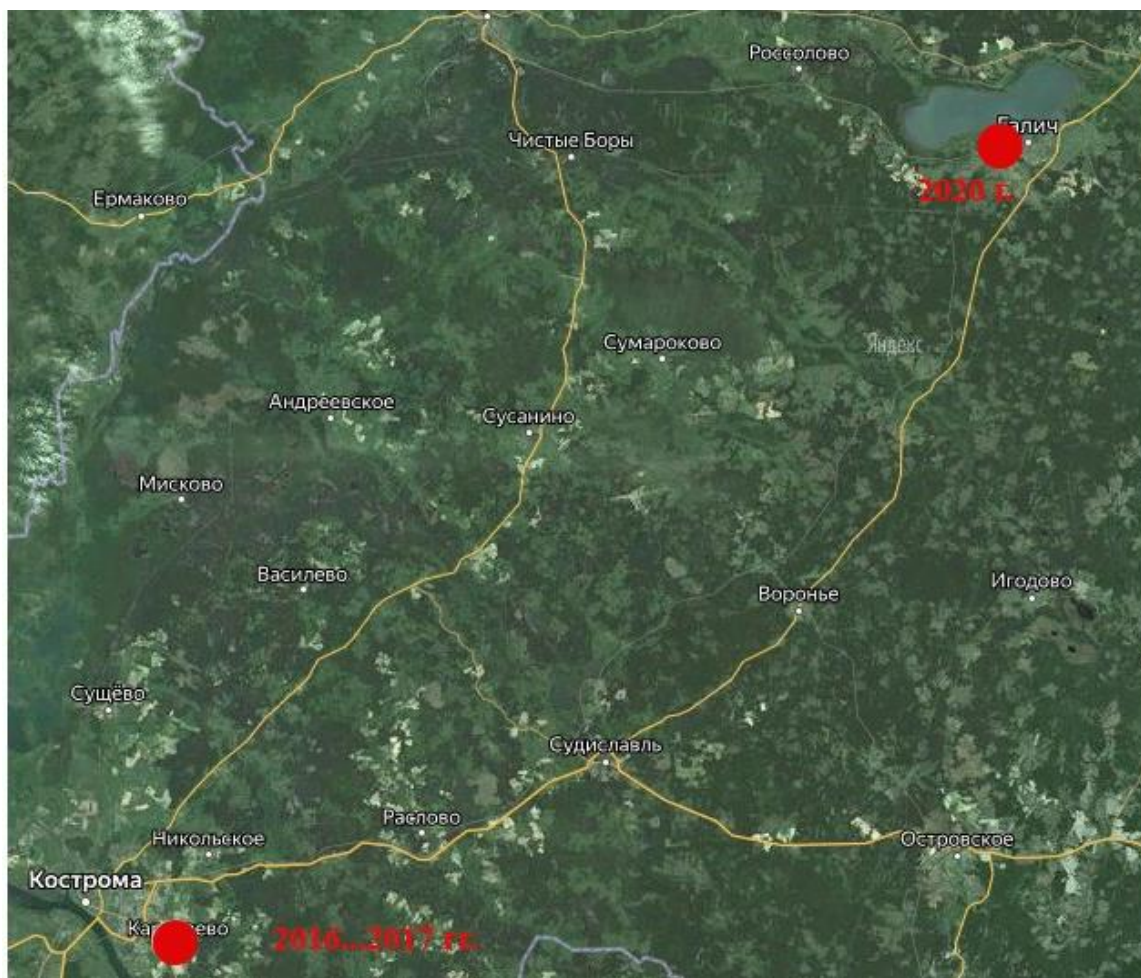


Рис. 1. Географическое расположение района исследований
 2016...2017 гг. — сбор исходной информации для разработки модели;
 2020 г. — сбор информации для верификации модели

Для достижения поставленной цели исследования учеты проводили с интервалом 7 суток, измеряя высоту генеративного побега, надземную активную (фотосинтезирующую)

Бородий С.А., Кузьмичева К.С.

Верификация математической модели прогноза фитометрических параметров генеративного побега
 полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции

Электронный научно-производственный журнал
 «АгроЭкоИнфо»

фитомассу, массу листьев и стебля стандартной (13%) влажности. Выборка единичного учета состояла из 10 побегов в четырехкратной повторности, срезанных в случайном порядке на уровне почвы. В качестве параметра времени в модели использовали суммарную энтальпию воздуха [5].

Статистическая обработка цифровых данных выполнена методом корреляционного анализа с использованием табличного процессора Excel по коэффициенту детерминации (R^2), показывавшему точность соответствия расчетных и эмпирических данных (табл. 1).

Таблица 1. Верификация прогноза динамики фаз развития полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции окрестностей г. Галич, Костромская область

Фаза развития	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг		Среднее, 2017 г., 2020 г.	Календарная дата фазы в 2020 г.		Погрешность прогноза, сутки
	2017 г.	2020 г.		эмпирич.	прогноз	
Разворачивается первый настоящий лист	321,12	285,71	303,42	11.05	13.05	+2
Развернулся второй настоящий лист	388,01	433,71	410,86	18.05	16.05	-2
Развернулся третий настоящий лист	554,78	547,04	550,91	25.05	22.05	-3
Развернулось 9 или более настоящих листьев	713,06	750,14	731,60	01.06	30.05	-2
Образование побегов ветвления	845,23	989,58	917,41	08.06	04.06	-4
Начало закладки соцветий	1492,37	1748,63	1620,50	29.06	22.06	-7
Начало цветения	2355,33	2548,17	2451,75	17.07	11.07	-7

Результаты исследований

Прогноз фенологических фаз развития. Фенологические фазы обычно учитываются визуально по проценту побегов, перешедших в определенную фазу, что обуславливает

Бородий С.А., Кузьмичева К.С.

Верификация математической модели прогноза фитометрических параметров генеративного побега
полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

некоторые погрешности прогноза. Тем не менее создается возможность заблаговременного, в нашем случае за два месяца (табл. 1), планирования маршрута движения бригады сборщиков лекарственного сырья, что особенно актуально, если места сбора территориально разобщены.

Прогноз фитометрических параметров побега от начала весеннего отрастания до фазы начала цветения рассчитывали по моделям, разработанным в предыдущие годы исследований [4].

Прогноз динамики высоты соответствовал эмпирическим данным на 97,53% (табл. 2):

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

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

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.

Таблица 2. Верификация модели прогноза динамики высоты побега полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции окрестностей г. Галич, Костромская область

Календарная дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Высота побега, см	
		эмпирическая	прогнозируемая
11.05.2020	285,71	11,86	11,86
18.05.2020	433,71	17,25	16,70
25.05.2020	547,04	25,12	20,75
01.06.2020	750,14	38,13	28,60
08.06.2020	989,58	55,76	38,67
15.06.2020	1252,51	74,28	50,55
22.06.2020	1515,21	90,02	63,16
29.06.2020	1748,63	117,82	74,89
06.07.2020	2054,63	125,13	90,96
13.07.2020	2389,70	137,61	109,35
R ²		0,9753	

Бородий С.А., Кузьмичева К.С.

Верификация математической модели прогноза фитометрических параметров генеративного побега
полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Прогноз динамики надземной активной фитомассы делался с точностью 89,61% (табл. 3) по системе уравнений:

$$Ma = f(Cp) + Ma' \quad (2)$$

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

$$\begin{cases} f(Cp) = 0,3312 \cdot e^{0,0019Cp} & (94,0 \leq Cp \leq 1753,0 \text{ КДж/кг}), \\ f(Cp) = 6,3678 \ln Cp - 35,991 & (1753,1 \leq Cp \leq 5248,0 \text{ КДж/кг}), \end{cases} \quad (3)$$

где: Ma — надземная активная фитомасса побега (13%-ной влажности), г; Ma' — корректирующий коэффициент, г/побег; Maf — эмпирическая надземная активная фитомасса на календарную дату учёта, г/побег; $f(Cp)$ — функция динамики воздушно-сухой (13%) надземной активной фитомассы побега, рассчитываемая по формулам (3).

Таблица 3. Верификация модели прогноза массы фитоорганов (влажность 13%) побега полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции окрестностей г. Галич, Костромская область, 2020 г.

Дата учета	Суммарная энтальпия воздуха, кДж/кг	Надземная активная фитомасса, г/побег		Масса листьев, г/побег		Масса стебля, г/побег	
		эмпирич	прогноз	эмпирич	прогноз	эмпирич	прогноз
11.05	285,71	1,50	0,57	0,76	0,82	0,74	0,66
18.05	433,71	2,46	0,76	1,23	0,90	1,23	0,76
25.05	547,04	3,99	0,94	2,13	0,98	1,86	0,87
01.06	750,14	5,31	1,38	2,69	1,17	2,62	1,11
08.06	989,58	6,80	2,17	3,34	1,52	3,46	1,54
15.06	1252,51	7,25	3,58	3,72	2,11	3,52	2,33
22.06	1515,21	10,26	5,89	4,82	3,06	5,44	3,63
29.06	1748,63	11,34	9,18	5,23	4,34	6,11	5,51
06.07	2054,63	13,49	12,58	6,10	5,47	7,39	7,55
13.07	2389,70	20,82	13,54	6,78	5,47	11,65	8,27
R ²		0,8961		0,9027		0,9096	

Прогноз динамики массы листьев совпадал с эмпирическими данными на 90,27% (табл. 3) и рассчитывался по модели:

$$Ml = Ma \cdot Kl$$

Бородий С.А., Кузьмичева К.С.

Верификация математической модели прогноза фитометрических параметров генеративного побега
полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

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

где: Ml — масса листьев, г/побег; Kl — коэффициент листьев, безразмерный.

Динамика массы стебля прогнозировалась с точностью 90,96% (табл. 3):

$$Ms = Ma \cdot Ks$$

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

где: Ms — масса стебля, г/побег; Ks — коэффициент стебля, безразмерный.

Заключение

В результате исследований верифицирована на независимых данных математическая модель прогноза сезонной динамики фитометрических параметров побега, которая работала с точностью: высота — 97,5%; надземная активная фитомасса — 89,6%; масса листьев — 90,3%; масса стебля — 91,0%. Модель рекомендуется применять для прогноза запасов лекарственного сырья полыни обыкновенной (влажность 13%) в дикорастущих ценопопуляциях за два месяца до начала промышленной заготовки. Прогноз календарных сроков фаз развития рекомендуется для планирования маршрута движения бригад сборщиков по территории Костромской области.

Список использованных источников

1. Махлаюк В.П. Лекарственные растения в народной медицине. — Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1993. — 544 с.
 2. Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР / Ред. П.С. Чиков. — М.: Картография, 1983. — 340 с.
 3. Белозёров П.И. Флора Костромской области: монография / отв. ред. В.В. Шутов, Г.Ю. Макеева. — Кострома: Изд-во КГТУ, 2008. — 197 с.
 4. 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.
 5. 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.
- =====

Бородий С.А., Кузьмичева К.С.

Верификация математической модели прогноза фитометрических параметров генеративного побега
полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции

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

=====

Цитирование:

Бородий С.А., Кузьмичева К.С. Верификация математической модели прогноза фитометрических параметров генеративного побега полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) в дикорастущей ценопопуляции [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st_305.pdf.