

**ИМИТАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ,
ЛИМИТИРУЮЩИХ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ**

Сибирина Татьяна Фёдоровна

к.б.н., доцент кафедры агроинженерии,
директор Ачинского филиала Красноярского ГАУ
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, Ачинский филиал
Россия, г. Ачинск

Мельникова Екатерина Валерьевна

к.т.н., доцент кафедры технологии хлебопекарного,
кондитерского и макаронного производств
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ
Россия, г. Красноярск

Мордвинова Надежда Михайловна

Агроном-технолог Агрохолдинга «Сибиряк»,
ОП «Краснополянское»
Россия, г. Назарово, с. Красная Поляна

Полубояринов Николай Александрович

старший преподаватель кафедры агроинженерии
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, Ачинский филиал
Россия, г. Ачинск

Беляков Алексей Андреевич

к.т.н., доцент кафедры экономики и управления АПК
ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, Ачинский филиал
Россия, г. Ачинск

Аннотация. Продолжено исследование механизма формирования продуктивности яровой пшеницы в типичных условиях лесостепи. Обоснована возможность использовать компьютерную имитацию группы режимных параметров биогеоценозов лесостепной зоны для прогнозирования продуктивности яровой пшеницы в период вегетации её растений. С использованием данных полевых опытов и предложенного авторами модельного представления группы подобных показателей продуктивности яровой пшеницы осуществлена их компьютерная имитация — получены числовые массивы урожайности, количества клейковины зерна, индекса деформации клейковины, числа падения α -амилазы зерна, натуры зерна. Вычисленные расхождения оценок исходных и сгенерированных распределений показателей продуктивности яровой пшеницы не превосходят 6%. Однако для условий лесостепной зоны выяснено, что исходные основные и сгенерированные расширенные статистические распределения, полученные для модельного сорта Новосибирская 31, не подчинены нормальному гауссовскому закону.

Ключевые слова. Имитация режимов, результатный показатель, показатели продуктивности, продукционный процесс, яровая пшеница, сумма активных температур, сумма осадков, равномерное распределение, урожайность, количество клейковины зерна, индекс деформации клейковины, число падения α -амилазы зерна, натура зерна, коэффициент корреляции, корреляционная матрица, стандартное отклонение, коэффициент детерминации, период вегетации растений, лесостепная зона.

**SIMULATION OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION REGIMES
LIMITING THE PRODUCTIVITY OF SPRING WHEAT IN
THE FIELD CONDITIONS OF FOREST-STEPPE**

Sibirina Tatiana Fyodorovna

Ph.D, associate Professor, Chair of Agroengineering
Achinsk branch of the Krasnoyarsk State Agrarian University
Director of the Achinsk branch of the Krasnoyarsk SAU
Russia, the city of Achinsk

Melnikova Ekaterina Valerievna

Ph.D., associate professor, Chair of baking
confectionery and pasta technology productions
Krasnoyarsk State Agrarian University
Russia, the city of Krasnoyarsk

Mordvinova Nadezhda Mikhailovna

Agronomist-technologist of the Sibiryak Agricultural holding,
Separate division «Krasnopolyanskoe»
Russia, the city of Nazarovo, with. Krasnaya Polyana

Poluboyarinov Nikolay Aleksandrovich

Senior lecturer, Chair of Agroengineering
Achinsk branch of the Krasnoyarsk State Agrarian University
Russia, the city of Achinsk

Belyakov Alexey Andreevich

Ph.D., associate professor, Chair of Economics and Management AIC
Achinsk branch of the Krasnoyarsk State Agrarian University
Russia, the city of Achinsk

Annotation. The study of the mechanism of formation of spring wheat productivity in typical conditions of the forest-steppe is continued. The possibility of using computer simulation of a group of regime parameters of biogeocenoses of the forest-steppe zone to predict the productivity of spring wheat during the growing season of its plants is substantiated. Using data from field experiments and a model presentation of a group of similar indicators of spring wheat productivity proposed by the authors, their computer simulation was carried out - numerical arrays of yield, amount of grain gluten, gluten deformation index, incidence number of grain α -amylase, and grain nature were obtained. The calculated discrepancies in the estimates of the initial and generated distributions of spring wheat productivity indicators do not exceed 6%. However, for the conditions of the forest-steppe zone, it was found that the initial basic and generated extended statistical distributions obtained for the model variety Novosibirsk 31 are not subject to the normal Gaussian law.

Key words. Simulation of regimes, result indicator, productivity indicators, production process, spring wheat, sum of active temperatures, precipitation amount, uniform distribution, yield, amount of grain gluten, gluten deformation index, grain α -amylase drop number, grain nature, correlation coefficient, correlation matrix, standard deviation, coefficient of determination, vegetation period of plants, forest-steppe zone.

Введение. Полевые опыты с растениями сорта Новосибирская 31 яровой пшеницы проведены, главным образом, для получения знаний о распределении, экстремумах результатных показателей продуктивности и их взаимодействии с режимными показателями биоеоценоза. Однако, не все комбинации режимных параметров были физически осуществлены в опытах [2, 3, 5]. Кроме того, в связи с высокой трудоёмкостью опытов, проводимых на полевом стационаре при различных комбинациях условий

возделывания яровой пшеницы, возникла необходимость снижения их стоимости. В исследованиях оба требования совмещены. Во-первых, выполнено планирование основных опытов с определением параметров распределения режимных и результатных показателей. Во-вторых, на основе первого шага, осуществлена компьютерная имитация показателей с найденными параметрами распределения. С использованием предложенного авторами модельного представления группы подобных показателей продуктивности яровой пшеницы выполнена их имитация — получены числовые массивы урожайности, количества клейковины зерна, индекса деформации клейковины, числа падения α -амилазы зерна, натуры зерна. Числовые оценки этих расширенных статистических распределений были выданы в качестве прогнозируемых значений показателей продуктивности яровой пшеницы.

Цель исследования. Обосновать возможность имитации режимов температуры и осадков, лимитирующих продукционный процесс яровой пшеницы в период вегетации её растений в полевых условиях лесостепной зоны.

Задачи исследования. Выполнить разыгрывание равномерно-распределённых режимов температуры и осадков, влияющих на результатные показатели продукционного процесса яровой пшеницы в 5-и заданных интервалах дискретизации периода вегетации её растений в имитируемых полевых условиях лесостепной зоны. Вычислить коэффициенты распределения показателей продукционного процесса яровой пшеницы.

Объект исследования. Механизм и закономерности формирования продуктивности яровой пшеницы в биогеоценозах, лимитируемых режимами температуры и осадков лесостепной зоны Красноярского края.

Предмет исследования. Взаимодействие группы режимных показателей лесостепи (температура, осадки) с группой показателей продуктивности яровой пшеницы (урожайность, количество клейковины зерна, индекс деформации клейковины, число падения α -амилазы зерна, натура зерна) в 5-и интервалах, покрывающим период вегетации её растений.

Условия и методы исследований. Экспериментальные исследования проведены в 2013–2019 гг. на полях ОП «Краснополянское» Агрохолдинга «Сибиряк» в Назаровском районе Красноярского края и в производственных условиях Учебного хозяйства «Канонерское» Ачинского филиала Красноярского ГАУ. В теоретических обобщениях использованы прикладные математические методы [1, 4, 6, 7], алгоритмы, компьютерные пакеты Maple, DataFit и табличный процессор MsExcel.

Результаты исследования и обсуждение. С использованием модельного представления группы подобных показателей продуктивности яровой пшеницы [8–10] выполнена их имитация в предположении, что режимные показатели распределены равномерно (от минимума до максимума фактически наблюдаемых данных) в каждом из 5-и интервалов дискретизации периода вегетации (табл. 1, 2, рис. 1).

Имитация урожайности зерна при разыгрывании 10-и равномерно распределённых режимных параметров $T_5, R_5, T_6, R_6, T_7, R_7, T_8, R_8, T_9, R_9$ температуры и осадков, отнесённых к 5-и интервалам дискретизации периода вегетации выполнена по формуле [8]:

$$u(T_5, R_5, T_6, R_6, T_7, R_7, T_8, R_8, T_9, R_9) = 3278,5055 \cdot T_5^{-0,5544} \cdot R_5^{-0,9701} + 0,9733 \cdot 10^{-11} \cdot T_6^{0,3931} \cdot R_6^{6,7146} + \\ + 0,6923 \cdot 10^{-8} \cdot T_7^{4,4294} \cdot R_7^{-1,8983} + 216,9443 \cdot T_8^{0,2534} \cdot R_8^{-1,2562} + 0,6794 \cdot 10^{-17} \cdot T_9^{1,2672} \cdot R_9^{9,8503}.$$

Сгенерированный на компьютере числовой массив — это искомое расширенное статистическое распределение урожайности в диапазоне от минимума 20,78 ц/га до максимума 37,24 ц/га, которое имеет числовые оценки: математическое ожидание 28,25 ц/га, стандартное отклонение 3,49 ц/га, асимметрию 0,40, эксцесс 0,08, вариацию 12%.

Имитация количества клейковины зерна при разыгрывании 10-и равномерно распределённых режимных параметров $T_5, R_5, T_6, R_6, T_7, R_7, T_8, R_8, T_9, R_9$ температуры и осадков, отнесённых к 5-и интервалам дискретизации периода вегетации:

$$u(T_5, R_5, T_6, R_6, T_7, R_7, T_8, R_8, T_9, R_9) = 0,8793 \cdot T_5^{0,0520} \cdot R_5^{0,4413} + 3941,2132 \cdot T_6^{-0,4751} \cdot R_6^{-0,9754} + \\ + 0,3105 \cdot 10^{69} \cdot T_7^{-30,7329} \cdot R_7^{9,9303} + 3021,9180 \cdot T_8^{-0,8244} \cdot R_8^{-0,9754} + 0,0723 \cdot T_9^{0,0078} \cdot R_9^{1,3460};$$

Сгенерированное на компьютере расширенное статистическое распределение количества клейковины зерна в диапазоне от минимума 24,68 у.е. до максимума 33,05 у.е., которое имеет числовые оценки: математическое ожидание 27,66 у.е., стандартное отклонение 1,94 у.е., асимметрию 1,04, эксцесс 0,69, вариацию 7%.

Имитация индекса деформации клейковины зерна при разыгрывании 10-и равномерно распределённых режимных параметров $T_5, R_5, T_6, R_6, T_7, R_7, T_8, R_8, T_9, R_9$ температуры и осадков, отнесённых к 5-и интервалам дискретизации периода вегетации выполнена по формуле:

$$u(T_5, R_5, T_6, R_6, T_7, R_7, T_8, R_8, T_9, R_9) = 9,9850 \cdot T_5^{0,0684} \cdot R_5^{0,0550} + 257,1422 \cdot T_6^{0,0325} \cdot R_6^{-0,7648} + \\ + 0,9223 \cdot 10^{-10} \cdot T_7^{5,0602} \cdot R_7^{-1,5693} + 3,0012 \cdot T_8^{0,1168} \cdot R_8^{0,2345} + 4994,2897 \cdot T_9^{-0,1798} \cdot R_9^{-1,6355};$$

Сгенерированное на компьютере расширенное статистическое распределение индекса деформации клейковины зерна в диапазоне от минимума 75,58 у.е. до максимума 98,61 у.е., которое имеет числовые оценки: математическое ожидание 85,18 у.е., стандартное отклонение 6,56 у.е., асимметрию 0,47, эксцесс -0,94, вариацию 8%.

Имитация числа падения α -амилазы зерна при разыгрывании 10-и равномерно распределённых режимных параметров $T_5, R_5, T_6, R_6, T_7, R_7, T_8, R_8, T_9, R_9$ температуры и осадков, отнесённых к 5-и интервалам дискретизации периода вегетации:

$$u(T_5, R_5, T_6, R_6, T_7, R_7, T_8, R_8, T_9, R_9) = 0,9642 \cdot T_5^{0,0881} \cdot R_5^{0,9581} + 0,4781 \cdot 10^8 \cdot T_6^{-1,0683} \cdot R_6^{-1,8598} + \\ + 0,3895 \cdot 10^{158} \cdot T_7^{-70,2900} \cdot R_7^{22,6855} + 0,1651 \cdot 10^9 \cdot T_8^{-1,8779} \cdot R_8^{-0,7863} + 0,0001 \cdot T_9^{0,0894} \cdot R_9^{3,6454};$$

Сгенерированное на компьютере расширенное статистическое распределение числа падения α -амилазы зерна в диапазоне от минимума 254,17 у.е. до максимума 911,28 у.е., которое имеет числовые оценки: математическое ожидание 359,40 у.е., стандартное отклонение 140,95 у.е., асимметрию 2,58, эксцесс 6,68, вариацию 39%.

Имитация натурности зерна при разыгрывании 10-и равномерно распределённых режимных параметров $T_5, R_5, T_6, R_6, T_7, R_7, T_8, R_8, T_9, R_9$ температуры и осадков, отнесённых к 5-и интервалам дискретизации периода вегетации выполнена по формуле:

$$u(T_5, R_5, T_6, R_6, T_7, R_7, T_8, R_8, T_9, R_9) = 214,8644 \cdot T_5^{0,0009} \cdot R_5^{-0,0098} + 174,9089 \cdot T_6^{0,0137} \cdot R_6^{-0,0001} + \\ + 0,9289 \cdot T_7^{0,9852} \cdot R_7^{-0,3161} + 84,5406 \cdot T_8^{0,0258} \cdot R_8^{0,0162} + 211,1242 \cdot T_9^{-0,0063} \cdot R_9^{-0,0911}.$$

Сгенерированное на компьютере расширенное статистическое распределение натурности зерна от минимума 790,51 г/л до максимума 815,15 г/л, которое имеет числовые оценки: математическое ожидание 801,62 г/л, стандартное отклонение 7,19 г/л, асимметрию 0,31, эксцесс -1,08, вариацию 1%.

Таблица 1 – Имитация режимных и результатных показателей яровой пшеницы в условиях лесостепи

№	Режимы температуры и осадков природной среды биогеоценоза										Продуктивность биообъекта				
	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Урож., ц/га	Колич. клейк., у.е.	Деф. клейк., у.е.	Числ. паден., у.е.	Натур. зерн., г/л
	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм					
1	95,33	53,19	442,28	39,43	760,59	113,31	564,88	67,78	138,52	33,58	25,34	27,59	80,22	320,71	796,41
2	209,20	82,64	651,52	36,98	543,12	37,11	522,68	65,26	235,03	35,53	34,44	28,51	82,38	337,97	798,20
3	109,07	80,78	670,68	39,77	738,03	106,26	519,01	67,12	106,17	33,35	23,23	28,79	80,05	372,90	795,43
4	111,30	72,99	667,81	37,29	610,98	47,24	641,96	48,45	179,64	32,00	30,08	25,39	87,29	264,19	806,05
5	71,21	73,29	562,85	37,74	654,71	68,40	610,51	75,45	171,33	32,19	24,19	26,44	82,48	281,18	798,82
6	76,90	76,40	553,22	40,54	657,80	56,44	501,73	70,15	173,22	32,71	30,56	25,96	89,00	281,45	807,63
7	143,64	64,69	608,05	40,38	618,91	43,33	502,09	63,17	103,28	34,53	32,75	26,09	92,67	285,22	811,60
8	101,53	62,11	622,50	40,49	677,83	71,64	610,97	52,42	198,70	34,89	35,77	26,16	81,69	282,08	800,50
9	245,93	76,17	639,81	39,12	667,29	61,06	502,32	60,01	136,96	33,98	27,85	26,96	88,78	303,09	806,02
10	237,19	77,81	672,65	39,02	678,34	84,18	564,91	52,94	199,65	33,47	26,96	30,12	78,53	468,42	793,50
11	127,51	74,57	607,05	37,31	547,14	42,61	572,61	49,17	104,43	33,70	26,11	29,73	78,42	418,07	794,12
12	223,50	59,34	592,54	39,73	767,03	119,73	504,06	65,94	217,62	34,22	27,90	28,85	79,49	377,69	794,77
13	249,23	72,24	448,89	37,79	724,15	68,91	639,11	52,00	109,08	32,92	27,13	26,64	96,72	299,02	812,90
14	86,94	75,23	643,39	39,51	726,76	100,04	590,70	49,99	132,66	32,09	26,23	27,76	79,40	334,16	796,14
15	123,06	65,61	544,01	39,87	784,78	89,25	640,66	70,80	258,66	32,33	30,57	24,68	95,51	256,18	813,03
16	71,38	65,41	439,29	38,89	735,39	110,41	517,28	53,00	179,46	33,15	26,77	31,38	76,45	585,29	791,64
17	198,79	83,05	556,99	39,44	515,03	32,03	570,27	75,79	246,39	33,71	31,22	27,61	81,67	313,22	798,09
18	105,14	56,01	495,50	37,62	612,63	64,35	531,68	52,78	187,49	34,32	29,08	32,58	75,59	807,06	790,61
19	257,06	55,45	576,06	39,53	672,34	76,32	518,66	65,71	166,31	33,38	25,53	27,36	81,05	306,08	797,32
20	267,02	57,69	619,60	38,15	792,95	96,84	529,01	74,51	242,75	35,14	32,91	26,06	93,55	289,30	809,81
21	129,65	75,89	501,92	39,75	683,11	67,89	625,35	63,88	217,02	33,91	31,11	26,43	86,45	293,94	803,98
22	255,78	71,75	515,97	38,46	655,26	47,85	622,36	58,94	118,31	35,22	32,35	26,82	98,61	307,07	815,15
23	144,94	71,59	628,50	40,25	525,87	38,32	536,45	66,81	202,90	33,91	30,51	29,69	77,02	465,58	793,18
24	118,55	72,57	532,38	40,03	757,27	78,79	611,33	56,99	84,89	32,54	28,46	25,45	96,38	268,12	813,90
25	98,28	78,28	545,69	38,47	728,45	75,37	506,01	65,82	107,59	35,28	27,82	27,31	91,51	316,13	808,35
26	96,73	71,56	547,91	39,51	687,41	76,97	604,35	71,61	176,77	33,32	26,87	26,37	82,85	280,79	799,81
27	156,97	84,50	636,47	37,11	584,65	44,44	502,10	65,14	124,55	34,26	25,80	27,78	84,99	316,25	801,31

№	Режимы температуры и осадков природной среды биогеоценоза										Продуктивность биообъекта				
	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Урож., ц/га	Колич. клейк., у.е.	Деф. клейк., у.е.	Числ. паден., у.е.	Натур. зерн., г/л
	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм					
28	279,61	61,74	475,19	39,29	672,92	64,21	615,77	54,58	98,07	34,79	27,55	26,74	87,64	295,86	804,92
29	260,96	55,08	595,23	37,15	724,11	83,02	580,08	72,59	115,07	34,59	23,57	25,95	88,41	273,36	804,62
30	257,49	75,76	569,78	40,44	599,65	59,02	585,84	51,65	222,35	32,38	28,10	30,99	76,98	607,80	792,25
31	244,10	82,15	528,56	40,71	736,93	104,55	623,78	69,73	127,90	34,09	23,97	28,89	80,98	365,63	795,55
32	189,44	70,84	573,38	38,01	699,40	81,65	504,98	75,56	134,71	34,18	23,09	27,59	84,04	306,06	799,35
33	174,07	81,41	463,12	37,46	698,04	77,92	535,15	54,05	113,52	34,02	24,08	28,55	84,72	334,78	800,19
34	218,06	74,97	627,68	38,95	770,83	113,23	563,87	57,14	228,90	34,45	29,65	27,93	81,95	320,40	797,61
35	257,40	68,05	494,82	36,91	631,72	48,46	573,11	56,37	234,55	31,96	28,73	26,40	92,01	292,20	809,13
36	93,91	74,22	523,59	37,91	645,31	66,63	570,78	62,07	147,06	34,40	26,51	28,28	80,58	329,72	796,52
37	97,25	60,63	609,26	37,98	516,93	35,49	623,74	56,27	178,56	34,89	32,60	28,59	77,31	385,13	794,25
38	141,78	68,51	448,30	38,08	612,44	45,03	620,38	61,48	173,31	32,04	28,46	25,93	90,30	281,60	808,21
39	186,69	64,92	566,55	38,75	748,39	89,94	508,08	61,30	106,53	31,93	23,50	25,98	88,70	272,62	805,68
40	257,05	83,24	450,45	37,15	776,93	108,51	530,89	66,98	163,70	34,60	23,52	28,86	86,10	345,93	800,05
41	213,19	64,36	664,80	38,32	575,53	34,83	563,30	71,04	136,50	32,29	29,72	24,92	94,25	254,17	812,69
42	269,30	65,47	435,42	38,56	631,54	43,20	587,93	47,78	255,59	33,33	37,24	26,91	96,27	311,34	813,77
43	237,85	82,62	642,50	40,17	607,99	45,51	640,25	64,87	213,86	35,40	36,99	26,59	88,06	305,23	805,88
44	278,51	81,52	476,19	36,69	509,94	35,01	640,38	74,37	187,29	35,35	27,71	31,60	79,39	535,53	792,26
45	271,72	66,92	548,00	39,83	632,36	70,28	631,45	47,63	199,09	33,96	29,83	31,68	76,50	694,43	791,54
46	124,08	77,98	593,20	40,03	758,55	76,97	607,37	67,32	111,03	33,98	29,36	25,73	98,03	279,17	814,92
47	208,73	61,72	559,92	37,95	612,78	46,14	615,35	57,90	114,64	33,22	27,89	25,66	89,69	269,66	807,75
48	256,87	62,00	644,99	39,14	682,73	85,39	614,43	51,84	134,77	32,41	24,56	28,59	79,41	410,18	795,13
49	140,72	65,57	460,33	38,24	632,81	61,27	562,00	63,58	231,36	34,27	30,13	27,99	81,04	322,74	797,19
50	142,07	59,82	534,71	39,49	788,15	107,60	603,23	55,10	87,80	33,24	25,58	25,67	87,14	265,33	804,71
51	252,61	72,65	560,57	40,70	508,58	32,30	538,96	50,83	147,69	33,45	30,75	28,47	78,81	336,96	795,98
52	147,05	71,61	629,15	38,96	734,67	69,68	532,31	74,55	117,16	34,46	28,71	26,00	98,31	284,11	814,86
53	122,16	82,32	443,89	40,62	625,32	55,54	581,45	62,44	169,35	33,34	28,74	27,37	82,94	308,73	800,17
54	192,23	68,28	483,29	36,61	710,76	65,28	581,63	52,76	212,93	35,18	34,87	27,47	94,96	326,67	811,20
55	273,12	64,14	606,99	37,57	762,89	94,72	569,41	74,78	103,77	32,10	20,78	25,39	91,09	257,98	806,96

№	Режимы температуры и осадков природной среды биогеоценоза										Продуктивность биообъекта				
	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Урож., ц/га	Колич. клейк., у.е.	Деф. клейк., у.е.	Числ. паден., у.е.	Натур. зерн., г/л
	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм					
56	279,45	64,95	481,09	36,65	627,81	49,61	547,93	73,79	96,59	33,21	23,34	26,63	91,74	291,89	807,72
57	169,75	61,19	466,93	40,16	607,66	50,79	556,00	63,32	217,57	31,82	28,30	26,08	83,29	274,30	801,27
58	67,69	69,55	557,07	39,18	715,68	100,94	578,52	72,40	161,19	32,99	24,65	29,66	78,14	514,23	793,35
59	63,80	78,57	569,11	37,46	747,35	99,36	617,91	67,85	205,54	35,41	31,14	27,39	82,86	312,44	798,89
60	158,24	72,28	431,19	38,84	750,24	88,07	610,03	68,30	178,23	34,72	28,43	27,07	88,94	312,59	805,18
61	76,32	53,60	461,86	40,26	726,10	92,66	533,44	60,98	164,80	35,20	32,33	27,26	80,26	306,37	797,92
62	215,42	52,28	610,38	37,09	773,85	95,59	579,85	66,66	229,94	34,33	29,79	25,52	90,37	272,16	807,25
63	276,98	72,38	571,30	39,47	673,03	64,04	619,37	66,98	237,32	34,26	31,88	26,33	87,95	291,87	804,98
64	270,43	54,74	619,36	38,89	765,20	116,32	517,48	54,08	117,42	34,68	24,99	28,42	80,50	342,42	796,19
65	180,17	62,47	572,45	39,70	516,46	38,23	500,12	64,72	150,91	34,92	28,67	33,05	75,58	911,28	790,51
66	85,37	64,23	671,43	39,81	753,68	119,43	536,63	60,55	126,40	33,58	25,80	30,05	77,42	562,05	793,21
67	260,52	60,87	510,38	38,62	766,38	84,86	608,38	74,38	98,45	34,98	25,49	26,03	95,73	284,39	811,76
68	119,24	76,89	518,27	39,79	755,88	124,47	634,75	71,40	94,31	34,94	22,47	32,90	77,84	909,90	791,30
69	73,76	68,20	528,12	37,21	607,94	54,43	525,45	54,66	184,32	33,39	28,69	27,89	80,24	317,36	797,16
70	152,08	70,81	431,74	40,39	755,00	109,39	567,96	68,78	238,51	33,55	27,71	28,29	80,53	335,05	795,96
71	102,68	56,57	632,41	38,59	614,05	53,61	503,80	49,25	102,90	32,54	28,39	26,24	82,20	274,47	800,82
(1)	63,80	52,28	431,19	36,61	508,58	32,03	500,12	47,63	84,89	31,82	20,78	24,68	75,58	254,17	790,51
(2)	175,38	69,28	554,46	38,82	674,26	72,71	570,52	62,48	163,25	33,78	28,25	27,66	85,18	359,40	801,62
(3)	279,61	84,50	672,65	40,71	792,95	124,47	641,96	75,79	258,66	35,53	37,24	33,05	98,61	911,28	815,15
(4)	71,21	8,67	71,75	1,19	80,20	25,98	45,21	8,36	50,00	1,05	3,49	1,94	6,56	140,95	7,19
(5)	0,04	-0,12	-0,14	-0,21	-0,47	0,23	-0,06	-0,13	0,21	-0,23	0,40	1,04	0,47	2,58	0,31
(6)	-1,49	-0,90	-1,10	-1,14	-0,76	-1,06	-1,31	-1,17	-1,23	-0,98	0,08	0,69	-0,94	6,68	-1,08
(7)	0,41	0,13	0,13	0,03	0,12	0,36	0,08	0,13	0,31	0,03	0,12	0,07	0,08	0,39	0,01

1) Минимальное знач.; 2) Среднее знач.; 3) Максимальное знач.; 4) Стандартное откл.; 5) Асимметрия; 6) Экссесс; 7) Вариация.

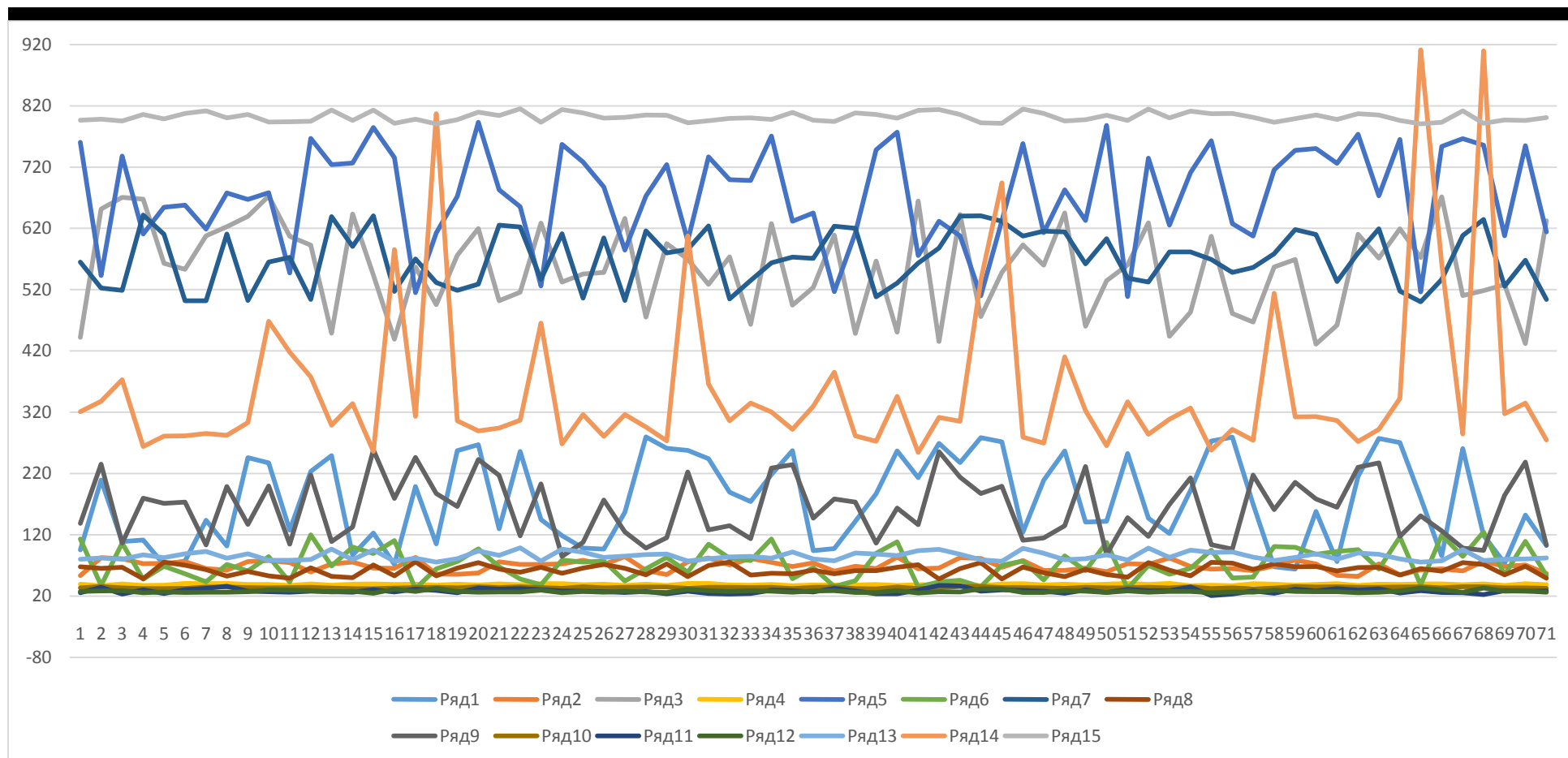


Рисунок 1 — Изменение режимных и результатных показателей яровой пшеницы в условиях лесостепи
Режимные показатели: ряды 1, 2 — температура, осадки за май; ряды 3, 4 — температура, осадки за июнь; ряды 5, 6 — температура, осадки за июль; ряды 7, 8 — температура, осадки за август; ряды 9, 10 — температура, осадки за сентябрь
Результатные показатели продуктивности: ряд 11 — урожайность; ряд 12 — количество клейковины зерна; ряд 13 — индекс деформации клейковины; ряд 14 — число падения α -амилазы зерна; ряд 15 — натура зерна

Таблица 2 – Парные линейные корреляции 10-и режимных и 5-и результатных показателей продуктивности яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны (Корреляционная матрица 15-и показателей)

№	Режимы температуры и осадков природной среды биогеоценоза										Продуктивность биообъекта				
	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Урож., ц/га	Колич. клейк., у.е.	Деф. клейк., у.е.	Числ. паден., у.е.	Натур. зерн., г/л
	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм	Темп., °С	Осад., мм					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	1,00	-0,06	0,01	-0,16	-0,06	-0,14	0,09	0,01	0,07	0,12	-0,02	-0,03	0,26	-0,06	0,20
2	-0,06	1,00	0,04	0,02	-0,19	-0,18	0,13	0,12	0,05	0,08	0,01	0,16	-0,01	0,02	-0,05
3	0,01	0,04	1,00	0,06	-0,09	-0,03	-0,19	-0,01	-0,10	-0,02	0,03	-0,07	-0,10	-0,03	-0,07
4	-0,16	0,02	0,06	1,00	0,11	0,19	0,02	-0,02	0,03	-0,10	0,14	0,07	-0,21	0,13	-0,15
5	-0,06	-0,19	-0,09	0,11	1,00	0,89	0,03	0,19	-0,17	0,03	-0,34	-0,25	0,28	-0,19	0,24
6	-0,14	-0,18	-0,03	0,19	0,89	1,00	-0,05	0,14	-0,13	0,05	-0,47	0,11	-0,15	0,10	-0,20
7	0,09	0,13	-0,19	0,02	0,03	-0,05	1,00	-0,06	0,12	-0,04	0,16	-0,15	0,18	-0,05	0,17
8	0,01	0,12	-0,01	-0,02	0,19	0,14	-0,06	1,00	0,02	0,18	-0,25	-0,18	0,19	-0,13	0,14
9	0,07	0,05	-0,10	0,03	-0,17	-0,13	0,12	0,02	1,00	0,06	0,59	0,07	-0,16	0,02	-0,14
10	0,12	0,08	-0,02	-0,10	0,03	0,05	-0,04	0,18	0,06	1,00	0,33	0,27	-0,04	0,18	-0,09
11	-0,02	0,01	0,03	0,14	-0,34	-0,47	0,16	-0,25	0,59	0,33	1,00	-0,18	0,21	-0,14	0,27
12	-0,03	0,16	-0,07	0,07	-0,25	0,11	-0,15	-0,18	0,07	0,27	-0,18	1,00	-0,75	0,91	-0,81
13	0,26	-0,01	-0,10	-0,21	0,28	-0,15	0,18	0,19	-0,16	-0,04	0,21	-0,75	1,00	-0,59	0,99
14	-0,06	0,02	-0,03	0,13	-0,19	0,10	-0,05	-0,13	0,02	0,18	-0,14	0,91	-0,59	1,00	-0,64
15	0,20	-0,05	-0,07	-0,15	0,24	-0,20	0,17	0,14	-0,14	-0,09	0,27	-0,81	0,99	-0,64	1,00

Таким образом, полученные расширенные распределения показателей продуктивности яровой пшеницы плохо аппроксимируются теоретическим нормальным гауссовским распределением, поскольку оценки их асимметрий и эксцессов оказались не близкими к нулю.

Кроме того, результатные показатели продуктивности, такие как урожайность и количество клейковины линейно не выражаются через 10 режимных показателей температуры и осадков, поскольку недостаточный уровень детерминации — ниже 95% (рис. 2, 3).

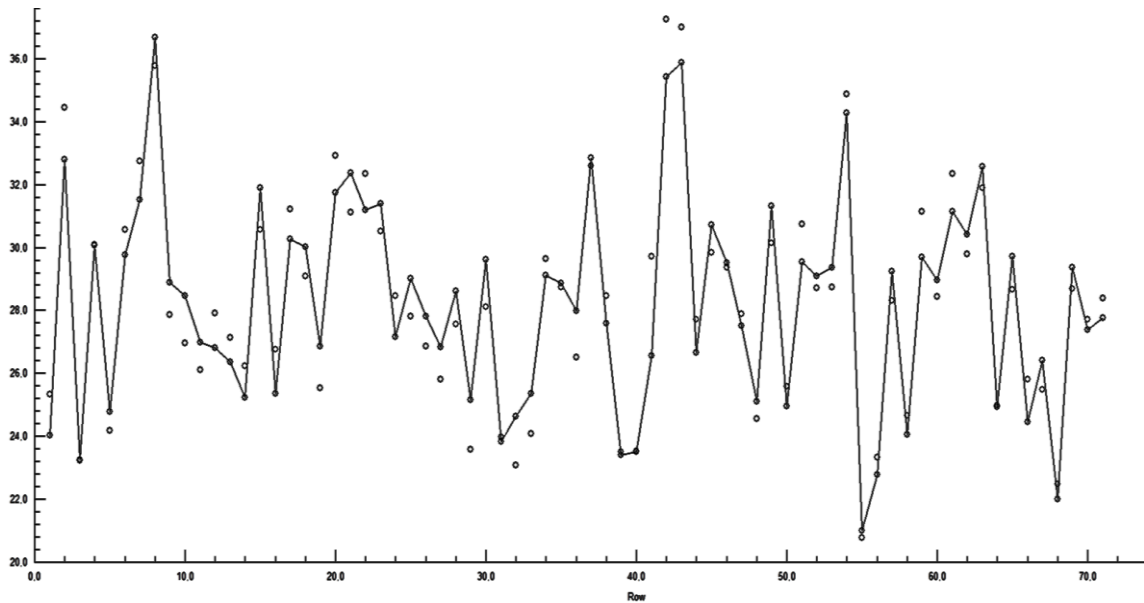


Рисунок 2 – Изменение урожайности яровой пшеницы при имитации режимов температуры и осадков в лесостепи на уровне детерминации 90,92%

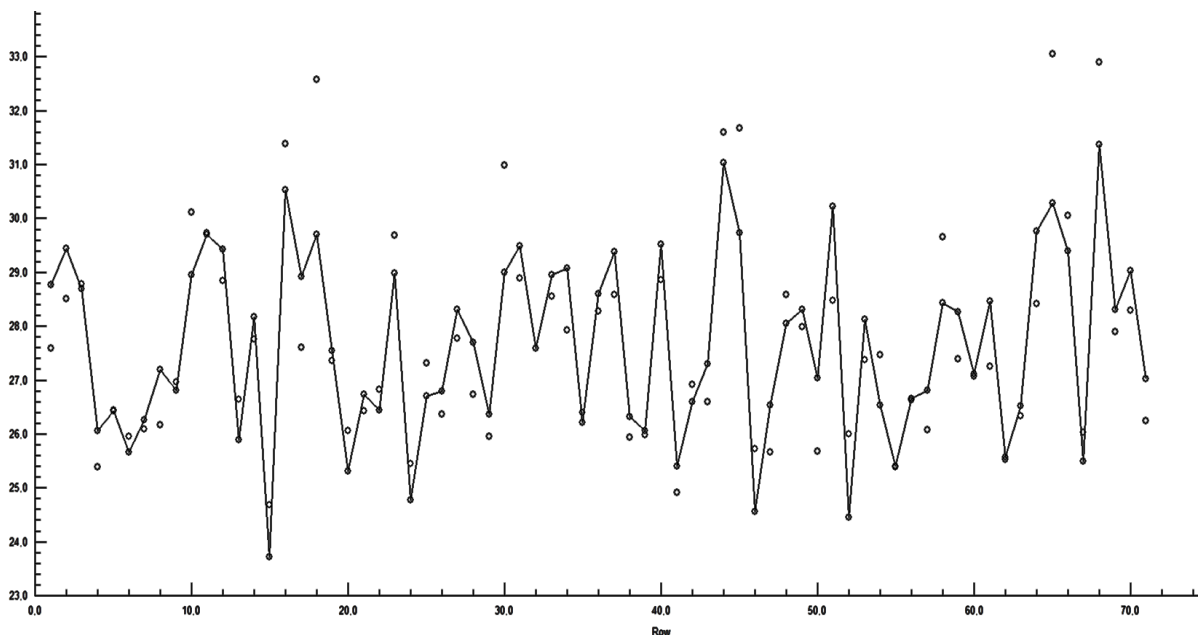


Рисунок 3 – Изменение количества клейковины зерна яровой пшеницы при имитации режимов температуры и осадков в лесостепи на уровне детерминации 76,06%

Линейное представление показателей продуктивности таких как, индекс деформации клейковины и число падения α -амилазы через 10 показателей температуры и

осадков также неэффективно, так как их коэффициенты детерминации ниже 95% (рис. 4, 5).

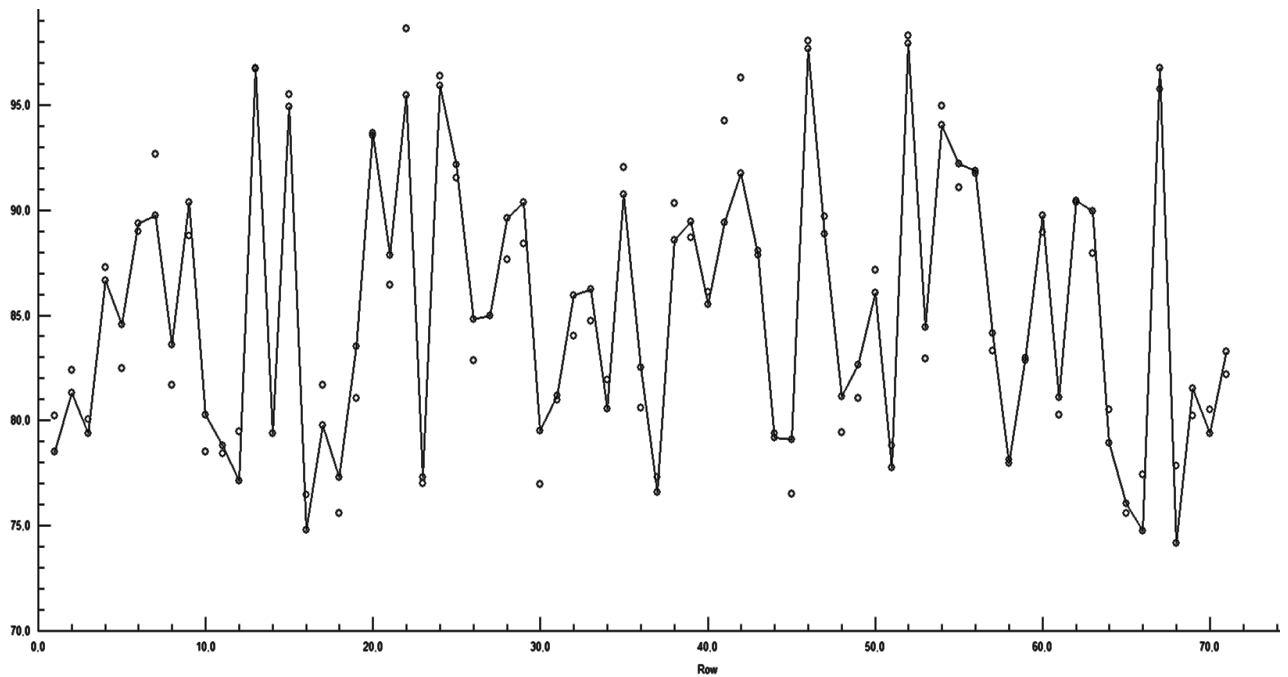


Рисунок 4 – Изменение индекса деформации клейковины зерна яровой пшеницы при имитации режимов температуры и осадков в лесостепи на уровне детерминации 93,49%

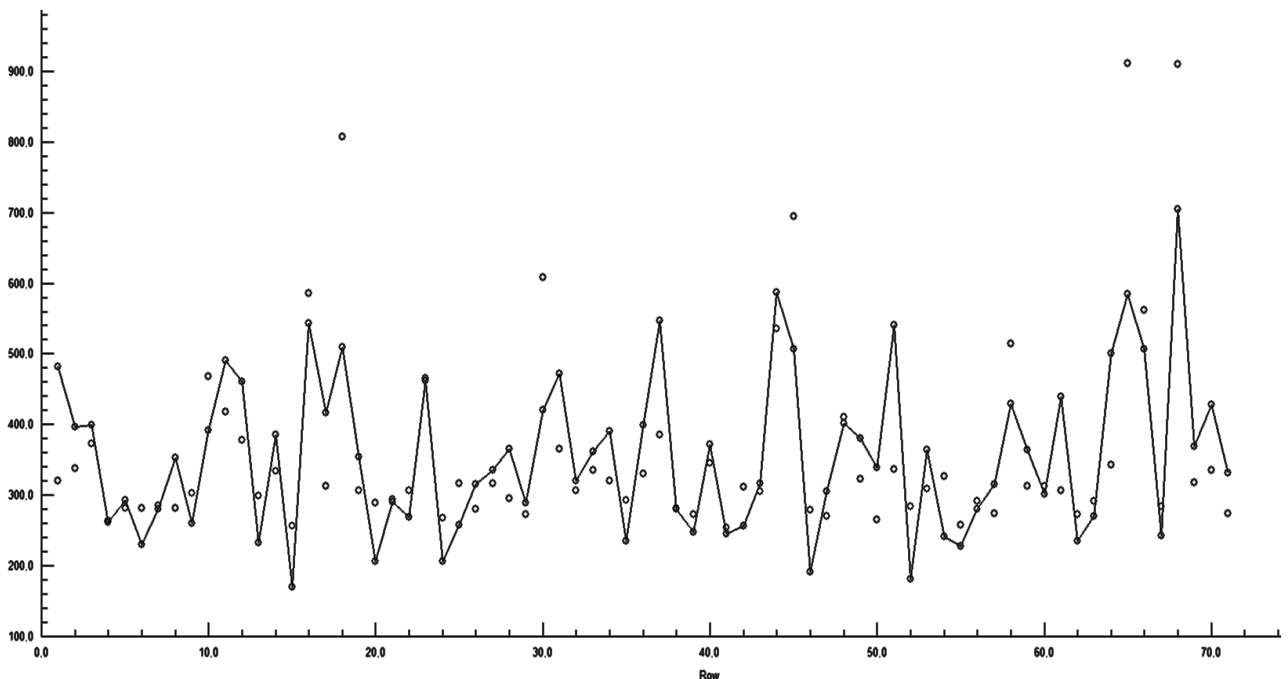


Рисунок 5 – Изменение числа падения α -амилазы зерна яровой пшеницы при имитации режимов температуры и осадков в лесостепи на уровне детерминации 54,55%

Натура зерна также линейно не выражается через 10 показателей температуры и осадков, поскольку имеет низкий уровень детерминации — ниже 95% (рис. 6).

Регрессионный анализ группы показателей продуктивности показал, что урожайность линейно не выражается через другие показатели, поскольку вычисленный коэффициент детерминации ниже 95% (рис. 7).

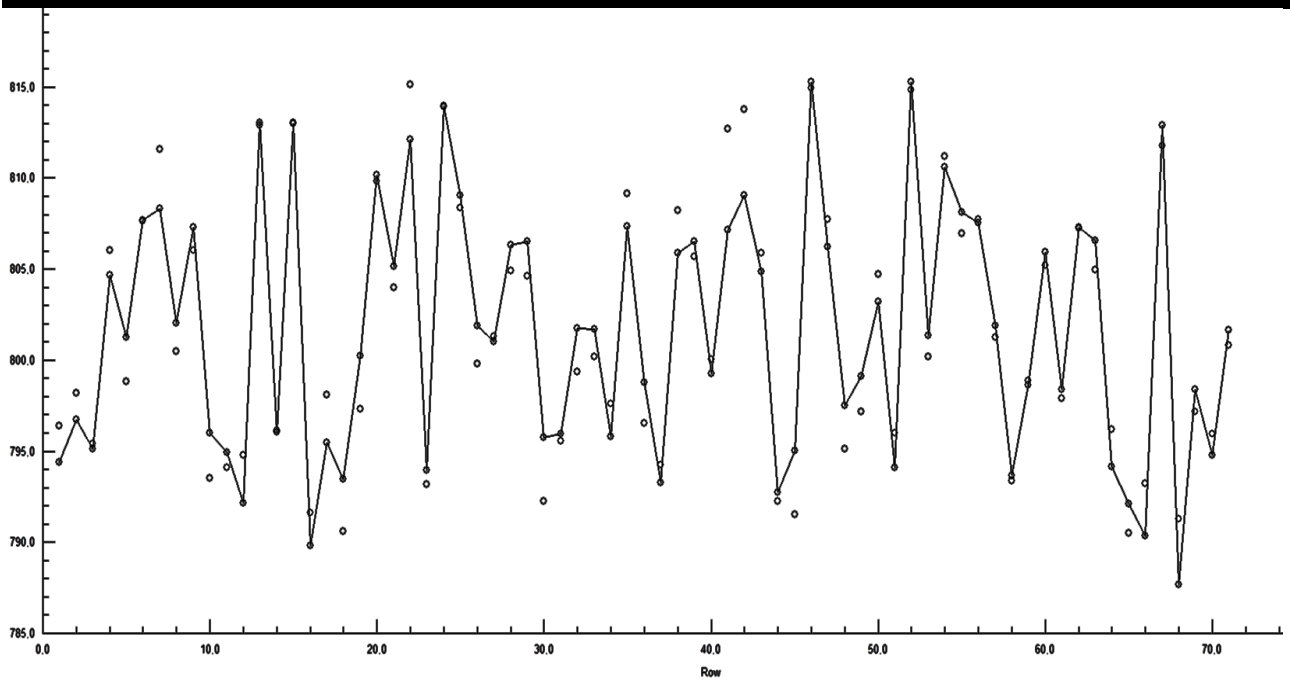


Рисунок 6 – Изменение природы зерна яровой пшеницы при имитации режимов температуры и осадков в лесостепи на уровне детерминации 92,96%

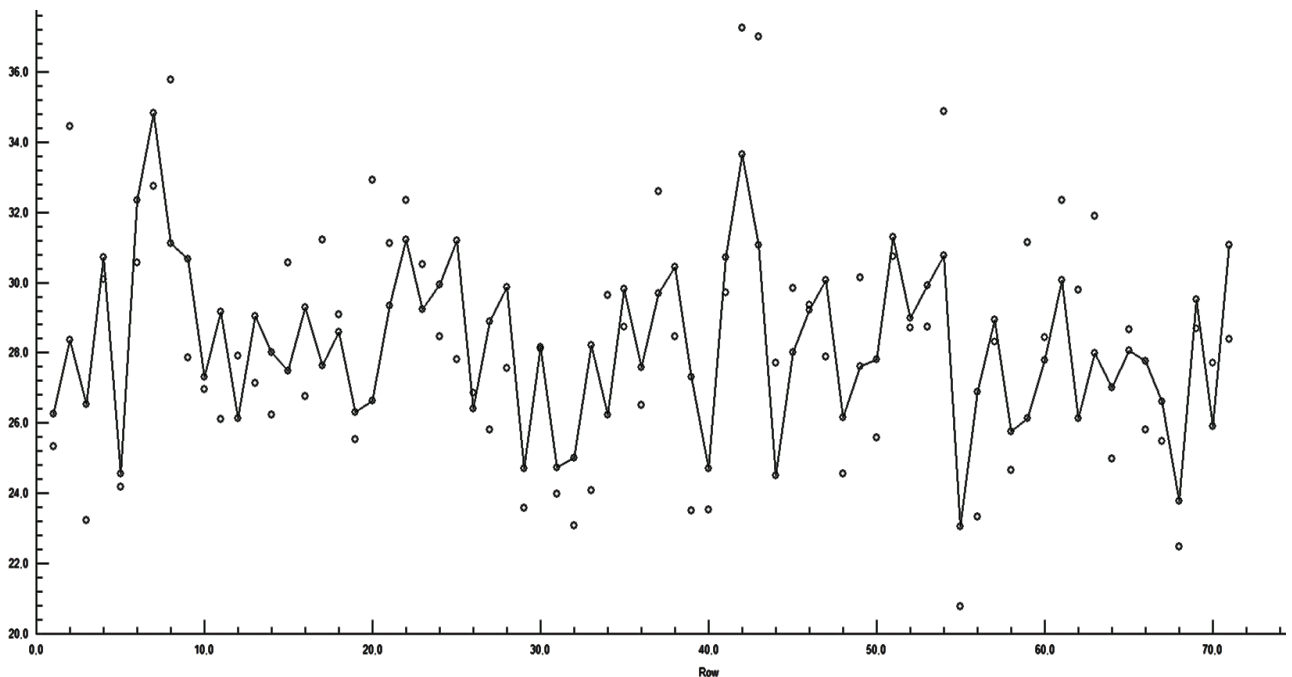


Рисунок 7 – Изменение урожайности яровой пшеницы по вариантам количества клейковины зерна, индекса деформации клейковины, числа падения α -амилазы зерна, природы зерна в условиях лесостепи на уровне детерминации 44,42%

Прогнозируются средние значения для группы режимных показателей (температуры и осадков) данного биогеоценоза лесостепи в 5-и интервалах дискретизации периода вегетации яровой пшеницы. Средние суммы активных температур: 175,38 °C (май), 554,46 °C (июнь), 674,26 °C (июль), 570,52 °C (август), 163,25 °C (сентябрь).

Средние суммы осадков: 69,28 мм (май), 38,82 мм (июнь), 72,71 мм (июль), 62,48 мм (август), 33,78 мм (сентябрь).

Выводы

1. Обоснована принципиальная возможность компьютерной имитации режимов температуры и осадков, лимитирующей продукционный процесс яровой пшеницы в период вегетации растений её сорта Новосибирская 31 в полевых условиях лесостепной зоны и, соответственно, выполнена генерация расширенных статистических распределений группы показателей её продуктивности: урожайности, количества клейковины зерна, индекса деформации клейковины, числа падения α -амилазы зерна, натуры зерна.

2. Рассчитана величина предельного расхождения оценок исходных и сгенерированных расширенных статистических распределений по интервалам дискретизации периода вегетации яровой пшеницы: для режимных показателей — 5%; для результатных показателей продуктивности — 6%.

3. Вычислены средние значения, характерные для группы показателей продуктивности в условиях данного биогеоценоза лесостепи: урожайность 28,25 ц/га при стандартном отклонении 3,49 ц/га; количество клейковины зерна 27,66 у.е. при стандартном отклонении 1,94 у.е.; индекс деформации клейковины зерна 85,18 у.е. при стандартном отклонении 6,56 у.е.; число падения α -амилазы зерна 359,40 у.е. при стандартном отклонении 140,95 у.е.; натура зерна 801,62 г/л при стандартном отклонении 7,19 г/л.

Список литературы:

1. Аладьев В.З. Эффективная работа в Maple 6/7 / В.З. Аладьев. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002 – 336 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
4. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2012. – 816 с.
5. Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология / А.П. Лосев, Л.Л. Журина. – М.: Колос, 2001. – 297 с.
6. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
7. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов / А.Н. Полевой. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 208 с.
8. Сибирина Т.Ф. и др. Адаптивный прогноз урожайности яровой пшеницы в лесостепной зоне при дифференциации по режимам температуры и осадков / Т.Ф. Сибирина, Е.В. Мельникова, Н.М. Мордвинова, Н.А. Полубояринов, А.А. Беляков // Эпоха науки. – Ачинск: АФ Красноярского ГАУ, 2019. – № 19. — С. 77–89.
9. Сибирина Т.Ф. и др. О физико-механической характеристике пахотного слоя под зернопаровым севооборотом / Т.Ф. Сибирина, В.Н. Романов, В.К. Ивченко, Е.В. Мельникова, А.А. Беляков // Эпоха науки. – Ачинск: АФ Красноярского ГАУ, 2019. – № 19. – С. 87–95.
10. Сибирина Т.Ф. и др. Программирование и имитация урожайности зерновых культур при балансе запаса продуктивной влаги и водопотребления растений в полевых условиях / Т.Ф. Сибирина, В.В. Матюшев, Е.В. Мельникова, И.А. Фёдорова, А.А. Беляков // Эпоха науки. – Ачинск: АФ Красноярского ГАУ, 2019. – № 18. – С. 87–100.