

**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
В УСЛОВИЯХ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН, МЕТОДОМ
ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТОВ****Ибяттов Р.И., Шайхутдинов Ф.Ш., Валиев А.А.**

Реферат. В данной работе применяется метод главных компонент для обработки и анализа основных параметров формирования урожайности яровой пшеницы. Продуктивность посевов яровой пшеницы является результатом сложного взаимодействия самых разных факторов. Владение информацией о межфакторных взаимосвязях, позволит целенаправленно управлять процессом, оказывая влияние на тот или иной фактор. Поэтому задача о получении информации о структуре взаимосвязи влияющих факторов на урожайность яровой пшеницы является актуальной. Исследовались данные наблюдения урожайности яровой пшеницы и десяти независимых факторов, оказывающих влияние на нее в течение 32 лет: продуктивная влага в день посева, влажность воздуха, осадки, массовая доля клейковины, масса 1000 зерен, масса зерна с одного колоса, длина соломы, доза внесения фосфора, доза внесения калия, доза внесения азота. Построены главные компоненты в виде линейных комбинации влияющих факторов. Доля дисперсии первой главной компоненты (ГК1) составила 39,77%, второй компоненты (ГК2) – 20,86%, ГК3 – 12,93%, ГК4 – 8,79%, ГК5 – 6,26%, ГК6 – 5,56%, ГК7 – 3,05%, ГК8 – 1,78%, ГК9 – 0,89%, ГК10 – 0,1%. Первые три главные компоненты суммарно объясняют 73,56% дисперсии, следовательно, десятимерный массив данных может быть анализирован в трехмерном пространстве. Определены координаты образцов исходной информации об урожайности яровой пшеницы в пространстве главных компонент. Проведено визуальное исследование структуры, лежащей в основе данных.

Ключевые слова: яровая пшеница, взаимовлияние факторов, метод главных компонент, визуализация данных.

Введение. Как правило, на практике при исследовании того или иного явления часто приходится сталкиваться с многомерными данными, которые имеют сложные, не всегда явные взаимосвязи. Классические математические модели не всегда дают должного результата. Подобные задачи могут быть рассмотрены методом главных компонент [1-4], который позволяет представить данные в пространстве главных компонент для исследования скрытых закономерностей.

Для получения урожая яровой пшеницы хорошего качества следует рассматривать различные факторы, такие как тип почвы, освещенность, генетическая структура растений, температура и т.д. [5-9]. Владение информацией о взаимосвязях между факторами позволит целенаправленно управлять процессом, оказывая влияние на тот или иной фактор. Поэтому задача получения информации о структуре взаимосвязи влияющих факторов на урожайность яровой пшеницы является актуальной.

Цель исследований заключалась в определении взаимосвязей между основными факторами, влияющими на формирование урожайности яровой пшеницы.

В задачи исследований входило построение векторного пространства с меньшей размерностью для наглядного отображения исследуемых данных и выявления закономерностей взаимовлияния между факторами.

Условия, материалы и методы исследования. Исследования проводились с данными наблюдений за урожайностью яровой пшени-

цы и влияющими факторами в течение 32 лет (таб. 1). Независимыми факторами являются продуктивная влага в день посева, влажность воздуха, осадки, массовая доля клейковины, масса 1000 зерен, масса зерна с одного колоса, длина соломы, а также дозы внесения фосфора, калия и азота. Дозы внесения фосфора, калия и азота были вычислены по известной методике [10] через количество питательных веществ в почве и в удобрении с учетом выноса элементов питания с урожаем.

При визуализации данных в пространстве главных компонент образцы наблюдений должны быть идентифицированы. Обычно образцам данных задают составные имена по нескольким признакам. В таблице 1 исследуемым образцам заданы имена, составленные по двум признакам – «масса зерна» и «доза удобрения». Образцы обозначены латинскими буквами и арабскими цифрами. Буквой в порядке возрастания их значения обозначены образцы по массе зерна, а цифрой – доза удобрения по возрастанию их значения. Например, по признаку «масса зерна» образец А10 имеет минимальное значение, так как имеет начальную латинскую букву, а по признаку «доза удобрения» он имеет большой номер и соответственно большое значение. После присвоения образцам соответствующих имен, данная выборка была ранжирована по урожайности яровой пшеницы в порядке возрастания.

Исследуемые данные предварительно были стандартизированы, так как исходные факторы имеют различные единицы измерения.

Таблица 1 – Факторы влияющие на урожайность яровой пшеницы в условиях серых лесных почв Республики Татарстан

Имена образцов	Урожайность, т / га	Продуктивная влага в день посева, мм	Влажность воздуха, %	Осадки, мм	Массовая доля клейковины, %	Масса 1000 зерен, г	Масса зерна с одного колоса, г	Длина соломы, см	Доза внесения фосфора, кг / га	Доза внесения калия, кг / га	Доза внесения азота, кг / га
D1	1,87	140	49	38	31,4	32	0,64	76	-70,2	-13,7	-34,7
D2	2,23	169	53	159	26,9	34,7	0,63	79	-48,3	1,56	-41
A3	2,29	130	47	82	31,2	30,5	0,48	80	19,7	17,26	-7,63
E4	2,38	145	63	174	31,2	34,3	0,66	83	8,54	27,67	9,17
B5	2,61	175	59	256	36,3	33,5	0,58	86	8,86	34,17	21,22
G4	2,73	170	58	248	31,3	34,7	0,72	88	0,42	27,86	-10,9
E4	2,8	165	59	169	30,6	32,3	0,65	84	9,45	31,7	6,47
B6	3,03	173	54	155	30,6	31,7	0,55	81	52	42,6	26,49
G6	3,12	165	51	71	29,5	34,5	0,72	80	35	40,23	51,48
H8	3,14	160	64	224	28,6	38,7	0,8	82	65,6	57,46	1,8
E8	3,18	165	67	279	36,4	35,2	0,66	80	36,4	61,84	35,58
D7	3,2	182	68	134	27,8	36,1	0,64	81	70,9	51,87	28,82
H5	3,23	171	52	197	26,4	39,7	0,8	87	-2,39	31,72	44,96
F9	3,28	170	60	241	34,4	36	0,68	82	78,8	73,33	62,5
E9	3,36	177	60	123	33,9	33,6	0,66	82	78,5	70,34	40,19
A6	3,43	145	59	202	30,8	31	0,41	78	43,5	9,25	43,69
A10	3,62	165	52	142	33,8	28,5	0,43	78	90,4	78,03	51,43
B7	3,64	159	61	102	30,7	33,4	0,57	76	30	51,29	68,09
D7	3,72	169	53	221	28,8	35,1	0,63	87	55	54,93	82,08
D10	3,82	168	64	279	32	36,5	0,64	81	87,5	79,04	67,08
F9	3,85	186	61	124	29	33,2	0,69	82	87,2	72,89	50,6
E9	4,06	160	61	223	29,8	32,8	0,66	86	54,9	67,51	36,06
G11	4,1	171	63	214	35	34,5	0,75	84	112	102,4	84,45
C9	4,13	181	61	290	33,5	32,4	0,61	88	74,4	69,96	96,1
C10	4,26	166	56	222	34	36,7	0,61	86	108	79,14	110,2
F9	4,39	164	64	107	33,3	34,7	0,7	81	72,2	69,38	86,76
F11	4,4	172	68	259	28,4	34	0,68	84	127	101,8	103,4
G11	4,46	166	66	111	32,4	39,5	0,72	79	155	104,6	103,5
C13	5,27	171	62	291	32,1	34	0,61	80	194	133,9	141,1
D12	5,33	165	66	167	31,6	34,7	0,63	82	148	117,4	149,6
B12	5,4	177	62	147	32,4	33,6	0,58	83	168	119,5	156,3

Стандартизация данных состояла из этапов центрирования и нормирования исходных данных. Для центрирования данных из каждого образца j -го фактора был вычитан его среднее значение \bar{x}_j , а нормирование проводилось путем деления центрированных значений факторов на их среднеквадратическое отклонение

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sqrt{D_j}}$$

где

$$D_j = \frac{1}{31} \sum_{i=1}^{32} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{32} \sum_{i=1}^{32} x_{ij},$$

Стандартизированная выборка данных приведена в табл. 2.

Направления новых координатных осей, называемых главными компонентами, будем

искать в виде линейных комбинаций стандартизированных переменных:

$$F = ZV,$$

где $V = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{10})$, – вектор неизвестных коэффициентов,

Z – матрица стандартизированных данных.

Новые координатные оси должны отвечать за наибольшую изменчивость набора данных. Следовательно, неизвестным коэффициентам β_j требуется подобрать такие значения, которые обеспечат максимум дисперсии $var(F)$. Поскольку дисперсионной оценкой многомерного массива Z является ее ковариационная матрица S , после выноса постоянных коэффициентов за знак дисперсии получим:

$$Var(F) = V^T S V.$$

Для получения конечного решения задачи поиска максимума потребуем, чтобы вектор, определяющий веса линейной комбинации, имел единичную длину:

$$V^T V = 1.$$

Следовательно, ставится следующая оптимизационная задача:

Таблица 2 – Стандартизированная исходная информация

Имена образцов	Урожайность, т / га	Продуктивная влага в день посева, мм	Влажность воздуха, %	Осадки, мм	Массовая доля клейковины, %	Масса 1000 зерен, г	Масса зерна с одного колоса, г	Длина соломы, см	Доза внесения фосфора, кг / га	Доза внесения калия, кг / га	Доза внесения азота, кг / га
D1	-1,88	-2,14	-1,83	-2,09	-0,01	-0,93	0,02	-1,86	-2,23	-2,08	-1,76
D2	-1,48	0,26	-1,13	-0,34	-1,77	0,18	-0,09	-0,95	-1,86	-1,65	-1,89
A3	-1,41	-2,96	-2,19	-1,45	-0,09	-1,54	-1,77	-0,65	-0,72	-1,21	-1,22
E4	-1,31	-1,72	0,62	-0,12	-0,09	0,02	0,24	0,26	-0,91	-0,91	-0,89
B5	-1,06	0,75	-0,08	1,07	1,91	-0,31	-0,65	1,18	-0,90	-0,73	-0,65
G4	-0,92	0,34	-0,25	0,95	-0,05	0,18	0,91	1,78	-1,05	-0,91	-1,29
E4	-0,85	-0,07	-0,08	-0,19	-0,32	-0,80	0,13	0,57	-0,89	-0,80	-0,94
B6	-0,59	0,59	-0,96	-0,39	-0,32	-1,05	-0,99	-0,34	-0,18	-0,49	-0,54
G6	-0,49	-0,07	-1,48	-1,61	-0,75	0,10	0,91	-0,65	-0,47	-0,56	-0,04
H8	-0,47	-0,48	0,80	0,60	-1,10	1,82	1,81	-0,04	0,04	-0,08	-1,03
E8	-0,42	-0,07	1,32	1,40	1,94	0,38	0,24	-0,65	-0,44	0,05	-0,36
D7	-0,40	1,33	1,50	-0,70	-1,42	0,75	0,02	-0,34	0,13	-0,23	-0,50
H5	-0,37	0,42	-1,31	0,21	-1,96	2,23	1,81	1,48	-1,09	-0,80	-0,17
F9	-0,31	0,34	0,10	0,85	1,16	0,71	0,47	-0,04	0,27	0,37	0,18
E9	-0,22	0,92	0,10	-0,86	0,97	-0,27	0,24	-0,04	0,26	0,28	-0,27
A6	-0,14	-1,72	-0,08	0,28	-0,24	-1,33	-2,56	-1,25	-0,32	-1,43	-0,20
A10	0,07	-0,07	-1,31	-0,58	0,93	-2,36	-2,33	-1,25	0,46	0,50	-0,05
B7	0,09	-0,57	0,27	-1,16	-0,28	-0,35	-0,77	-1,86	-0,55	-0,25	0,29
D7	0,18	0,26	-1,13	0,56	-1,02	0,34	-0,09	1,48	-0,13	-0,15	0,56
D10	0,29	0,18	0,80	1,40	0,23	0,92	0,02	-0,34	0,41	0,53	0,27
F9	0,32	1,66	0,27	-0,84	-0,95	-0,43	0,58	-0,04	0,41	0,36	-0,06
E9	0,56	-0,48	0,27	0,59	-0,63	-0,60	0,24	1,18	-0,13	0,20	-0,35
G11	0,60	0,42	0,62	0,46	1,40	0,10	1,25	0,57	0,82	1,18	0,61
C9	0,64	1,25	0,27	1,56	0,81	-0,76	-0,32	1,78	0,19	0,27	0,84
C10	0,78	0,01	-0,61	0,57	1,01	1,00	-0,32	1,18	0,75	0,53	1,12
F9	0,93	-0,15	0,80	-1,09	0,73	0,18	0,69	-0,34	0,16	0,26	0,66
F11	0,94	0,51	1,50	1,11	-1,18	-0,11	0,47	0,57	1,07	1,17	0,99
G11	1,00	0,01	1,15	-1,03	0,38	2,14	0,91	-0,95	1,54	1,25	0,99
C13	1,91	0,42	0,45	1,57	0,26	-0,11	-0,32	-0,65	2,19	2,07	1,74
D12	1,97	-0,07	1,15	-0,22	0,07	0,18	-0,09	-0,04	1,42	1,61	1,91
B12	2,05	0,92	0,45	-0,51	0,38	-0,27	-0,65	0,26	1,76	1,66	2,04

найти $\max V^T SV$
при условии $V^T V = I$

Данная оптимизационная задача была решена методом неопределенных множителей Лагранжа. Численные расчеты проводились на табличном процессоре Excel с использованием языка программирования VBA.

Анализ и обсуждение результатов исследования. В результате проведения численных расчетов были построены десять новых координатных осей, называемых главными компонентами. Они представляют собой линейные комбинации исходных факторов, влияющих на урожайность яровой пшеницы:

$$\begin{aligned}
 GK1 &= 0,65X1 + 0,72X2 + 0,54X3 + 0,27X4 + 0,44X5 + \\
 &+ 0,34X6 + 0,39X7 + 0,85X8 + 0,91X9 + 0,82X10 \\
 GK2 &= 0,24X1 + 0,04X2 + 0,19X3 - 0,49X4 + 0,69X5 + \\
 &+ 0,8X6 + 0,5X7 - 0,4X8 - 0,3X9 - 0,38X10 \\
 GK3 &= -0,13X1 + 0,15X2 - 0,65X3 - 0,41X4 + 0,34X5 + \\
 &+ 0,26X6 - 0,62X7 + 0,21X8 + 0,16X9 + 0,14X10 \\
 GK4 &= -0,37X1 + 0,39X2 + 0,15X3 + 0,55X4 + 0,24X5 + \\
 &+ 0,17X6 - 0,27X7 - 0,13X8 - 0,07X9 - 0,2X10 \\
 GK5 &= 0,02X1 + 0,43X2 + 0,32X3 - 0,41X4 - 0,12X5 - \\
 &- 0,24X6 - 0,18X7 - 0,01X8 - 0,07X9 - 0,14X10 \\
 GK6 &= 0,58X1 - 0,17X2 + 0,22X3 - 0,2X4 + 0,18X5 - \\
 &- 0,07X6 + 0,15X7 + 0,12X8 + 0,04X9 + 0,21X10
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 GK7 &= 0,18X1 - 0,25X2 + 0,21X3 + 0,04X4 + 0,27X5 - \\
 &- 0,15X6 - 0,27X7 - 0,01X8 - 0,04X9 + 0,02X10 \\
 GK8 &= -0,03X1 - 0,13X2 + 0,15X3 - 0,03X4 - 0,18X5 + \\
 &+ 0,22X6 - 0,13X7 + 0,07X8 + 0,17X9 - 0,14X10 \\
 GK9 &= -0,01X1 - 0,01X2 - 0,05X3 + 0,01X4 + 0,08X5 - \\
 &- 0,09X6 + 0,07X7 + 0,17X8 + 0,05X9 - 0,22X10 \\
 GK10 &= 0,01X1 - 0,003X2 + 0,01X3 + 0,01X4 - 0,02X5 + \\
 &+ 0,03X6 - 0,01X7 + 0,08X8 - 0,1X9 + 0,02X10.
 \end{aligned}$$

Полученные значения коэффициентов в этих линейных комбинациях представлены в таблице 3.

Набор коэффициентов в этих линейных комбинациях обычно представляют в табличной форме (табл. 3) и называют матрицей нагрузок.

Доля дисперсии первой главной компоненты (ГК1) составила 39,77%, второй компоненты (ГК2) – 20,86%, ГК3 – 12,93%, ГК4 – 8,79%, ГК5 – 6,26%, ГК6 – 5,56%, ГК7 – 3,05%, ГК8 – 1,78%, ГК9 – 0,89%, ГК10 – 0,1%. Первые три главные компоненты суммарно составляют 73,56% дисперсии. Следовательно, для первичного анализа данных можно ограничиться первыми тремя главными компонентами. Это означает, что десятимер-

Таблица 3 – Нагрузки главных компонент

№	Влияющие факторы	ГК1	ГК2	ГК3	ГК4	ГК5	ГК6	ГК7	ГК8	ГК9	ГК10
1	Продуктивная влага в день посева, мм	0,65	0,24	-0,13	-0,37	0,02	-0,58	0,18	-0,03	-0,01	0,01
2	Влажность воздуха, %	0,72	0,04	0,15	0,39	0,43	-0,17	-0,25	-0,13	-0,01	-0,003
3	Осадки, мм	0,54	0,19	-0,65	0,15	0,32	0,22	0,21	0,15	-0,05	0,01
4	Массовая доля клейковины, %	0,27	-0,49	-0,41	0,55	-0,41	-0,20	0,04	-0,03	0,01	0,01
5	Масса 1000 зерен, г	0,44	0,69	0,34	0,24	-0,12	0,18	0,27	-0,18	0,08	-0,02
6	Масса зерна с одного колоса, г	0,34	0,80	0,26	0,17	-0,24	-0,07	-0,15	0,22	-0,09	0,03
7	Длина соломы, см	0,39	0,50	-0,62	-0,27	-0,18	0,15	-0,27	-0,13	0,07	-0,01
8	Доза внесения фосфора, кг /га	0,85	-0,40	0,21	-0,13	-0,01	0,12	-0,01	0,07	0,17	0,08
9	Доза внесения калия, кг /га	0,91	-0,30	0,16	-0,07	-0,07	0,04	-0,04	0,17	0,05	-0,10
10	Доза внесения азота, кг /га	0,82	-0,38	0,14	-0,20	-0,14	0,21	0,02	-0,14	-0,22	0,02

ный массив данных может быть анализирован в трехмерном пространстве.

По данным матрицы нагрузок были построены графики по первой и второй, первой и третьей, второй и третьей компонентам. На рисунке 1 представлен график нагрузок по первой и второй компонентам. С помощью этих рисунков можно визуальнo наблюдать за взаимоотношениями между факторами и за вкладом фактора на каждую главную компоненту.

На графике нагрузок влияющие факторы обозначены своими порядковыми номерами (таблица 3), а эллипсами выделены сформировавшиеся группы.

- первая группа – масса 1000 зерен, масса зерна с одного колоса, длина соломы (5,6,7);

- вторая группа – продуктивная влага в день посева, влажность воздуха, осадки (1,2,3);

- третья группа – доза внесения фосфора, доза внесения калия, доза внесения азота (8,9,10).

Переменная, обозначающая массовую долю клейковины (4), не относится ни к одной группе.

Факторы первой группы, относятся к физическим свойствам, второй группы – к природным свойствам, третьей группы – удобрению.

С первой главной компонентой (ГК1) наиболее сильно коррелирует факторы третьей группы. Так как у этих факторов большие нагрузки (коэффициенты) на графике они

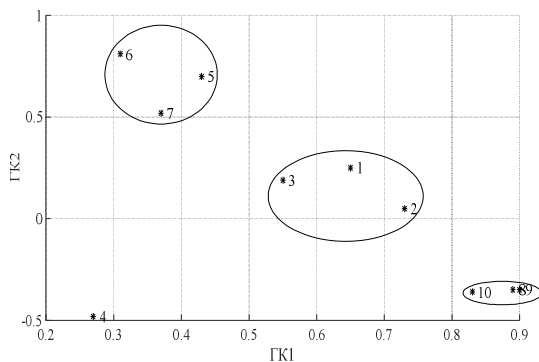


Рисунок 1 – График нагрузок ГК1 – ГК2

расположены далеко от центра. Факторы второй группы имеют среднее влияние на ГК1, а факторы третьей группы ниже среднего. Переменная, обозначающая массовую долю клейковины, имеет наименьшее влияние на первую главную компоненту из-за близкого к нулю значения. Наибольшее влияние на вторую главную компоненту оказывают факторы первой группы.

Далее были исследованы расположения образцов исходной информации в трехмерном пространстве главных компонент. Координаты образцов в новом пространстве вычисляются с помощью вышеприведенных линейных комбинаций. Они представлены в таблице 4 и называются матрицей счетов.

Визуальное исследование структуры данных удобно проводить на двухмерных рисунках. На рисунке 2 представлен график счетов по первой и второй компонентам. На графике счетов изображены исследуемые образцы. По расположению на графике счетов образцы разбиты на пять условных групп.

В группу I входят образцы D1, D2, A3, проекции которых на ось ГК1 имеют схожее расположение. Они расположены далеко от центра, обозначены наименьшими числовыми номерами, следовательно, они имеют минимальное значение по удобрению. Образцы группы II расположены далеко от центра и имеют большие положительные координаты по оси ГК2. Они обладают большими значениями по признаку «масса зерна» и имеют средние значения по признаку удобрение. Образцы группы III близко лежат друг к другу, являются подобными и расположены в правой части графика. Они находятся далеко от центра координат и противоположно группе I. Данные образцы имеют большие значения по удобрению и намного отличаются по своим свойствам от образцов группы I. Группа IV состоит из двух схожих между собой образцов A6, A10, они расположены внизу графика. Эти образцы имеют минимальные значения по признаку «Масса зерна». Группы II и IV лежат далеко друг от друга, имеют разные значения по признаку «масса зерна». Также можно заметить, что образцы, имею-

Таблица 4 – Счета главных компонент

Имена образцов	ГК1	ГК2	ГК3
D1	5,11	-0,23	1,02
D2	3,13	1,63	0,39
A3	4,29	-1,87	-0,06
E4	1,45	0,65	-0,11
B5	0,17	0,08	-2,63
G4	0,58	2,21	-1,79
E4	1,32	0,62	-0,69
B6	1,29	-0,74	-0,38
G6	1,52	0,58	1,43
H8	-0,41	2,52	1,05
E8	-0,78	-0,16	-0,92
D7	-0,45	1,04	1,31
H5	0,35	3,82	0,30
F9	-1,12	0,16	-0,47
E9	-0,34	-0,36	0,11
A6	2,39	-2,21	-0,48
A10	1,29	-3,50	-0,58
B7	1,24	-1,25	1,50
D7	-0,14	0,98	-0,83
D10	-1,42	0,19	-0,16
F9	-0,59	0,42	0,82
E9	-0,05	0,56	-0,83
G11	-2,16	-0,03	-0,33
C9	-1,71	-0,11	-2,38
C10	-1,49	-0,19	-0,84
F9	-0,59	-0,31	1,04
F11	-2,41	0,27	0,18
G11	-2,26	0,02	2,56
C13	-3,14	-1,75	0,18
D12	-2,48	-1,24	1,05
B12	-2,59	-1,80	0,56

щие наименьшие значения по признаку «масса зерна», располагаются в отрицательной части оси ГК2, а образцы, имеющие большие значения – в положительной части.

Большинство исследуемых образцов входят в группу V. Они располагаются вблизи центра системы координат, поэтому они являются наиболее типичными (средними).

Сравнивая исходные значения (таблица 1), которая ранжирована в порядке возрастания урожайности, и полученные наблюдения по ГК, запишем следующие выводы:

- образцы группы I имеют минимальные значения по урожайности, они занимают первые три строки таблицы 1;
- у образцов групп II, IV, V – средние показатели урожайности;
- образцы III группы соответствуют большим значениям по урожайности, они находятся в конце таблицы 1;
- образцы группы II имеют большие значения по признакам «Масса зерна», «Масса 1000 зерен» и «Длина соломы»;
- образцы группы IV имеют минимальные

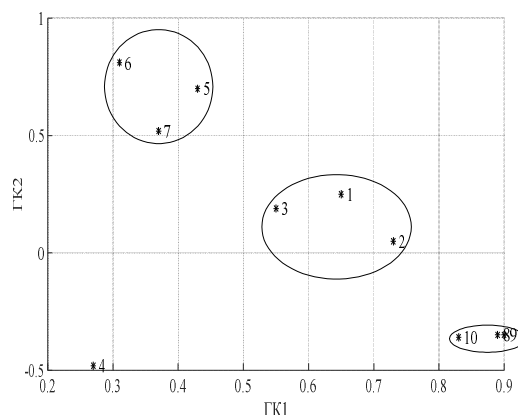


Рисунок 1 – График нагрузок ГК1 – ГК2

значения по признакам «Масса зерна», «Масса 1000 зерен» и «Длина соломы».

Можно также заметить некоторую тенденцию вдоль оси ГК1. Хорошо видно, как вдоль оси ГК1 по возрастанию изменяются цифры, обозначающие удобрение. С другой стороны, анализ имен образцов, приведенных в ранжированной по урожайности таблице 1, и сравнение их месторасположений в графике счетов (рисунок 2) показывает тенденцию возрастания урожайности вдоль оси ГК1. Это говорит о том, что первая главная компонента непосредственно связана с урожайностью. Следовательно, первая главная компонента есть то самое латентное (скрытое) образование, которое предопределяет урожайность яровой пшеницы. Сама структура ГК1 показана в таблице 3.

По графику счетов заметно, что буквенные обозначения точек, которые связаны с массой зерна, меняются в целом по алфавиту вдоль оси ГК2. Это означает наличие определенной закономерности расположения образцов вдоль оси ГК2 по признаку «масса зерна». Согласно таблице 3, на ГК2 кроме массы зерна сильно влияют показатели масса 1000 зерен и длина соломы. Отсюда следует, что ГК2 отвечает за элементы, слагающие урожайность.

Выводы.

Применение метода главных компонент при анализе факторов, влияющих на формирование урожайности яровой пшеницы, позволил десятимерный массив данных сократить до трех. Первая главная компонента тесно связана с удобрениями, вторая компонента – с массой зерна, третья – осадками. В графике счетов выделились группы образцов, расположенные по направлению оси ГК1 и ранжированные по возрастанию урожайности. Следовательно, дозы удобрений, которые являются регулируемыми факторами, оказывают наиболее сильное влияние на урожайность.

Литература

1. Болч Б., Хуань К.Дж. Многомерные статистические методы для экономики / Пер. с англ. А.Д. Плитмана; Под ред. и с предисл. С.А. Айвазяна. – М.: Статистика, 1979. – 317 с.
2. Эспенсен К. Анализ многомерных данных. Избранные главы / Пер. с англ. С.В. Кучерявского; Под ред. О.Е. Родионовой. – Казань: Изд-во КазГАСУ, 2008. – 158 с.
3. Валиев А.А., Ибятов Р.И., Шайхутдинов Ф.Ш. Современные методы и подходы обработки информации по урожайности яровой пшеницы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (41). – С. 9-14.
4. Ибятов Р.И., Шайхутдинов Ф.Ш., Валиев А.А. Анализ урожайности яровой пшеницы методом главных компонент // Журнал Зерновое хозяйство России – 2017. – №2 – С. 17-22.
5. Амиров М.Ф. Адаптивные технологии возделывания полевых культур / М.Ф. Амиров, В.П. Владимиров, И.М. Сержанов и др. Монография – Казань: Издательство «Бриг», 2018 – 124 с.
6. Гатауллина Г.Г. Практикум по растениеводству / Г.Г. Гатауллина, М.Г. Обьедков. – М.: Колос, 2005 – с. 267 - 272
7. Паников В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Паников, В.Г. Минеев. – М.: Агропромиздат. – 1987. – 512 с.
8. Шайтанов О.Л. Основные тенденции изменения климата Татарстана в XXI веке / О.Л. Шайтанов, М.Ш. Тагиров (справочник: Казань: Изд-во Фолиант, 2018. – 64 с.
9. Система земледелия Республики Татарстан. Инновации на базе традиции. - Часть 2 Агротехнология производства продукции растениеводства. – Казань, 2014. – 289 с.
10. Амиров М.Ф., Амиров А.М. Яровая твердая пшеница лесостепи Поволжья / М.Ф. Амиров, А.М. Амиров. – Казань: Изд-во «Бриг», 2018. – 290 с.

Сведения об авторах:

Ибятов Равиль Ибрагимович – доктор технических наук, профессор; e-mail: pim.kazgau@mail.ru
 Шайхутдинов Фарит Шарипович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; e-mail: faritshay@kazgau.com
 Валиев Абдулсамад Ахатович – старший преподаватель; e-mail: pim.kazgau@mail.ru
 ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», г. Казань, Россия

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING ON SPRING WHEAT PRODUCTIVITY IN THE CONDITIONS OF GRAY FOREST SOILS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN METHODS OF MAIN COMPONENTS

Ibyatov R.I., Shaykhutdinov F.Sh., Valiev A.A.

Abstract. In this paper, the principal component method is used to process and analyze the main parameters of spring wheat yield formation. The productivity of spring wheat crops is the result of a complex interaction of a variety of factors. Possession of information on inter-factor relationships will allow you to purposefully control the process, influencing one or another factor. Therefore, the task of obtaining information about the structure of the relationship of influencing factors on the yield of spring wheat is relevant. We studied the observation data for spring wheat yields and ten independent factors influencing it for 32 years: productive moisture on the day of sowing, air humidity, precipitation, mass fraction of gluten, mass of 1000 grains, grain weight per spike, length of straw, dose of phosphorus dose of potassium, dose of nitrogen. The main components are constructed in the form of linear combinations of influencing factors. The dispersion fraction of the first main component (GK1) was 39.77%, the second component (GK2) - 20.86%, GK3 - 12.93%, GK4 - 8.79%, GK5 - 6.26%, GK6 - 5, 56%, GK7 - 3.05%, GK8 - 1.78%, GK9 - 0.89%, GK10 - 0.1%. The first three main components explain 73.56% of the variance in total; therefore, a ten-dimensional data array can be analyzed in three-dimensional space. The coordinates of the samples of initial information on the yield of spring wheat in the space of the main components are determined. A visual study of the structure underlying the data was carried out.

Key words: spring wheat, mutual influence of factors, the method of principal components, data visualization.

References

1. Bolch B., Khuan K. Dzh. *Mnogomernye statisticheskie metody dlya ekonomiki*. [Multidimensional statistical methods for economics]. / Translated from English by A.D. Plitman; edited by S.A. Ayvazyan. – М.: Statistika, 1979. – P. 317.
2. Esbensen K. *Analiz mnogomernykh dannykh. Izbrannye glavy*. [Analysis of multidimensional data. Selected chapters. / Translated from English by S.V. Kucheryavskiy; Edited by O.E. Rodionov]. – Kazan: Izd-vo KazGASU, 2008. – P. 158.
3. Valiev A.A., Ibyatov R.I., Shaykhutdinov F.Sh. Modern methods and approaches for processing information on spring wheat productivity. [Sovremennye metody i podkhody obrabotki informatsii po urozhaynosti yarovoy pshenitsy]. // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – *The herald of Kazan State Agrarian University*. 2016. № 3 (41). P. 9-14.
4. Ibyatov R.I., Shaykhutdinov F.Sh., Valiev A.A.. Analysis of spring wheat productivity by the method of main components. [Analiz urozhaynosti yarovoy pshenitsy metodom glavnykh component]. // *Zernovoe khozyaystvo Rossii*. - *Grain Economy of Russia*. – 2017. №, P. 17-22.
5. Amirov M.F. *Adaptivnyye tekhnologii vozdeleyvaniya polevykh kultur. Monografiya*. [Adaptive technologies of cultivation of field crops. / M.F. Amirov, V.P. Vladimirov, I.M. Serzhanov and others. Monograph]. – Kazan: izdatelstvo “Brig”, 2018 – P. 124.
6. Gataullina G.G. *Praktikum po rastenievodstvu*. [Workshop on crop production]. / G.G. Gataullina, M.G. Obedkov. – М.:Kolos, 2005 – P. 267 - 272
7. Pannikov V.D. *Pochva, klimat, udobrenie i urozhay*. [Soil, climate, fertilizer and crop]. / V.D. Pannikov, V.G. Mineev. М.: Agropromizdat. 1987. P. 512.
8. Shaytanov O.L. *Osnovnyye tendentsii izmeneniya klimata Tatarstana v XXI veke. (spravochnik)*. [The main trends of climate change in Tatarstan in the twenty-first century. / O.L. Shaytanov, M.Sh. Tagirov (reference book)]. Foliant, 2018. – P. 64.
9. *Sistema zemledeliya Respubliki Tatarstan. Innovatsii na baze traditsii. - Chast 2. Agrotekhnologiya proizvodstva produktsii rastenievodstva*. [The agricultural system of the Republic of Tatarstan. Tradition based innovation. - Part 2. Agro-technology of crop production]. – Kazan, 2014. – P. 289.
10. Amirov M.F., Amirov A.M. *Yarovaya tverdaya pshenitsa lesostepi Povolzhya*. [Spring durum wheat of the Volga forest-steppe]. / M.F. Amirov, A.M. Amirov. – Kazan: izd-vo “Brig”, 2018. – P. 290.

Authors:

Ibyatov Ravil Ibragimovich – Doctor of Technical Sciences, Professor; e-mail: pim.kazgau@mail.ru
 Shaykhutdinov Farit Sharipovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor; Email: faritshay@kazgau.com
 Valiev Abdulsamad Akhatovich – Senior Lecturer; e-mail: pim.kazgau@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia