

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тимьян ползучий	10.05	29.05	10.06	10.06	15.06	15.07	30	10.08	25.08	15.09	122	-
Калужница арктическая	02.05	12.05	18.05	18.05	05.06	15.06	10	12.06	05.07	02.08	90	-

В результате исследований впервые на Эвенкийском Севере успешно введены в культуру 7 декоративных многолетних видов, которые размножаются самосевом и вегетативно, то есть успешно прошли акклиматизацию. Два растения (аквилегия гибридная и тысячелистник гибридный) находятся на этапе вторичных интродукционных исследований. Проведены работы по восстановлению популяций исчезнувших гвоздики-травянки и тимьяна ползучего. Собрана коллекция семян интродуцентов.

Проведенные исследования показали, что в условиях вечной мерзлоты виды, отобранные нами для интродукции, обладают интродукционной устойчивостью, пластичностью и высокой декоративной пользой. Результаты исследований подтвердили целесообразность широкого культивирования их в условиях вечной мерзлоты.

Литература

- Борисова И.В. Сезонная динамика растительного сообщества // Полевая геоботаника. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – Т.4.
- Орлов М.В. Инвентаризация почвенного покрова государственного биосферного заповедника «Таймырский» / Восточно-Сибирский филиал Международного ин-та леса // Исследования природы Таймыра. Вып. 1. – Норильск, 2001. – С.175–187.
- Соболевская К.А. Пути и методы интродукции растений природной флоры в Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – 82 с.



УДК 639

Н.В. Цугленок, А.П. Халанская,
С.Н. Никуличкина, А.А. Количенко

ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ СОРТОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

В статье рассмотрены вопросы детерминированности зависимости биометрических показателей длины ростка, длины корней и длины колеоптиле растений ячменя и пшеницы.

В практике земледелия прогнозирование длины ростка, как одного из определяющих биометрических параметров зерновой культуры, позволяет опосредованно оценить урожайность и устойчивость ее сортов.

Ключевые слова: корень, колеоптиле, росток, биометрические показатели, детерминация.

N.V. Tsuglenok, S.N. Nikulochkina,
A.A. Kolichenko, A.P. Khalanskaya

EXPERT AND ANALYTICAL MODEL FOR THE BIOMETRIC INDICATOR ESTIMATION OF THE CULTIVATED GRAIN CROP SPECIES

The issues of determinacy of the biometric indicator dependency of germ length, root length and coleoptile length of barley and wheat plants are considered in the article. In the agricultural practice germ length forecasting, as one of the defining biometric parameters of the grain crop, allows to estimate the yield and stability of its species indirectly.

Key words: root, coleoptile, germ, biometric indicators, determination.

Введение. Эффективная система земледелия Восточной Сибири использует адаптивный потенциал культурных растений и прежде всего зерновых культур – ячменя и пшеницы [1, 2]. При возделывании зерно-

вых культур применяется комплексная характеристика сортов [3], которая включает в себя показатели изменчивости, наследственности, устойчивости [4–5] и основные биометрические показатели растений.

Актуальность исследований. Исследование комплексной проблемы формирования урожайности зерновых культур должно быть увязано с обобщением разрозненных знаний по прогнозированию биометрических показателей зерновых культур, адаптированных к зональным природно-климатическим условиям Красноярской лесостепи. Однако описание системы биометрических показателей и ее элементов немыслимо без раскрытия закономерностей и разработки моделей составляющих элементов.

Цель исследований – моделирование развития растений ячменя и пшеницы, объяснение детерминированности зависимостей биометрических показателей растений этих зерновых культур.

В задачи исследований входило: получение закономерностей для ростков различных сортов ячменя и пшеницы от развития корней и колеоптиле; сравнение с условными средними сортами ячменя и пшеницы, соответственно.

Объекты и методы исследований. Объектом исследований являются сорта ячменя и пшеницы. Предметом исследований является система биометрических показателей растений зерновых культур, влияющих на их урожайность, степени детерминированности зависимостей длины ростка от длины корня и длины колеоптиле.

Использованы методы регрессионного анализа и экспертные оценки, а также пакет DataFit.

Результаты исследований и их обсуждение. Качество сглаживания экспериментальных значений у результатного биометрического показателя, характеризующего развитие растения зерновой культуры по предлагаемой функциональной зависимости f от факторов x_1, x_2 , дается соответственно характеристиками отклонения ε и относительного отклонения δ .

Моделирование развития растений ячменя. Модель развития растений ячменя включает в себя четыре расчетные схемы для биометрической оценки сортов Биом, Ача, Ларец и условного среднего сорта ячменя.

Схема определения длины ростка ячменя сорта Биом ($f_1, \text{ см}$) в зависимости от длины корня ($x_1, \text{ см}$) и длины колеоптиле ($x_2, \text{ см}$) представляется следующей полиномально-логарифмической функцией двух переменных (рис. 1):

$$f = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 x_1^2 + b_4 \ln^2 x_2 + b_5 x_1 \ln x_2 + b_6 x_1^3 + b_7 \ln^3 x_2 + b_8 x_1 \ln^2 x_2 + b_9 x_1^2 \ln x_2,$$

где $b_0=865,3032499$; $b_1=-149,0542428$; $b_2=-505,8771202$; $b_3=7,442157011$; $b_4=77,12706137$; $b_5=70,91096919$; $b_6=-0,07005190209$; $b_7=-31,64240311$; $b_8=2,7926411$; $b_9=-3,108368389$ – коэффициенты регрессии.

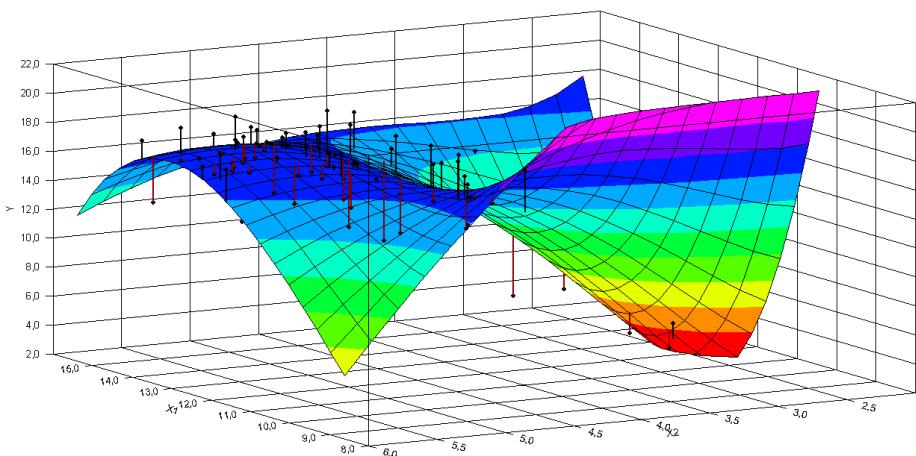


Рис. 1. Длина ростка ячменя сорта Биом

Стандартное отклонение (Standard Deviation) распределения фактора длины корня ($x_1, \text{ см}$) равно 1,112567626 см. Для распределения фактора длины колеоптиле ($x_2, \text{ см}$) стандартное отклонение равно 0,7741987816 см. Для распределения результатного показателя длины ростка ($f, \text{ см}$) стандартное отклонение

нение равно 3,500462154 см. Теоретически предсказанная длина ростка имеет стандартное отклонение 3,07229614, то есть менее рассеянные значения.

Корреляционная матрица (Correlation Matrix) факторов длины корня ($x_1, \text{см}$), длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) и показателя длины ростка ($f, \text{см}$) показывает, что связь длины ростка ($f, \text{см}$) с длиной колеоптиле ($x_2, \text{см}$) более тесная, чем связь с длиной корня ($x_1, \text{см}$) и оценивается соответственно коэффициентами корреляции $\rho(x_2, f) = 0,7321374382$ и $\rho(x_1, f) = 0,03530079879$:

	x_1	x_2	f
x_1	1	-0,05220301186	0,03530079879
x_2	-0,05220301186	1	0,7321374382
f	0,03530079879	0,7321374382	1

Коэффициент корреляции между эмпирическим и теоретическим распределениями длины ростка равен 0,8776828452. Коэффициент детерминации зависимости (Coefficient of Multiple Determination) равен 0,7703273551, следовательно, она детерминирована на 77,03%. Однако для объяснения менее 23% изменений показателя длины ростка недостаточно лишь изменений факторов длины корня и длины колеоптиле. Эти 23% следует отнести к действию других факторов развития растения ячменя, не включенных в регрессию. Из расчетов по предложенной схеме видно, что экспериментальная длина ростка отклоняется (Residual) от теоретически предсказанной длины ростка в диапазоне от -5,80349 до 2,879978 см, следовательно, абсолютная погрешность не превосходит 5,81 ц/га (табл. 1).

Таблица 1
Биометрические показатели растений ячменя сорта Биом*

Длина корня, ($x_1, \text{см}$)	Длина колеоптиле, ($x_2, \text{см}$)	Длина ростка, ($y, \text{см}$)	Вычисленная длина ростка, ($f, \text{см}$)	Отклонение, ($\varepsilon, \text{см}$)	Относительное отклонение, ($\delta, \%$)
12,1	4,1	12,0	14,03756	-2,03756	-16,9796
13,1	5,6	17,7	17,90685	-0,20685	-1,16862
11,8	4,2	15,9	14,62289	1,277111	8,032145
11,2	4,3	15,0	15,46499	-0,46499	-3,09992
12,6	4,2	13,6	14,62229	-1,02229	-7,51683
11,3	3,9	16,4	14,12518	2,274822	13,87087
...
13,0	3,5	6,1	9,900215	-3,80022	-62,2986

* всего 85 строк данных.

Схема определения длины ростка ячменя сорта Ача ($f, \text{см}$) в зависимости от длины корня ($x_1, \text{см}$) и длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) представляется следующей функцией (рис. 2):

$$f = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2 + b_3 x_1^3 + b_4 x_1^4 + b_5 x_1^5 + b_6 \ln x_2 + b_7 \ln^2 x_2 + \\ + b_8 \ln^3 x_2 + b_9 \ln^4 x_2 + b_{10} \ln^5 x_2,$$

где $b_0=-8831,761868$; $b_1=2821,522042$; $b_2=-455,3601122$; $b_3=36,57056394$; $b_4=-1,461080295$; $b_5=0,02322551839$; $b_6=7399,411779$; $b_7=-11291,5326$; $b_8=8357,667245$; $b_9=-3007,281148$; $b_{10}=422,2293016$ – коэффициенты регрессии.

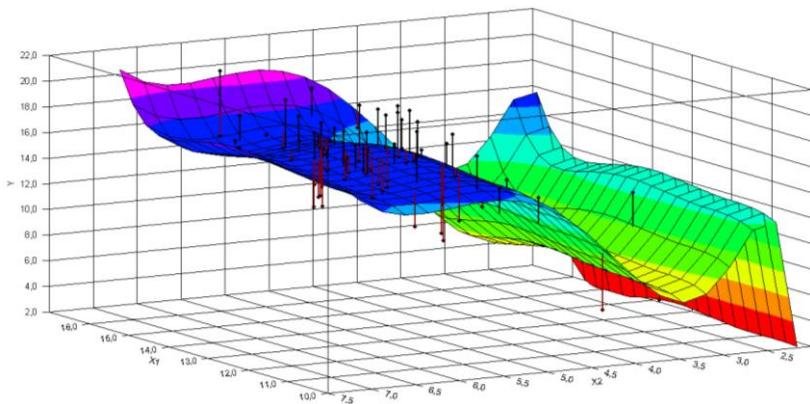


Рис. 2. Длина ростка ячменя сорта Ача

Стандартное отклонение (Standard Deviation) распределения фактора длины корня ($x_1, \text{см}$) равно 1,218657048 см. Для распределения фактора длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) стандартное отклонение равно 0,7587454252 см. Для распределения результатного показателя длины ростка ($f, \text{см}$) стандартное отклонение равно 3,175553126 см. Теоретически предсказанная длина ростка имеет стандартное отклонение 2,238603686, то есть менее рассеянные значения. Корреляционная матрица (Correlation Matrix) факторов длины корня ($x_1, \text{см}$), длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) и показателя длины ростка ($f, \text{см}$) показывает, что связь длины ростка ($f, \text{см}$) с длиной колеоптиле ($x_2, \text{см}$) более тесная, чем связь с длиной корня ($x_1, \text{см}$), и оценивается соответственно коэффициентами корреляции $\rho(x_2, f) = 0,561902637$ и $\rho(x_1, f) = 0,075270365$:

	x_1	x_2	f
x_1	1	0,005511833	0,075270365
x_2	0,005511833	1	0,561902637
f	0,075270365	0,561902637	1

Коэффициент корреляции между эмпирическим и теоретическим распределениями длины ростка равен 0,7152937102. Коэффициент детерминации (Coefficient of Multiple Determination) равен 0,475092427, следовательно, она детерминирована лишь на 47,50%. Из расчетов по предложенной схеме видно, что экспериментальная длина ростка отклоняется (Residual) от теоретически предсказанной длины ростка в диапазоне от -6,017578643 до 3,916985309 см, следовательно, абсолютная погрешность не превосходит 6,02 ц/га (табл. 2).

Таблица 2
Биометрические показатели растений ячменя сорта Ача*

Длина корня, ($x_1, \text{см}$)	Длина колеоптиле, ($x_2, \text{см}$)	Длина ростка, ($y, \text{см}$)	Вычисленная длина ростка, ($f, \text{см}$)	Отклонение, ($\varepsilon, \text{см}$)	Относительное отклонение, ($\delta, \%$)
12,4	6,2	17,3	16,28499	1,015009	5,867106
12,0	5,1	12,0	15,94444	-3,94444	-32,8703
10,2	6,1	16,1	15,47509	0,624914	3,88145
13,0	5,9	15,4	16,75175	-1,35175	-8,77758
13,1	5,3	19,6	16,73702	2,862977	14,60703
10,8	5,1	16,3	15,67773	0,622273	3,817624
...
13,6	5,3	19,4	16,67007	2,729925	14,07178

* всего 80 строк данных.

Схема определения длины ростка ячменя сорта Ларец (f , см) в зависимости от длины корня (x_1 , см) и длины колеоптиле (x_2 , см) представляется следующей полиномиальной функцией (рис. 3):

$$f = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1^2 + b_4 x_2^2 + b_5 x_1 x_2 + b_6 x_1^3 + b_7 x_2^3 + b_8 x_1 x_2^2 + b_9 x_1^2 x_2,$$

где $b_0=9,652862417$; $b_1=0,334423087$; $b_2=-9,253012139$; $b_3=-0,3323749957$; $b_4=2,889968402$; $b_5=1,046163393$; $b_6=0,0190685021$; $b_7=-0,2535791071$; $b_8=-0,04143399902$; $b_9=-0,03917456689$ – коэффициенты регрессии.

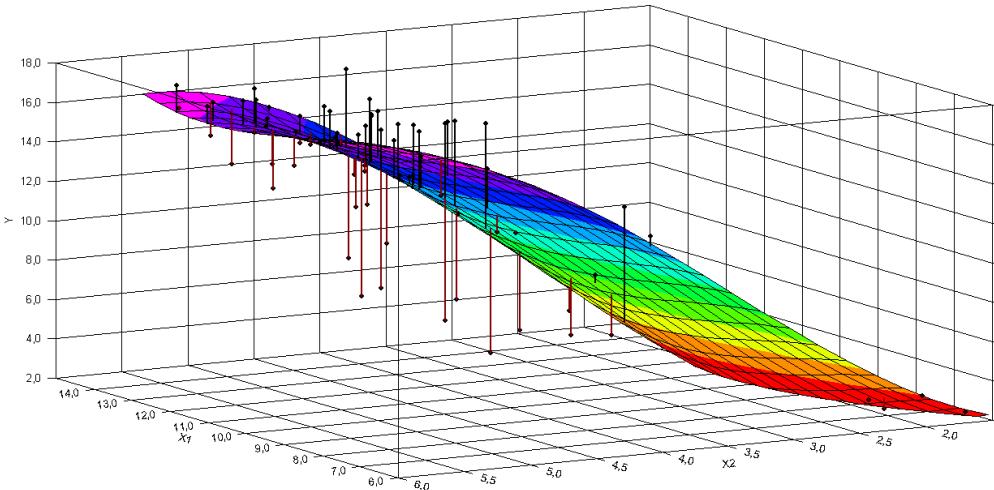


Рис. 3. Длина ростка ячменя сорта Ларец

Стандартное отклонение (Standard Deviation) распределения фактора длины корня (x_1 , см) равно 1,822423199 см. Для распределения фактора длины колеоптиле (x_2 , см) стандартное отклонение равно 0,9110578005 см. Для распределения результатного показателя длины ростка (f , см) стандартное отклонение равно 4,420941195 см. Теоретически предсказанная длина ростка имеет стандартное отклонение 3,62850055, то есть менее рассеянные значения.

Корреляционная матрица (Correlation Matrix) факторов длины корня (x_1 , см), длины колеоптиле (x_2 , см) и показателя длины ростка (f , см) показывает, что связь длины ростка (f , см) с длиной колеоптиле (x_2 , см) более тесная, чем связь с длиной корня (x_1 , см), и оценивается соответственно коэффициентами корреляции $\rho(x_2, f)=0,7958667139$ и $\rho(x_1, f)=0,3249756165$:

	x_1	x_2	f
x_1	1	0,3542018548	0,3249756165
x_2	0,3542018548	1	0,7958667139
f	0,3249756165	0,7958667139	1

Коэффициент корреляции между эмпирическим и теоретическим распределениями длины ростка равен 0,8212620583.

Коэффициент детерминации зависимости (Coefficient of Multiple Determination) равен 0,6569545025, следовательно, она детерминирована лишь на 65,69%.

Из расчетов по предложенной схеме видно, что экспериментальная длина ростка отклоняется (Residual) от теоретически предсказанной длины ростка в диапазоне от -7,016423218 до 5,758257089 см, следовательно, абсолютная погрешность не превосходит 7,02 ц/га (табл. 3).

Таблица 3
Биометрические показатели растений ячменя сорта Ларец*

Длина корня, (x_1 , см)	Длина колеоптиле, (x_2 , см)	Длина ростка, (y , см)	Вычисленная длина ростка, (f , см)	Отклонение, (ε , см)	Относительное отклонение, (δ , %)
11,7	4,6	14,0	13,79121	0,208789	1,491352
13,6	4,2	17,3	13,40891	3,891093	22,49187
9,2	4,7	17,4	14,97703	2,422968	13,9251
10,0	5,1	15,0	15,63646	-0,63646	-4,24304
14,1	3,5	11,6	10,52478	1,075215	9,269099
12,2	5,0	13,7	15,05483	-1,35483	-9,88925
...
12,2	5,3	15,6	15,64228	-0,04228	-0,27106

* всего 77 строк данных.

Схема определения длины ростка ячменя условного среднего сорта (f , см) в зависимости от длины корня (x_1 , см) и длины колеоптиле (x_2 , см) представляется следующей полиномиальной функцией (рис. 4):

$$f = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 \ln^2 x_1 + b_4 \ln^2 x_2 + b_5 \ln x_1 \ln x_2 + b_6 \ln^3 x_1 + b_7 \ln^3 x_2 + b_8 \ln x_1 \ln^2 x_2 + b_9 \ln^2 x_1 \ln x_2,$$

где $b_0=-10299,39869$; $b_1=10074,17297$; $b_2=3839,498307$; $b_3=-3362,755686$; $b_4=-677,3137926$; $b_5=-2240,226542$; $b_6=371,1764272$; $b_7=80,35975364$; $b_8=116,0546824$; $b_9=382,6487956$ – коэффициенты регрессии.

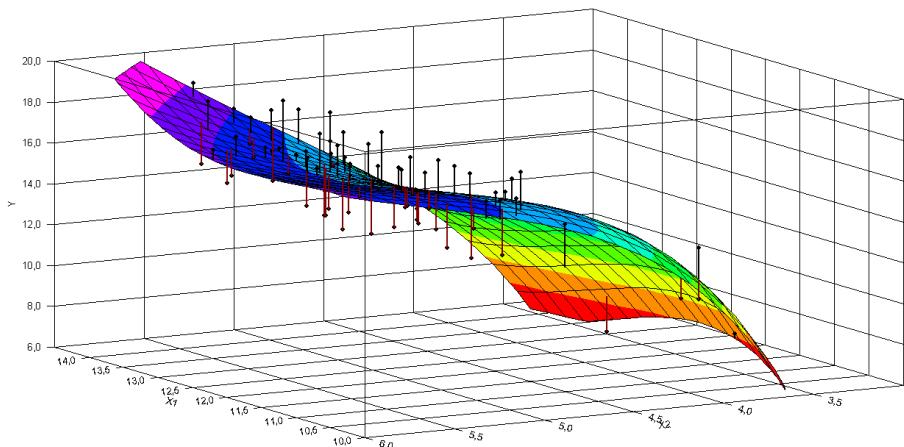


Рис. 4. Длина ростка ячменя условного среднего сорта

Стандартное отклонение (Standard Deviation) распределения фактора длины корня (x_1 , см) равно 0,8740694664 см. Для распределения фактора длины колеоптиле (x_2 , см) стандартное отклонение равно 0,5122611944 см. Для распределения результатного показателя длины ростка (f , см) стандартное отклонение равно 2,403366796 см. Теоретически предсказанная длина ростка имеет стандартное отклонение 1,942921369.

Корреляционная матрица (Correlation Matrix) факторов длины корня (x_1 , см), длины колеоптиле (x_2 , см) и показателя длины ростка (f , см) показывает, что связь длины ростка (f , см) с длиной коле-

оптиле ($x_2, \text{см}$) более тесная, чем связь с длиной корня ($x_1, \text{см}$), и оценивается соответственно коэффициентами корреляции $\rho(x_2, f) = 0,7682810242$ и $\rho(x_1, f) = 0,121321442$:

	x_1	x_2	f
x_1	1	0,0894537961	0,121321442
x_2	0,0894537961	1	0,7682810242
f	0,121321442	0,7682810242	1

Коэффициент корреляции между эмпирическим и теоретическим распределениями длины ростка равен 0,8084165384. Коэффициент детерминации (Coefficient of Multiple Determination) равен 0,6535371813, следовательно, она детерминирована лишь на 65,35%. Из расчетов по предложенной схеме видно, что экспериментальная длина ростка отклоняется (Residual) от теоретически предсказанной длины ростка в диапазоне от -3,10253 до 2,958349 см, следовательно, абсолютная погрешность не превосходит 3,11 см (табл. 4).

Таблица 4
Биометрические показатели растений ячменя условного среднего сорта*

Длина корня, ($x_1, \text{см}$)	Длина колеоп- тиле, ($x_2, \text{см}$)	Длина ростка, ($y, \text{см}$)	Вычисленная длина ростка, ($f, \text{см}$)	Отклонение, ($\varepsilon, \text{см}$)	Относительное отклонение, ($\delta, \%$)
12,066	4,966	14,433	15,285	-0,852	-5,904
12,900	4,966	15,666	15,064	0,602	3,844
10,400	5,000	16,466	15,638	0,828	5,031
11,400	5,100	15,133	15,857	-0,723	-4,784
13,266	4,333	14,933	13,072	1,860	12,459
11,433	4,666	15,466	15,139	0,326	2,112
...
13,000	3,500	6,100	7,839	-1,739	-28,509

* всего 85 строк данных.

Моделирование развития растений пшеницы. Модель развития растений пшеницы включает в себя четыре расчетные схемы для биометрической оценки сортов Новосибирская-15, Памяти Вавенкова, Озера Дончака, Алтайская-70 и условного среднего сорта пшеницы.

Схема определения длины ростка пшеницы сорта Новосибирская-15 ($f, \text{см}$) в зависимости от длины корня ($x_1, \text{см}$) и длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) представляется следующей полиномиально-логарифмической функцией (рис. 5):

$$f = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln^2 x_1 + b_3 \ln^3 x_1 + b_4 \ln^4 x_1 + b_5 \ln^5 x_1 + b_6 x_2 + b_7 x_2^2 + b_8 x_2^3 + b_9 x_2^4 + b_{10} x_2^5,$$

где $b_0=-89511,69405$; $b_1=184392,8389$; $b_2=-151109,401$; $b_3=61616,73754$; $b_4=-12500,98129$; $b_5=1009,457458$; $b_6=-78,36196133$; $b_7=41,50445605$; $b_8=-10,30359382$; $b_9=1,228075498$; $b_{10}=-0,05621912885$ – коэффициенты регрессии.

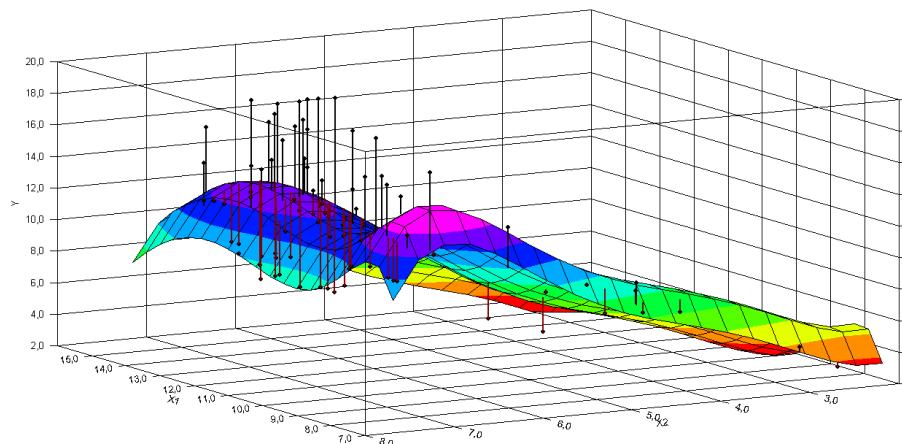


Рис. 5. Длина ростка пшеницы сорта Новосибирская-15

Стандартное отклонение (Standard Deviation) распределения фактора длины корня ($x_1, \text{см}$) равно 1,22605807 см. Для распределения фактора длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) стандартное отклонение равно 1,238058952 см. Для распределения результатного показателя длины ростка ($f, \text{см}$) стандартное отклонение равно 4,31570726 см. Теоретически предсказанная длина ростка имеет стандартное отклонение 2,819659632, то есть менее рассеянные значения. Корреляционная матрица (Correlation Matrix) факторов длины корня ($x_1, \text{см}$), длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) и показателя длины ростка ($f, \text{см}$) показывает, что связь длины ростка ($f, \text{см}$) с длиной колеоптиле ($x_2, \text{см}$) более тесная, чем связь с длиной корня ($x_1, \text{см}$), и оценивается соответственно коэффициентами корреляции $\rho(x_2, f) = 0,6246124472$ и $\rho(x_1, f) = 0,1440879711$:

	x_1	x_2	f
x_1	1	0,2059668307	0,1440879711
x_2	0,2059668307	1	0,6246124472
f	0,1440879711	0,6246124472	1

Коэффициент корреляции между эмпирическим и теоретическим распределениями длины ростка равен 0,653348338.

Коэффициент детерминации зависимости (Coefficient of Multiple Determination) равен 0,4268638681, следовательно, она детерминирована лишь на 42,68%. Из расчетов по предложенной схеме видно, что экспериментальная длина ростка отклоняется (Residual) от теоретически предсказанной длины ростка в диапазоне от -6,246140531 до 6,716203446 см, следовательно, абсолютная погрешность не превосходит 6,72 см (табл. 5).

Таблица 5
Биометрические показатели растений пшеницы сорта Новосибирская-15

Длина корня, ($x_1, \text{см}$)	Длина колеоптиле, ($x_2, \text{см}$)	Длина ростка, ($y, \text{см}$)	Вычисленная длина ростка, ($f, \text{см}$)	Отклонение, ($\varepsilon, \text{см}$)	Относительное отклонение, ($\delta, \%$)
12,2	6,8	13,0	13,36126	-0,36126	-2,77889
13,5	7,2	12,3	12,59226	-0,29226	-2,37612
13,2	6,9	12,9	13,55138	-0,65138	-5,04948
11,9	6,7	13,7	13,06327	0,636729	4,647656
11,9	6,0	10,8	11,05023	-0,25023	-2,31694
12,5	6,9	18,3	13,50639	4,793615	26,19461
...
12,3	6,1	13,2	11,69359	1,506406	11,41216

* всего 89 строк данных.

Схема определения длины ростка пшеницы сорта Памяти Вавенкова (f , см) в зависимости от длины корня (x_1 , см) и длины колеоптиле (x_2 , см) представляется следующей функцией (рис. 6):

$$f = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2 + b_3 x_1^3 + b_4 x_1^4 + b_5 x_1^5 + b_6 x_2 + b_7 x_2^2 + b_8 x_2^3 + b_9 x_2^4 + b_{10} x_2^5$$

где $b_0=15699,77299$; $b_1=-6016,533652$; $b_2=918,4931049$; $b_3=-69,4830021$; $b_4=2,605712116$; $b_5=-0,03876818486$; $b_6=-116,0642047$; $b_7=61,78895153$; $b_8=-15,26336048$; $b_9=1,79283158$; $b_{10}=-0,08044967978$ – коэффициенты регрессии.

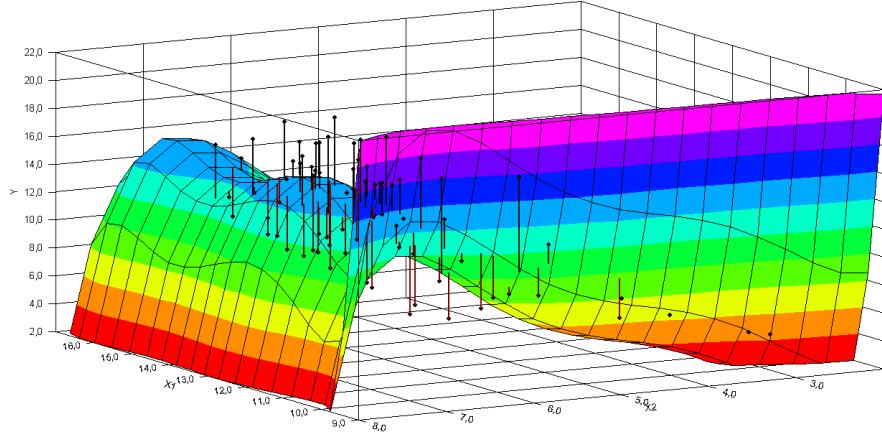


Рис. 6. Длина ростка пшеницы сорта Памяти Вавенкова

Стандартное отклонение (Standard Deviation) распределения фактора длины корня (x_1 , см) равно 1,133670936 см. Для распределения фактора длины колеоптиле (x_2 , см) стандартное отклонение равно 1,168686231 см. Для распределения результатного показателя длины ростка (f , см) стандартное отклонение равно 4,562505548 см. Теоретически предсказанная длина ростка имеет стандартное отклонение 3,405113001, то есть менее рассеянные значения. Корреляционная матрица (Correlation Matrix) факторов длины корня (x_1 , см), длины колеоптиле (x_2 , см) и показателя длины ростка (f , см) показывает, что связь длины ростка (f , см) с длиной колеоптиле (x_2 , см) более тесная, чем связь с длиной корня (x_1 , см), и оценивается соответственно коэффициентами корреляции $\rho(x_2, f) = 0,705168738$ и $\rho(x_1, f) = -0,0530308499$:

	x_1	x_2	f
x_1	1	-0,043536926	-0,0530308499
x_2	-0,0435369260	1	0,705168738
f	-0,0530308499	0,705168738	1

Коэффициент корреляции между эмпирическим и теоретическим распределениями длины ростка равен 0,7474767371. Коэффициент детерминации (Coefficient of Multiple Determination) равен 0,5545792377, следовательно, она детерминирована лишь на 55,45%. Из расчетов по предложенной схеме видно, что экспериментальная длина ростка отклоняется (Residual) от теоретически предсказанной длины ростка в диапазоне от -5,925559283 до 6,735207439 см, следовательно, абсолютная погрешность не превосходит 6,74 см (табл. 6).

Таблица 6

Биометрические показатели растений пшеницы сорта Памяти Вавенкова*

Длина корня, (x_1 , см)	Длина колеоптиле, (x_2 , см)	Длина ростка, (y , см)	Вычисленная длина ростка, (f , см)	Отклонение, (ε , см)	Относительное отклонение, (δ , %)
15,6	5,2	13,0	9,17934	3,82066	29,38969
14,1	5,7	6,4	9,817282	-3,41728	-53,395
13,2	6,0	12,1	12,25791	-0,15791	-1,30504
12,2	6,1	12,7	12,87133	-0,17133	-1,34905
14,2	6,2	10,1	12,00105	-1,90105	-18,8223
14,6	6,2	8,2	11,89874	-3,69874	-45,1066
...
13,1	6,2	17,7	13,31087	4,389132	24,79735

* всего 78 строк данных.

Схема определения длины ростка пшеницы сорта Озера Дончака (f , см) в зависимости от длины корня (x_1 , см) и длины колеоптиле (x_2 , см) представляется следующей полиномиальной функцией (рис. 7):

$$f = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 \ln^2 x_1 + b_4 \ln^2 x_2 + b_5 \ln x_1 \ln x_2 + b_6 \ln^3 x_1 + b_7 \ln^3 x_2 + b_8 \ln x_1 \ln^2 x_2 + b_9 \ln^2 x_1 \ln x_2,$$

где $b_0=-486,9781785$; $b_1=631,9210178$; $b_2=37,85922198$; $b_3=-288,523498$; $b_4=-36,71222406$; $b_5=28,96233269$; $b_6=46,54906268$; $b_7=-24,33734695$; $b_8=41,59197116$; $b_9=-26,2401376$ – коэффициенты регрессии.

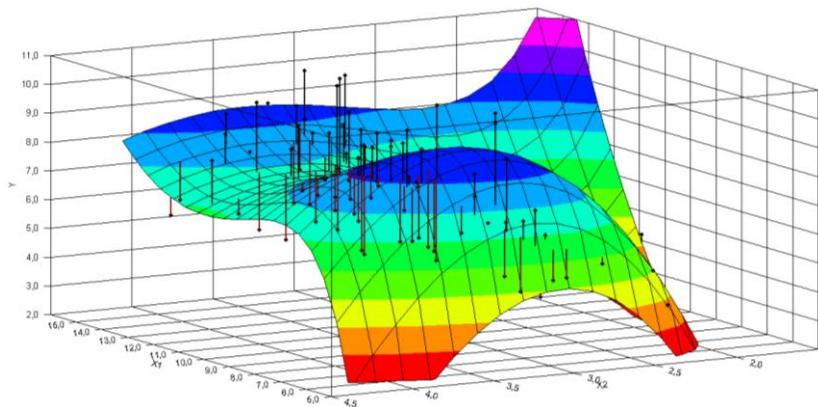


Рис. 7. Длина ростка пшеницы сорта Озера Дончака

Стандартное отклонение (Standard Deviation) распределения фактора длины корня (x_1 , см) равно 1,522041128 см. Для распределения фактора длины колеоптиле (x_2 , см) стандартное отклонение равно 0,5372330812 см. Для распределения результата показателя длины ростка (f , см) стандартное отклонение равно 1,979318025 см. Теоретически предсказанная длина ростка имеет стандартное отклонение 1,269698316, то есть менее рассеянные значения. Корреляционная матрица (Correlation Matrix) факторов длины корня (x_1 , см), длины колеоптиле (x_2 , см) и показателя длины ростка (f , см) показывает, что связь длины ростка (f , см) с длиной колеоптиле (x_2 , см) более тесная, чем связь с длиной корня (x_1 , см), и оценивается соответственно коэффициентами корреляции $\rho(x_2, f) = 0,5173916942$ и $\rho(x_1, f) = 0,2155980724$:

	x_1	x_2	f
x_1	1	0,2387927197	0,2155980724
x_2	0,2387927197	1	0,5173916942
f	0,2155980724	0,5173916942	1

Коэффициент корреляции между эмпирическим и теоретическим распределениями длины ростка равен 0,6414827071. Коэффициент детерминации (Coefficient of Multiple Determination) равен 0,4115000517, следовательно, она детерминирована лишь на 41,15%. Из расчетов по предложенной схеме видно, что экспериментальная длина ростка отклоняется (Residual) от теоретически предсказанной длины ростка в диапазоне от -2,870666035 до 3,310941959 см, следовательно, абсолютная погрешность не превосходит 3,32 см (табл. 7).

Таблица 7
Биометрические показатели растений пшеницы сорта Озера Дончака*

Длина корня, ($x_1, \text{см}$)	Длина колеоптиле, ($x_2, \text{см}$)	Длина ростка, ($y, \text{см}$)	Вычисленная длина ростка, ($f, \text{см}$)	Отклонение, ($\varepsilon, \text{см}$)	Относительное отклонение, ($\delta, \%$)
9,0	2,2	4,3	4,544664	-0,24466	-5,68985
12,3	2,9	5,7	6,556273	-0,85627	-15,0223
10,4	3,0	9,9	7,379158	2,520842	25,46305
13,0	3,2	7,1	7,192031	-0,09203	-1,29621
12,3	1,9	2,8	3,803018	-1,00302	-35,8221
14,2	3,7	9,0	7,930216	1,069784	11,88649
...
12,2	3,2	5,5	7,087383	-1,58738	-28,8615

* всего 89 строк.

Схема определения длины ростка пшеницы сорта Алтайская-70 ($f, \text{см}$) в зависимости от длины корня ($x_1, \text{см}$) и длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) представляется следующей полиномиальной функцией (рис. 8):

$$f = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_1^2 + b_3 x_1^3 + b_4 x_1^4 + b_5 x_1^5 + b_6 \ln x_2 + b_7 \ln^2 x_2 + b_8 \ln^3 x_2 + b_9 \ln^4 x_2 + b_{10} \ln^5 x_2,$$

где $b_0=1105,385531$; $b_1=-8,932059982$; $b_2=0,3977483623$; $b_3=0,0758876176$; $b_4=-0,007396320379$; $b_5=0,0001822547522$; $b_6=-4445,422163$; $b_7=7058,47379$; $b_8=-5409,632502$; $b_9=2016,358347$; $b_{10}=-293,7487434$ – коэффициенты регрессии.

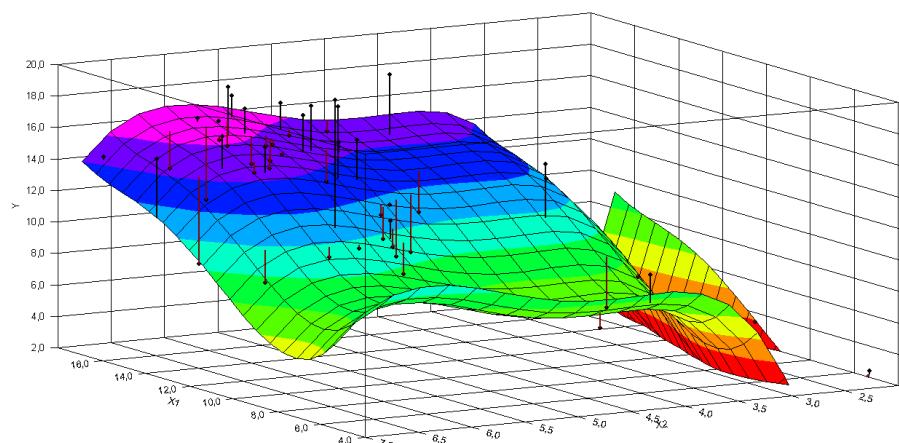


Рис. 8. Длина ростка пшеницы сорта Алтайская-70

Стандартное отклонение (Standard Deviation) распределения фактора длины корня ($x_1, \text{см}$) равно 2,610989509 см. Для распределения фактора длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) стандартное отклонение равно 1,104049519 см. Для распределения результатного показателя длины ростка ($f, \text{см}$) стандартное отклонение равно 4,100520513 см. Теоретически предсказанная длина ростка имеет стандартное отклонение 3,297466233, то есть менее рассеянные значения.

Корреляционная матрица (Correlation Matrix) факторов длины корня ($x_1, \text{см}$), длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) и показателя длины ростка ($f, \text{см}$) показывает, что связь длины ростка ($f, \text{см}$) с длиной колеоптиле ($x_2, \text{см}$) более тесная, чем связь с длиной корня ($x_1, \text{см}$), и оценивается соответственно коэффициентами корреляции $\rho(x_2, f) = 0,7201120316$ и $\rho(x_1, f) = 0,5935061915$:

	x_1	x_2	f
x_1	1	0,4953668716	0,7201120316
x_2	0,4953668716	1	0,5935061915
f	0,7201120316	0,5935061915	1

Коэффициент корреляции между эмпирическим и теоретическим распределениями длины ростка равен 0,8979829681. Коэффициент детерминации зависимости (Coefficient of Multiple Determination) равен 0,6466701156, следовательно, она детерминирована лишь на 64,66%. Из расчетов по предложенной схеме видно, что экспериментальная длина ростка отклоняется (Residual) от теоретически предсказанной длины ростка в диапазоне от -5,493301973 до 8,13062712 см, следовательно, абсолютная погрешность не превосходит 8,14 см (табл. 8).

Таблица 8
Биометрические показатели растений пшеницы сорта Алтайская-70*

Длина корня, ($x_1, \text{см}$)	Длина колеоптиле, ($x_2, \text{см}$)	Длина ростка, ($y, \text{см}$)	Вычисленная длина ростка, ($f, \text{см}$)	Отклонение, ($\varepsilon, \text{см}$)	Относительное отклонение, ($\delta, \%$)
10,0	6,1	10,4	11,06604	-0,66604	-6,40422
16,0	5,9	16,5	16,45612	0,04388	0,26594
12,3	5,0	8,8	12,38269	-3,58269	-40,7124
10,1	5,8	10,7	10,93857	-0,23857	-2,22965
10,5	2,0	3,4	3,496035	-0,09604	-2,82457
12,1	5,1	12,2	12,30353	-0,10353	-0,84859
...
14,7	5,3	17,6	14,76184	2,838157	16,12589

* всего 51 строк.

Схема определения длины ростка пшеницы условного среднего сорта ($f, \text{см}$) в зависимости от длины корня ($x_1, \text{см}$) и длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) представляется следующей полиномиальной функцией (рис. 9):

$$f = f(x_1, x_2) = b_0 + b_1 x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 x_1^2 + b_4 \ln^2 x_2 + b_5 x_1 \ln x_2 + \\ + b_6 x_1^3 + b_7 \ln^3 x_2 + b_8 x_1 \ln^2 x_2 + b_9 x_1^2 \ln x_2,$$

где $b_0=915,9729902$; $b_1=-147,7239398$; $b_2=-555,144825$; $b_3=7,670199065$; $b_4=76,14255754$; $b_5=66,55016404$; $b_6=-0,1456288519$; $b_7=5,071004311$; $b_8=-7,532310858$; $b_9=-1,562594373$ – коэффициенты регрессии.

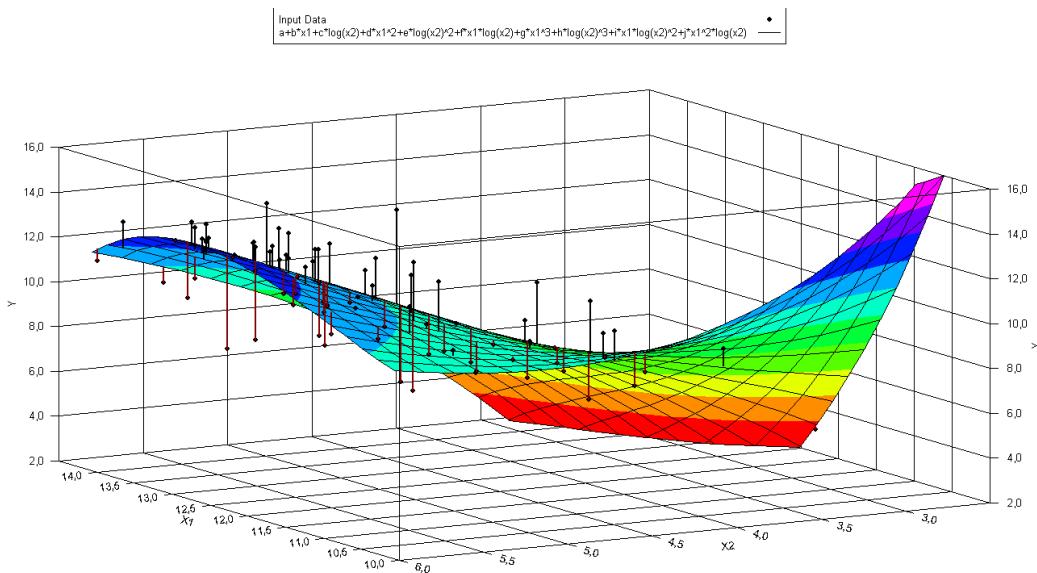


Рис. 9. Длина ростка пшеницы условного среднего сорта

Стандартное отклонение (Standard Deviation) распределения фактора длины корня ($x_1, \text{см}$) равно 0,8319546622 см. Для распределения фактора длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) стандартное отклонение равно 0,638657573 см. Для распределения результатного показателя длины ростка ($f, \text{см}$) стандартное отклонение равно 2,269764475 см. Теоретически предсказанная длина ростка имеет стандартное отклонение 1,719620304, то есть менее рассеянные значения.

Корреляционная матрица (Correlation Matrix) факторов длины корня ($x_1, \text{см}$), длины колеоптиле ($x_2, \text{см}$) и показателя длины ростка ($f, \text{см}$) показывает, что связь длины ростка ($f, \text{см}$) с длиной колеоптиле ($x_2, \text{см}$) более тесная, чем связь с длиной корня ($x_1, \text{см}$), и оценивается соответственно коэффициентами корреляции $\rho(x_2, f) = 0,7289658491$ и $\rho(x_1, f) = 0,320904273$:

	x_1	x_2	f
x_1	1	0,3787344641	0,320904273
x_2	0,3787344641	1	0,7289658491
f	0,320904273	0,7289658491	1

Коэффициент корреляции между эмпирическим и теоретическим распределениями длины ростка равен 0,7576205529. Коэффициент детерминации зависимости (Coefficient of Multiple Determination) равен 0,5739890339, следовательно, она детерминирована лишь на 57,39%. Из расчетов по предложенной схеме видно, что экспериментальная длина ростка отклоняется (Residual) от теоретически предсказанной длины ростка в диапазоне от -4,165519646 до 4,176467663 см, следовательно, абсолютная погрешность не превосходит 4,18 см (табл. 9).

Таблица 9

Биометрические показатели растений пшеницы условного среднего сорта*

Длина корня, (x_1 , см)	Длина колеоптиле, (x_2 , см)	Длина ростка, (y , см)	Вычисленная длина ростка, (f , см)	Отклонение, (ε , см)	Относительное отклонение, (δ , %)
11,700	5,075	10,175	10,020	0,154	1,522
13,975	5,425	10,225	11,198	-0,973	-9,519
12,275	5,225	10,925	10,850	0,074	0,686
11,800	5,450	11,050	10,968	0,081	0,734
12,225	4,025	6,775	7,752	-0,977	-14,432
13,350	5,475	11,925	11,908	0,016	0,136
...
12,250	4,650	9,350	9,328	0,021	0,225

* всего 89 строк.

Выводы

1. Расчеты по условному среднему сорту ячменя показывают, что длина ростка определяется длиной корней и длиной колеоптиле на 65,35%, а 34,65% изменений длины ростка можно отнести к действию внешних и случайных факторов небиометрического характера. Влияние внешних небиометрических факторов на длину ростка сортов ячменя: Биом меньше на 11,68%, Ача больше на 17,85%, а Ларец меньше на 0,34% по сравнению с аналогичным показателем условного среднего сорта.

2. Расчеты по условному среднему сорту пшеницы показывают, что длина ростка определяется длиной корней и длиной колеоптиле на 57,39%, а 42,61% изменений длины ростка объясняются небиометрическими характеристиками. Влияние внешних небиометрических факторов на длину ростка сортов пшеницы: Новосибирская-15 больше на 14,71%, Памяти Вавенкова больше на 1,94%, Озера Дончака больше на 16,24%, а Алтайская-70 меньше на 7,27% по сравнению с аналогичным показателем условного среднего сорта.

3. Сравнение условных средних сортов ячменя и пшеницы показывает, что длина ростка ячменя на 7,96% меньше зависит от внешних небиометрических характеристик, чем пшеницы, то есть обладает большей устойчивостью.

Литература

1. Бекетов А.Д., Ивченко В.К., Бекетова Т.А. Земледелие Восточной Сибири: учеб. пособие. – Красноярск: Изд-во Краснояр. гос. аграр. ун-та, 2003. – 388 с.
2. Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений. – Кишинев: Штиинца, 1988. – 766 с.
3. Характеристика сортов полевых культур, включенных в Государственный реестр по Красноярскому краю / Н.А. Сурина, Л.К. Бутковская, С.А. Лукьянов [и др.]. – Красноярск: Изд-во КНИИСХ СО РАСХН, 1997. – 102 с.
4. Никитина В.И. Изменчивость и наследование массы зерна с колоса у мягкой яровой пшеницы в условиях лесостепи Восточной Сибири // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск: Изд-во Краснояр. гос. аграр. ун-та, 2006. – Вып. 11. – С. 53–59.
5. Никитина В.И. Устойчивость сортообразцов яровой пшеницы к биотическим факторам // Науч.-техн. бюл. – Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1983. – Вып. 22. – С. 6–7.

