УДК 633.2: 581.143 doi: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.65-73

Сезонная динамика роста сортов и дикорастущих образцов верховых злаков в условиях Ленинградской области

Н.Ю. Малышева[1], **Т.В. Дюбенко**[1], **Т.Б. Нагиев**[2], **Н.В. Ковалева**[2], **Л.Л. Малышев**[1]
[1]*ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,*
[2]*ФГБНУ «Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «БЕЛОГОРКА», д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, Российская Федерация*

Прогнозирование продуктивности растений с помощью математических моделей востребовано в области точного земледелия. Работа посвящена определению оптимальных сроков уборки на зеленую массу с использованием теоретических кривых роста у 37 образцов многолетних злаковых трав. Теоретические кривые были построены на основе уравнения Ричардса. Изучение образцов проводилось в условиях Ленинградской области. Учеты осуществляли в весенне-летний период 2018 года. Были построены модели для 37 образцов. Три модели имели низкую сходимость. Для восьми моделей не определена точка перегиба кривой. Остальные 26 моделей имели высокую достоверность и корреляцию между эмпирическими данными и модельной кривой. Среди образцов ежи сборной, овсяницы тростниковой и костреца безостого наблюдается изменчивость по потенциальной высоте растений, темпу роста на экспоненциальном участке и скорости достижения точки перегиба к асимптоте. Образцы овсяницы луговой однородны по параметрам модели. По наступлению ранних расчетных дат укоса выделяются сорта Серебристый (21 мая) и Ленинградская 204 (20 мая); расчетная укосная спелость наступает через 40 и 36 дней. Поздней расчетной укосной спелостью характеризовались образцы овсяницы тростниковой (55-62 дня), костреца безостого (сорт Чишминский 3 – 49 дней) и ежи сборной (сорт Ленинградская 853 – 53 дня и дикорастущие образцы: 51 день у к-44349 из Ленинградской области и 53 дня у к-44354 из Республики Коми). Предложенная модель применима для большинства изученных образцов. Использование предложенной модели позволяет оптимизировать сроки уборки с учетом сортовой принадлежности.

Ключевые слова: *математическая модель, многолетние злаки, рост, прогнозирование*

Многолетние травы занимают 55,4-60,4% посевных площадей на Северо-Западе России. Средняя урожайность сена в регионе в 2-3 раза ниже передовых хозяйств [1]. При заготовке объемистых кормов на зиму в виде сена необходимо учитывать сроки уборки в тот период, когда растения набирают наибольшую массу и в то же время имеют высокую питательную ценность. Наибольшее содержание питательных веществ у злаковых трав содержится в фазе выхода в трубку [2, 3]. Самая высокая продуктивность многолетних злаков приходится на фазу колошения. При раннем скашивании снижается продуктивность, а при позднем теряется питательная ценность. Чтобы заготовить большое количество объемистых и высокопитательных кормов, важно определить оптимальные сроки уборки злаков: когда завершается рост растений и прекращается накопление питательных веществ. Прогнозирование продуктивности растений с помощью математических моделей роста востребовано в области точного земледелия [4].

Сезонную динамику роста растений можно описать с помощью моделей из семейства S-образных (сигмоидных) кривых, в соответствии с которыми ростовой процесс на первом этапе медленный с ускорением до максимального и последующего за ним прекращением роста [5]. Логистическая кривая, характеризующаяся тремя параметрами и симметричная относительно точки перегиба использовалась для описания роста зерновых злаков (ячменя) [6] и авторами - для процесса роста у однолетнего райграса сорта Фиалент [7].

Для массива данных, широко охватывающих видовое и сортовое разнообразие верховых злаков, такое исследование проводится впервые.

Цель исследования – определение оптимальных сроков уборки на зеленую массу с использованием теоретических кривых роста у 37 образцов многолетних злаковых трав.

Материал и методы. Изучение образцов проводили в Ленинградском НИИСХ «БЕЛОГОРКА» в Ленинградской области. Учеты осуществляли в весенне-летний период 2018 года на коллекции многолетних злаков (*Poaceae Barnhart*) по методике ВИР [8] второго (два дикорастущих образца – ежи сборной и тимофеевки луговой без номеров каталога ВИР) и третьего годов жизни (остальные образцы). С начала мая до цветения растений в мае и июне проводили еженедельные измерения высоты случайным образом выбранных 5 растений каждого образца. В изучение были привлечены сорта и дикорастущие образцы,

хранящиеся в коллекции ВИР (Всероссийского института генетических ресурсов растений), девять сортов – селекции НИИСХ «БЕЛОГОРКА» [9, 10] и сорта российских селекционных учреждений из других регионов. Дикорастущие образцы в основном были представлены сборами из Северо-Западного региона РФ и Скандинавии (табл. 1).

Таблица 1

Состав коллекции многолетних кормовых злаков и их высота в конце фазы колошения (Ленинградский НИИСХ «БЕЛОГОРКА», 2018 г.)

Вид	*№ каталога ВИР*	*Название*	*Происхождение*	*Средняя высота и ошибка среднего* $X \pm S_x$
Лисохвост луговой	к-36092	Серебристый	РФ, Ленинградская обл.	131,8±3,31
Кострец безостый	к-48719	Аммагаан	РФ, Республика Якутия	132,6±2,18
	к-48725	Титан	РФ, Омская обл.	136,6±5,72
	к-51328	Чишминский 3	РФ, Республика Башкортостан	155,0±4,59
	к-51521	Эркээни	РФ, Республика Якутия	155,8±1,85
	к-51329	Юбилейный	РФ, Республика Башкортостан	160,2±4,27
Ежа сборная	к-38088	Дикорастущая	РФ, Псковская обл.	126,0±2,35
	к-44020	Дикорастущая	Норвегия	132,0±3,48
	к-44021	Дикорастущая	Норвегия	139,2±6,86
	к-44349	Дикорастущая	РФ, Ленинградская обл.	139,8±1,77
	к-44354	Дикорастущая	РФ, Республика Коми	142,6±9,57
	к-36566	Tammisto	Финляндия	133,4±3,41
	к-36682	ВИК-61,	РФ, Московская обл.	145,0±2,72
	к-36684	Двина	РФ, Архангельская обл.	141,6±2,01
	к-27863	Ленинградская 853	РФ, Ленинградская обл.	164,0±4,53
	к-35060	Нева	РФ, Ленинградская обл.	151,6±3,08
	к-38648	Петрозаводская	РФ, Республика Карелия	145,0±3,78
	к-48628	Триада	РФ, Ленинградская обл.	156,6±4,15
	к-45034	Хлыновская	РФ, Кировская обл.	153,0±4,63
	–	Дикорастущая	РФ, Республика Карелия	131,8±3,31
Овсяница тростниковая	к-48175	Hija-2302	Финляндия	149,8±7,55
	к-48176	Hija-2303	Финляндия	138,0±2,43
	к-45475	Дикорастущая	РФ, Ленинградская обл.	114,8±1,43
	к-37089	Балтика	РФ, Ленинградская обл.	134,4±2,18
	к-39582	Зарница	Белоруссия	144,0±3,78
	к-42861	Коммерческая	Финляндия	145,4±6,95
	к-46827	Лосинка	РФ, Кировская обл.	162,2±2,75
	к-29487	Западная	РФ, Ленинградская обл.	149,0±6,20
Овсяница луговая	к-44495	Дикорастущая	Швеция	124,6±2,06
	к-44497	Дикорастущая	Чехия	125,4±3,06
	к-36620	ВИК-5	РФ, Московская обл.	115,2±3,09
	к-51660	Norlid	Норвегия	111,0±2,86
	к-35059	Суйдинская	РФ, Ленинградская обл.	116,4±1,50
		Шведская	РФ, Ленинградская обл.	111,0±2,86
Тимофеевка луговая	к-20257	Ленинградская 204	РФ, Ленинградская обл.	77,2±3,34
	к-36088	Гатчинка	РФ, Ленинградская обл.	112,6±2,99
	–	Дикорастущая	РФ, Республика Карелия	105,4±3,06

В 2018 году месяц апрель (в начале отрастания растений) характеризовался широким диапазоном колебания температур – от -12,5°С (1 апреля) до +20,8°С (9 апреля). Во второй половине апреля температура воздуха опускалась в ночные часы ниже 0°С и поднималась до положительных значений в дневные часы. Последний заморозок был 6 мая (-1,1°С). Месяц май был очень теплым, особенно со второй декады, когда температура воздуха в дневные часы поднималась выше 20°С, достигая в отдельные дни +28,9°С (14 мая). Июнь был менее теплым по сравнению с маем, с перепадами температур. В отдельные прохладные дни максимальная температура не превышала +10,6°С (5 июня), в особенно теплые дни поднималась до +27,1°С (18 июня). В целом период роста растений от начала весеннего отрастания до цветения сопровождался высокой температурой воздуха, которая ускорила прохождение фаз.

Количество атмосферных осадков в апреле примерно двукратно превысило норму (58 мм при норме 33); в мае и июне осадков выпало в 2 раза меньше нормы (16 мм при норме 38 в мае и 28 мм при норме 57), в июле – соответствовало средним многолетним. Недостаток выпавших в мае осадков не отразился на состоянии растений благодаря запасам почвенной влаги, но в середине июня внешний вид растений свидетельствовал о недостаточном увлажнении почвы.

Для количественного описания динамики роста нами была использована модель Ричардса (Richards, 1959; цит. по [11]), представляющая собой обобщенную функцию для описания ассиметричных сигмоидальных кривых. Это уравнение имеет вид:

$$Y = \frac{A}{1+e^{(b-ct)^{\frac{1}{d}}}}, \quad (1)$$

где A – конечная величина показателя (верхняя асимптота);

e – основание натурального логарифма (e = 2,718) и имеет 4 параметра:

b – коэффициент, определяющий положение кривой относительно начала координат и не имеющий особого биологического смысла;

c – коэффициент, описывающий скорость роста на экспоненциальном участке кривой;

d – коэффициент, определяющий положение точки перегиба кривой от участка экспоненциального роста к асимптоте (чем выше этот показатель, тем раньше величина зависимой переменной достигает точки перегиба).

Выражение

$$W = \left(\frac{A}{d}\right)^{1/d} \quad (2)$$

определяет положение точки перегиба кривой (W) по оси Y, а обратный пересчет функции позволяет определить ее положение по оси X.

Точкой отсчета для построенных кривых является начало весеннего отрастания. Биологическая интерпретация показателей в нашем случае: Y – расчетная высота растений, t – число дней от начала отрастания, A – расчетная конечная высота растений; c – скорость роста на экспоненциальном участке, который соответствует периоду от образования генеративных побегов до начала цветения; d – определяет точку окончания периода интенсивного увеличения высоты растений, которое приходится на переход от фазы колошения к началу цветения растений (чем выше показатель d, тем короче период экспоненциального роста).

Расчеты проводили с использованием пакета CurveExpert v.1.40 (Hyams D. A curve fitting system for Windows. 1995-2003).

Результаты и их обсуждение. Всего были построены модели описания динамики роста для 37 сортов и дикорастущих образцов верховых злаков. Три модели (для овсяницы тростниковой, сорт Западная, дикорастущих образцов из Карелии ежи сборной и тимофеевки луговой) имели низкую сходимость при заданном числе итераций. Для восьми образцов (сорта Триада и Хлыновская ежи сборной, сорт Балтика, два коллекционных образца из Финляндии и дикорастущий образец из Ленинградской области овсяницы тростниковидной, сорт Юбилейный костреца безостого, сорт Гатчинка тимофеевки луговой) параметр d недостоверен и не определена точка перегиба. Остальные 26 моделей имели высокую достоверность и высокую корреляцию между эмпирическими данными и модельной кривой (r>0,95).

Виды верховых злаков достоверно различались по средней величине показателя A – потенциальной высоте растений (F = 2,97, p = 0,028), где F – критерий Фишера, p – доверительная вероятность. Потенциальная высота составляла в среднем у ежи сборной, костреца безостого и овсяницы тростниковой более 150 см, у овсяницы луговой и лисохвоста – менее 120 см.

Параметр c достоверно различался по видам (F = 2,62, p = 0,046): максимальная величина показателя была у образцов овсяницы луговой – 0,187, минимальная – у образцов тимофеевки – 0,107. По параметрам b и d дос-

товерных различий между видами не наблюдалось (F = 2,03, p = 0,105; F = 1,63, p = 0,184 соответственно).

Лисохвост луговой. В изучении находился один образец – сорт Серебристый. Указан как самый раннеспелый злак для пастбищно-сенокосного использования из представленного перечня и рекомендован для укоса в конце мая [9]. Сорт характеризуется высокой скоростью роста на экспоненциальном участке кривой (c = 0,165 и d = 1,819) (рис. 1). Расчетный период до точки перегиба 40 дней от начала весеннего отрастания.

Тимофеевка луговая. Сорт Ленинградская 204 оказался исключительно низкорослым (A = 82,4), имеет умеренный темп роста (c = 0,147) и быстро завершает экспоненциальную фазу роста (d = 3,618), 36 дней. Дикорастущий образец из Карелии и сорт Гатчинка проявили себя иначе. Не удалось установить точку перегиба и предполагаемую дату проведения укоса, поскольку кривая роста представляет собой линейную зависимость (рис. 1). Возможно, этот более позднеспелый образец не успел завершить свой рост ко времени окончания опыта.

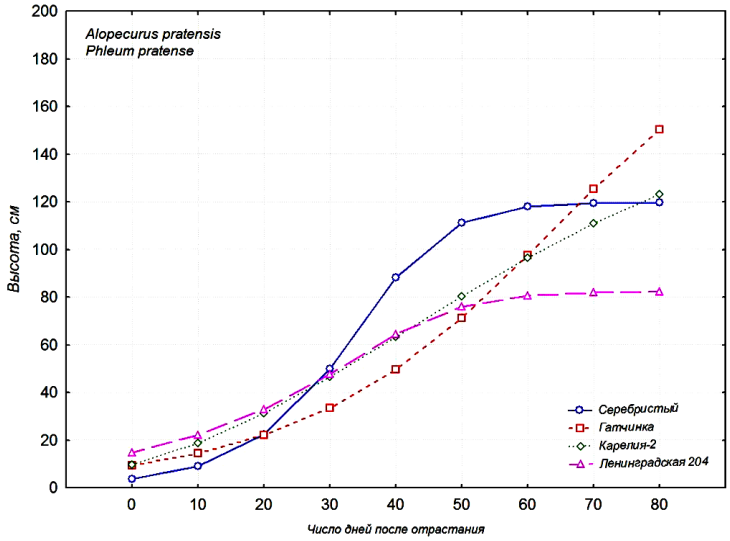

Рис. 1. **Модельные кривые роста образцов лисохвоста лугового и тимофеевки луговой**

Овсяница луговая. По показателям модели изученные образцы овсяницы луговой распадаются на две группы (рис. 2). Два дикорастущих образца к-44495 (Швеция) и к-44497 (Чехия) характеризуются относительной (для вида) высокорослостью (A = 126,0 и A = 124,7), довольно высокой скоростью роста (c = 0,149 и c = 0,143) и более поздним по сравнению с сортами овсяницы луговой переходом от экспоненциального роста к асимптоте (d = 2,310 и d = 2,597). Сорт Суйдинская отличается самой высокой скоростью экспоненциального роста (c = 0,265) и наиболее высоким значением параметра, характеризующим точку перегиба (d = 4,908) по всей совокупности сортов, но сорт этот относительно низкорослый (A = 116,1). Расчетный период до точки перегиба составляет 41-45 дней.

Кострец безостый. По характеру кривой среди образцов костреца безостого можно выделить две группы: относительно низкорослые сорта Аммагаан и Титан и высокорослые сорта Чишминский 3, Эркээни и Юбилейный (рис. 3). Низкорослые сорта отличаются умеренным темпом роста (c = 0,132-0,149) и средним значением параметра d (1,858-2,370). Сорт Юбилейный имеет крайне низкую скорость роста (c = 0,068). Высокорослый сорт Эркээни по параметрам c и d очень близок к сорту Аммагаан. Расчетный период до окончания экспоненциального роста от 43 (Титан) до 49 (Чишминский 3) дней.

Овсяница тростниковая. Образцы вида значительно различаются по параметрам кривой (рис. 4). Сорт Зарница выделяется как по скорости экспоненциального роста (c = 0,230), так и по скорости достижения точки перегиба (d = 6,137). По потенциальной высоте растений выделился сорт Лосинка, который считается среднепоздним (A = 196,9). Расчетная точка перегиба составляет от 55 (Зарница) до 62 (Лосинка) дней. Для ряда образцов параметр d<1 или недостоверен, что означает неполное соответствие модели наблюдаемым данным; расчетная точка перегиба для них не определена (табл. 2).

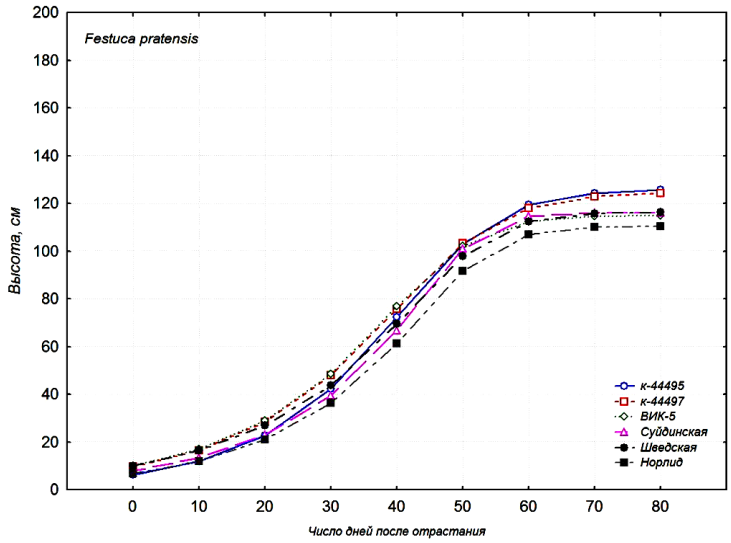

Рис. 2. **Модельные кривые роста образцов овсяницы луговой**

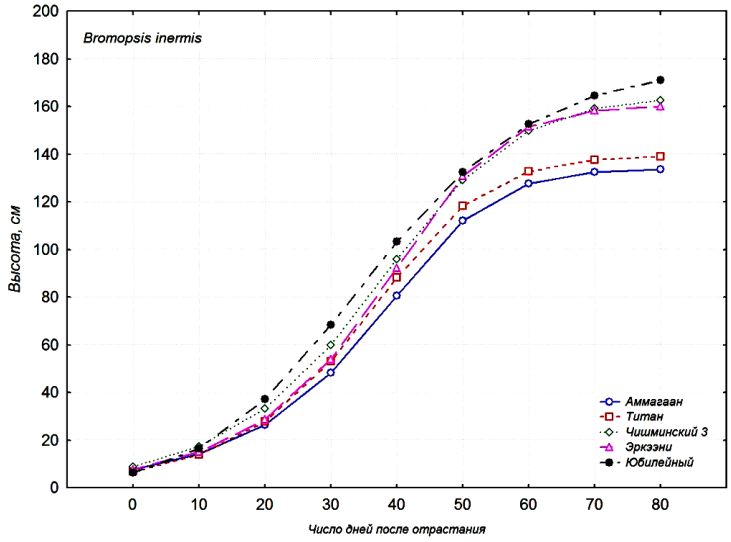

Рис. 3. **Модельные кривые роста образцов костреца безостого**

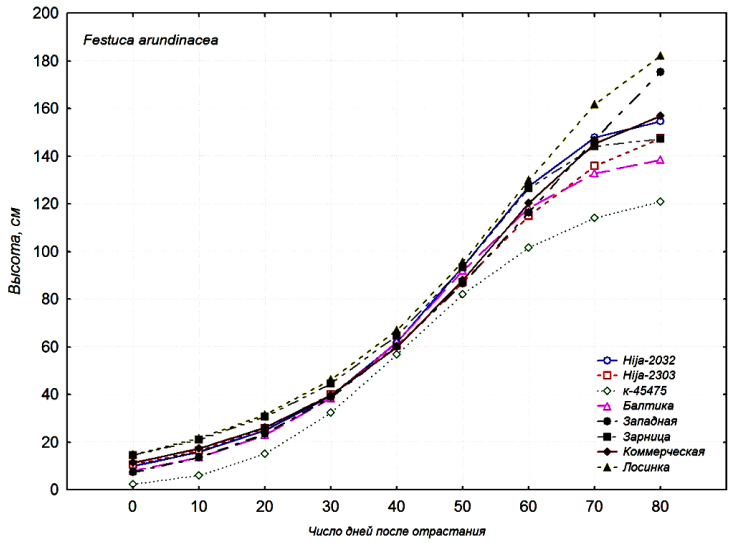

Рис. 4. **Модельные кривые роста образцов овсяницы тростниковой**

Таблица 2

Расчетные параметры для определения даты укоса

Вид	*Образец*	*Расчетные параметры в точке перегиба W*		
		высота растения, см	*число дней от весеннего отрастания*	*дата укоса*
Лисохвост луговой	Серебристый	86,3	40	21.05.2018
Кострец безостый	Аммагаан	93,0	44	30.05.2018
	Титан	99,9	43	31.05.2018
	Чишминский 3	125,0	49	05.06.2018
	Эркээни	112,9	45	02.06.2018
	Юбилейный	Не определено		
Ежа сборная	к-38088	95,8	48	01.06.2018
	к-44020	95,7	44	29.05.2018
	к-44021	99,1	47	01.06.2018
	к-44349	103,8	51	04.06.2018
	к-44354	108,5	53	06.06.2018
	Tammisto	97,4	48	02.06.2018
	ВИК-61	107,4	46	30.05.2018
	Двина	103,8	44	29.05.2018
	Дикорастущий (Карелия)	Не определено		
	Ленинградская 853	134,0	53	06.06.2018
	Нева	113,2	49	03.06.2018
	Петрозаводская	113,4	49	02.06.2018
	Триада	Не определено		
	Хлыновская	Не определено		
Овсяница тростниковая	Hija-2302	Не определено		
	Hija-2303	108,7	58	07.06.2018
	к-45475	Не определено		
	Балтика	Не определено		
	Западная	Не определено		
	Зарница	109,9	55	05.06.2018
	Коммерческая	Не определено		
	Лосинка	136,4	62	12.06.2018
Овсяница луговая	к-44495	87,7	45	30.05.2018
	к-44497	86,3	43	29.05.2018
	ВИК-5	80,0	41	27.05.2018
	Norlid	77,6	45	31.05.2018
	Суйдинская	84,0	45	30.05.2018
	Шведская	81,9	44	30.05.2018
Тимофеевка луговая	Гатчинка	Не определено		
	Дикорастущий (Карелия)	Не определено		
	Ленинградская 204	57,7	36	22.05.2018

Ежа сборная. Высокой скоростью роста (c = 0,211 и c = 0,163) и скоростью достижения точки перегиба (d = 4,428 и d = 3,447) отличаются дикорастущие образцы из Норвегии: к-44020 и к-44021. В то же время эти образцы сравнительно низкорослы (A = 133,9 и A = 141,9). Очень растянутым периодом достижения точки перегиба и низкой скоростью роста отличаются сорта Хлыновская, Ленинградская 853 и дикорастущий образец из Республики Карелия (c = 0,035-0,089 и d<1). Период до достижения точки перегиба составляет от 44 (Двина и к-44020, Норвегия) до 53 (Ленинградская 853 и к-44354, Республика Коми) дней. Для сортов Хлыновская, Триада и дикорастущего образца из Карелии расчетный период не определен (рис. 5).

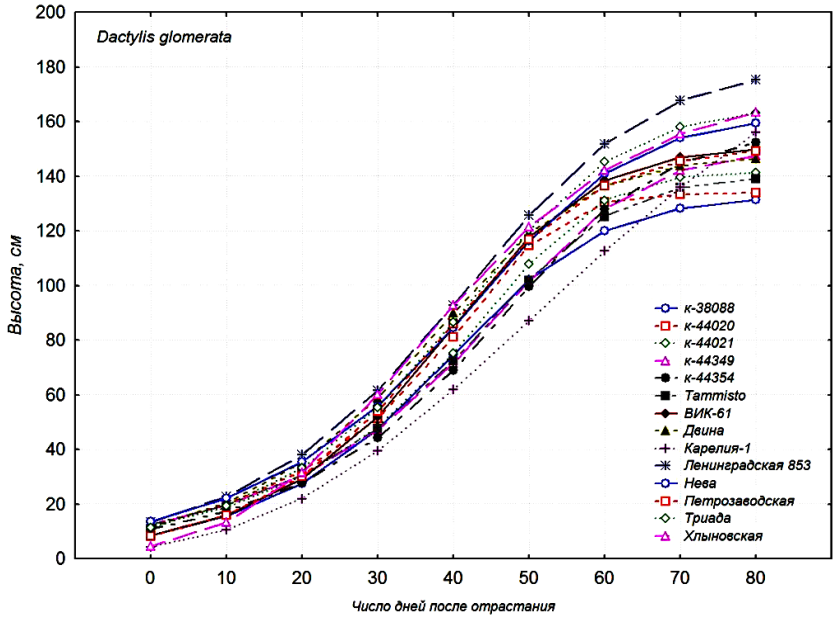

Рис. 5. **Модельные кривые роста образцов ежи сборной**

Выводы. Таким образом, среди образцов ежи сборной, тимофеевки луговой, овсяницы тростниковой и костреца безостого наблюдается широкая изменчивость по потенциальной высоте растений, темпу роста на экспоненциальном участке кривой и скорости достижения точки перегиба от экспоненциального участка к асимптоте. Образцы овсяницы луговой относительно однородны по параметрам модели. Наиболее скороспелыми оказались сорт лисохвоста Серебристый, сорт овсяницы луговой ВИК-5 и сорт тимофеевки луговой Ленинградская 204.

Продолжительным периодом роста (более 50 дней) отличаются образцы овсяницы тростниковой, образцы ежи сборной (Ленинградская 853, дикорастущие к-44349 из Ленинградской области и к-44354 из Республики Коми). У части образцов овсяницы тростниковой динамику роста можно описать логистической кривой, для которой точка перегиба (d) не определена, что не позволяет вычислить прогнозируемую высоту растений и дату укоса.

По наступлению ранних расчетных дат укоса выделяются сорт лисохвоста Серебристый и Ленинградская 204 – 20-21 мая. Поздней расчетной укосной спелостью характеризовались образцы овсяницы тростниковой, костреца безостого (сорт Чишминский 3), а также ежи сборной (Ленинградская 853, дикорастущие образцы к-44349 и к-44354 из Ленинградской области и Республики Коми соответственно).

Предложенная модель оказалась применимой в данных конкретных условиях для большинства изученных образцов многолетних злаков. Скорость роста у большинства изученных в настоящем исследовании верховых злаков подчиняется общим закономерностям и описывается кривой Ричардса. Использование предложенной модели позволяет оптимизировать сроки уборки верховых злаков с учетом сортовой принадлежности.

Список литературы

1. Синицына С.М., Спиридонов А.М. Состояние и перспективы возделывания многолетних трав Северо-Запада России // Аграрная Россия. 2018. № 2. С.17-22.

2. Медведев В.М. Кормовое достоинство костреца безостого, возделываемого на торфяниках // Кормопроизводство. 2003. № 6. С. 8-11.

3. Медведев В.М. Тимофеевка луговая на торфяниках // Кормопроизводство. 2003. № 6. С. 11-13.

4. Михайленко И.М. Математическое моделирование роста растений на основе экспериментальных данных // Сельскохозяйственная биология. 2007. № 1. С. 103-111.

5. Савинов И.П., Васильев Б.Р., Шмидт В.М. Об одном классе кривых роста растений // Журнал общей биологии. 1977. Т. 38. Вып. 3. С. 432-439.

6. Сакун В.А. О рациональном уравнении процесса роста растений // Вестник сельскохозяйственной науки. 1973. № 7. С. 81-86.

7. Малышева Н.Ю., Малышев Л.Л., Ковалева Н.В. Предварительные результаты изучения коллекции многолетних кормовых трав в ЛНИИСХ «БЕЛОГОРКА» // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. № 93. С. 94-102.

8. Иванов А.И., Бухтеева, А.В., Шутова З.П., Тихомирова И.А., Сосков Ю.Д., Синяков А.А., Базылев Э.Я. Изучение коллекции многолетних кормовых растений. Методические указания. Л.: ВИР, 1985. 48 с.

9. Яковлева Л.В., Калашник М.В., Заика И.Б., Грачева Л.С., Фесенко М.А., Евдокимова З.З., Гаджиев Н.М., Бекиш Л.П., Иванова Н.В., Поздняков В.А., Андрущенко А.М. Каталог сортов сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «БЕЛОГОРКА». СПб: изд-во Политехн. ун-та, 2015. 48 с.

10. Малышева Н.Ю. Белогорский опыт использования коллекции ВИР в селекции многолетних трав // Развитие земледелия в Нечерноземье: проблемы и их решение: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2016. С. 87-92.

11. Chapman D.G. Statistical problems in population dinamics // Proceedings of Fourth Berkley Simposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkley: University of California Press. 1961. P. 147-162.

Сведения об авторах:
Малышева Наталья Юрьевна[1], кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник,
Дюбенко Татьяна Владимировна[1], лаборант-исследователь,
Нагиев Талех Балага оглы[2], кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник,
Ковалева Надежда Владимировна[2], ст. научный сотрудник,
Малышев Леонид Леонидович[1], кандидат с.-х. наук, вед. научный. сотрудник, e-mail: l.malyshev@vir.nw.ru

[1]ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», ул. Большая Морская, д. 42-44, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru,
[2]ФГБНУ «Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «БЕЛОГОРКА», ул. Институтская, д. 1, д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, Российская Федерация, 188338, e-mail: lenniish@mail.ru

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka, 2018. Vol. 67, no. 6, pp. 65-73.

doi: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.65-73

Seasonal dynamics of growth of varieties and wild samples of perennial forage crops in the conditions of the Leningrad region

N.Yu. Malysheva[1], T.V. Dyubenko[1], T.B. Nagiev[2], N.V. Kovaleva[2], L.L. Malyshev[1],
[1]*Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russian Federation,*
[2]*Leningrad Research Institute of Agriculture "BELOGORKA", Belogorka village, Gatchinsky district, Leningrad region, Russian Federation*

Forecasting of plant productivity with the help of mathematical models is in demand in the field of precision agriculture. The work is devoted to determining the optimal timing of harvesting for green mass using theoretical growth curves in 37 samples of perennial grasses. The theoretical curves were constructed on the basis of Richards equation. The study of samples was carried out in the Leningrad Research Institute of Agriculture. The accounting was carried out in the spring and summer periods of 2018. Models were built for 37 samples. Three models had low convergence. The point of inflection wasn't determined for 8 samples. The rest 26 had high reliability and correlation between empirical data and the model curve. Among the samples of cocksfoot, tall fescue and bromegrass the variability in the potential height of plants, the growth rate at an exponential site and the rate of reaching the inflection point to the asymptote were observed. The samples of tall fescue were homogeneous in the model parameters. The most early matured varieties were Serebristy (21st of May) and Leningradskaya 204 (20th of May); their esti-

mated hay ripening began after 40 and 36 days. Late estimated hay ripeness was observed in the samples of tall fescue (55-62 days), bromegrass (Chishminsky 3 – 49 days), cocksfoot (Leningradskaya 853 – 53 days and wild samples: k-44349 from Leningrad region – 51 days and k-44354 from Komi Republic – 53 days. The recommended model is applicable for the majority of the studied samples. The use of the offered model allows to optimize the date of mowing taking into account the varietal belonging.

Key words: *mathematical model, perennial grasses, growth, forecasting*

References

1. Sinitsyna S.M., Spiridonov A.M. *Sostoyanie i perspektivy vozdelyvaniya mnogoletnikh trav Severo-Zapada Rossii*. [Condition and prospects of cultivation of perennial grasses of the North-West of Russia]. *Agrarnaya Rossiya*. 2018. no. 2. pp. 17-22.

2. Medvedev V.M. *Kormovoe dostoinstvo kostretsa bezostogo, vozdelyvaemogo na torfyanikakh*. [Fodder advantage of the bromegrass cultivated on peatlands]. *Kormoproizvodstvo*. 2003. no. 6. pp. 8-11.

3. Medvedev V.M. *Timofeevka lugovaya na torfyanikakh*. [Timothy-grass on the moor]. *Kormoproizvodstvo*. 2003. no. 6. pp. 11-13.

4. Mikhaylenko I.M. *Matematicheskoe modelirovanie rosta rasteniy na osnove eksperimental'nykh dannykh*. [Mathematical modeling of plant growth based on experimental data]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2007. no. 1. pp. 103-111.

5. Savinov I.P., Vasil'ev B.R., Shmidt V.M. *Ob odnom klasse krivykh rosta rasteniy*. [On one class of plant growth curves]. *Zhurnal obshchey biologii*. 1977. Vol. 38. Iss. 3. pp. 432-439.

6. Sakun V.A. *O ratsional'nom uravnenii protsessa rosta rasteniy*. [On the rational equation of the plant growth process]. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 1973. no. 7. pp. 81-86.

7. Malysheva N.Yu., Malyshev L.L., Kovaleva N.V. *Predvaritel'nye rezul'taty izucheniya kollektsii mnogoletnikh kormovykh trav v LNIISKh «BELOGORKA».* [Preliminary results of the study of the collection of perennial forage herbs in BELOGORKA»]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2017. no. 93. pp. 94-102.

8. Ivanov A.I., Bukhteeva, A.V., Shutova Z.P., Tikhomirova I.A., Soskov Yu.D., Sinyakov A.A., Bazylev E.Ya. *Izuchenie kollektsii mnogoletnikh kormovykh rasteniy. Metodicheskie ukazaniya.* [Study of the collection of perennial forage plants. Methodical instructions]. Leningrad: *VIR*, 1985. 48 p.

9. Yakovleva L.V., Kalashnik M.V., Zaika I.B., Gracheva L.S., Fesenko M.A., Evdokimova Z.Z., Gadzhiev N.M., Bekish L.P., Ivanova N.V., Pozdnyakov V.A., Andrushchenko A.M. *Katalog sortov sel'skokhozyaystvennykh kul'tur selektsii FGBNU «Leningradskiy nauchno-issledovatel'skiy institut sel'skogo khozyaystva «BELOGORKA».* [A catalogue of crop varieties breeding, FEDERAL state scientific institution "Leningrad scientific research Institute of agriculture "BELOGORKA»]. Saint-Petersburg: *izd-vo Politekhn. un-ta*, 2015. 48 p.

10. Malysheva N.Yu. *Belogorskiy opyt ispol'zovaniya kollektsii VIR v selektsii mnogoletnikh trav.* [Belogorsky experience of using the VIR collection in breeding of perennial grasses]. *Razvitie zemledeliya v Nechernozem'e: problemy i ikh reshenie: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Development of agriculture in non-chernozem region: problems and their solution: Proceedings of the International scientific and practical conference]. Saint-Petersburg, 2016. pp. 87-92.

11. Chapman D.G. Statistical problems in population dynamics. Proceedings of Fourth Berkley Simposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkley: University of California Press. 1961. pp. 147-162.

Information about the authors:
N.Yu. Malysheva[1], PhD of Agriculture, senior researcher,
T.V. Dyubenko[1], technician,
T.B. Nagiev[2], PhD of Agriculture, senior researcher,
N.V. Kovaleva[2], senior researcher,
L.L. Malyshev[1], PhD of Agriculture, leading researcher, e-mail: l.malyshev@vir.nw.ru

[1]Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources,
Bolshaya Morskaya str., 42-44, St. Petersburg, Russian Federation, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru,
[2]Leningrad Research Institute of Agriculture «Belogorka», st.Institutskaya, 1, Belogorka village, Gatchinsky district, Leningrad region, Russian Federation, 188338, e-mail: lenniish@mail.ru