

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.1>**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

Научная статья

Анкудович Ю.Н.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0008-7650-7058;¹ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской Академии наук, Томск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (yuliya.ankudovich[at]mail.ru)

Аннотация

Оценку проводили в южно-таёжной подзоне Западной Сибири, на севере Томской области на дерново-подзолистых супесчаных почвах Нарымского стационарного полевого опыта по изучению систем применения удобрений в севообороте 1947 года основания. Для анализа были построены временные ряды 1978-2019 гг. средней урожайности зерновых культур в ц/га – ячменя, озимой ржи, пшеницы и овса на трёх уровнях применения удобрений:

- 1) естественный фон – контроль без применения удобрений,
- 2) органический фон – навоз 2,85 т на 1 га севооборотной площади,
- 3) минеральный фон – NPK 60 кг д.в. на 1 га севооборотной площади и метеорологических данных – среднемесячная температура воздуха в °С, сумма осадков в мм периода май-август.

При анализе данных использовали методы корреляционно-регрессионного и факторного анализа. Ранговые корреляции Спирмена выявили слабые и умеренные отрицательные связи урожайности с температурой июня $r=0,220\dots0,367$ и положительные с осадками июня $r=0,285\dots0,498$. При помощи методов факторного анализа исходные показатели были сгруппированы в новые интегрированные показатели и вычислены для каждого объекта: два фактора температурного режима и два фактора режима увлажнения для каждой из культур. Для оценки количественного влияния на урожайность зерновых культур системы удобрения, были сформированы показатели z_1 как органическая система и z_2 как минеральная система, действие которых сравнивалось с естественным фоном. С помощью метода наименьших квадратов были построены адекватные многофакторные регрессионные модели изменения урожайности зерновых культур под влиянием полученных метеофакторов и факторов систем удобрения. Установлено, что варьирование урожайности зерновых культур на 64%...73% определено влиянием интегрированных метеорофакторов и системой удобрения. Температура июня и августа увеличивала на 2,04, 4,40 и 3,36 ц/га урожайность ячменя, озимой ржи и пшеницы. Температура мая и июля снижала урожайность ячменя на 1,28 ц/га и увеличивала урожайность овса на 1,50 ц/га. Осадки июня и июля снижали урожайность ячменя на 2,09 ц/га, осадки мая, июля и августа снижали урожайность пшеницы на 1,14 ц/га. Осадки июня повышали урожайность пшеницы и овса на 1,14 и 3,38 ц/га. Органические удобрения увеличивали урожайность зерновых культур на 1,85...3,20 ц/га, минеральные удобрения на 6,00...10,57 ц/га.

Ключевые слова: климатические факторы, система удобрения, корреляционный, факторный анализ, регрессионные модели урожайности.

INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS AND FERTILIZATION SYSTEMS ON GRAIN CROP YIELDS

Research article

Ankudovich Y.N.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0008-7650-7058;¹ Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

* Corresponding author (yuliya.ankudovich[at]mail.ru)

Abstract

The evaluation was carried out in the southern taiga subzone of Western Siberia, in the north of Tomsk Oblast on sod-podzolic sandy loam soils of the Narym stationary field experiment for the study of fertilizer application systems in crop rotation in 1947. Time series 1978-2019 of average grain crop yields in kg/ha – barley, winter rye, wheat and oats at three levels of fertilizer application were plotted for analysis:

- 1) natural background – control without fertilizer application,
- 2) organic background – manure 2.85 t per 1 ha of crop rotation area,
- 3) mineral background – NPK 60 kg d.w. per 1 ha of crop rotation area and meteorological data – average monthly air temperature in °C, precipitation amount in mm of May-August period.

Methods of correlation-regression and factor analysis were used in analysing the data. Spearman rank correlations revealed weak and moderate negative relationships of yield with June temperature $r=0.220\dots0.367$ and positive relationships with June precipitation $r=0.285\dots0.498$. Using factor analysis methods, the initial indicators were grouped into new integrated indicators and calculated for each object: two factors of temperature regime and two factors of moisture regime for each of the crops. To assess the quantitative influence of fertilization systems on grain crop yields, the indicators z_1 as an organic system and z_2 as a mineral system were formed, the effect of which was compared with the natural background. Using the least squares method, adequate multifactor regression models of grain crop yield variation under the influence of the obtained meteorological and

fertilization system factors were constructed. It was found that 64%...73% variation of grain crops yield was determined by the influence of integrated meteorological factors and fertilization system. June and August temperatures increased by 2.04, 4.40 and 3.36 kg/ha the yields of barley, winter rye and wheat. May and July temperature decreased barley yield by 1.28 kg/ha and increased oat yield by 1.50 kg/ha. June and July rainfall reduced barley yield by 2.09 kg/ha and rainfall in May, July and August reduced wheat yield by 1.14 kg/ha. June rainfall increased wheat and oat yields by 1.14 and 3.38 kg/ha. Organic fertilizers increased grain yields by 1.85...3.20 c/ha, mineral fertilizers by 6.00...10.57 c/ha.

Keywords: climatic factors, fertilizer system, correlation, factor analysis, yield regression models.

Введение

Сельское хозяйство в общем и растениеводство в частности является важнейшей отраслью экономики страны, обеспечивая продовольствием и рабочими местами жителей, что в современных политических условиях является приоритетным для государства [1]. Важным результативным показателем растениеводства является урожайность сельскохозяйственных культур, которая в значительной мере определяется климатическими факторами региона возделывания и зависит от применяемой системы удобрения. Чтобы обеспечить стабильный производственный процесс отрасли растениеводства, необходим объективный анализ и оценка связи урожайности сельскохозяйственных культур с воздействующими на неё факторами.

Для условий южно-таёжной подзоны Западной Сибири использование агрометеорологической информации для управления урожайностью возделываемых культур является достаточно актуальным [2].

Цель исследований – оценить влияние климатических факторов и систем удобрения на урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах южно-таёжной подзоны Западной Сибири.

Методы и принципы исследования

Исследования проводили на базе Нарымского стационарного полевого опыта по изучению систем применения удобрений в севообороте который был заложен в 1947-1948 годы на дерново-подзолистых супесчаных почвах севера Томской области в подзоне южной западносибирской тайги [3], [4]. Климатические условия подзоны: сумма $t > 10^{\circ} = 1600-1700^{\circ}$, годовое количество осадков – 475-500 мм, за вегетационный период – 220-250 мм, ГТК – 1,4-1,6 [5].

Стационарный опыт развёрнут во времени и пространстве, до 2011 г имел семь полей, севооборот зернопаротравяной, после 2011 г имеет 6 полей, севооборот зернопаровой. Изучали три системы применения удобрений: органическая, минеральная и органоминеральная. Органические удобрения вносили один раз в ротацию в паровое поле, комплексные минеральные удобрения вносили ежегодно перед посевом зерновых культур. Количество вариантов в опыте 17, повторность 3-х кратная. Посевная площадь делянки 254 м², учётная – 200 м². Агротехнические мероприятия проводили в соответствии с действующими методическими рекомендациями для зоны [6].

Для оценки влияния метеорологических показателей и систем удобрения на урожайность зерновых культур были построены временные ряды 1978-2019 гг. метеорологических показателей – средняя температура воздуха, °С, сумма осадков, мм вегетационного периода (май – август) и средней урожайности (ц/га) – ячмень, озимая рожь, пшеница, овёс, для трёх уровней применения удобрений: 1. естественный фон – контроль без удобрений, 2. органический фон – навоз 2,85 т на 1 га севооборотной площади, 3. минеральный фон – NPK 60 кг д.в. на 1 га севооборотной площади.

Математическая обработка данных выполнена с помощью пакета статистических программ SNEDEKOR [7], программы комплексного анализа данных Нарымского стационара ROTATION [8], использовали методы корреляционно-регрессионного и факторного анализа, зависимые (урожайность) и независимые (метеопоказатели) показатели были проверены на нормальность распределения значений, линейность и отсутствие автокорреляций в последовательности данных.

Основные результаты

В целом гидротермические условия периода 1978-2019 гг. в соответствии с показателем Г.Т. Селянинова распределились следующим образом: 14 лет были достаточно увлажнёнными, 18 лет были избыточно влажными, а в течение 10 лет ощущался недостаток влаги. Среднесуточная температура воздуха в период активной вегетации растений в среднем по годам была стабильной: июль и август характеризовались незначительной изменчивостью ($V=8,0\%$ и $9,3\%$), в июне вариабельность средняя ($V=16,2\%$), в мае коэффициент вариации довольно значителен ($V=30,0\%$). Сильная изменчивость характерна для выпадающих за период вегетации осадков ($V=50,2\%...71,0\%$), при этом в июле вариабельность была наибольшей с экстремальными локальными значениями (табл. 1).

Таблица 1 - Среднемноголетние метеорологические показатели вегетационного периода, 1978-2019 гг.

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.1.1>

Показатели	Средняя температура воздуха, °С				Сумма осадков, мм			
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
Средне многолетнее	8,2	15,9	18,3	15,0	50	58	74	74
Min – Max	2,7-13,7	10,7-21,0	14,6-20,7	11,4-18,1	15-132	7-115	3-203	21-179
V%	30,0	16,2	8,0	9,3	55,0	50,2	71,0	50,5

Примечание: V% — коэффициент вариации

Урожайность зерновых культур в период 1978-2019 гг. изменялась в широком диапазоне: от 2,7 ц/га ячменя до 28,3 ц/га озимой ржи. Значительное варьирование урожайности отмечено у ячменя V=48,4%, озимой ржи V=42,8% и пшеницы V=38,7%, урожайность овса стабильнее V=28,4%. Метеорологические показатели оказывали существенное влияние на варьирование урожайности во времени, так при ГТК<1,0 и >1,5 получена в среднем более низкая урожайность зерновых культур – 8,4...14,4 ц/га, чем при оптимальных значениях ГТК (1,0...1,5) – 9,9...16,2 ц/га.

При помощи ранговых корреляций Спирмена [9] мы рассмотрели взаимосвязь естественной урожайности зерновых культур с метеопоказателями вегетационного периода (табл. 2). Рассчитана матрица коэффициентов парной корреляции результативного признака урожайности (ц/га): Y1 – ячмень, Y2 – озимая рожь, Y3 – пшеница, Y4 – овёс, со следующими независимыми переменными: средняя температура воздуха (°C) в мае – X1, июне – X2, июле – X3, августе – X4; сумма осадков (мм) в мае – X5, июне – X6, июле – X7, августе – X8.

Таблица 2 - Матрица ранговых корреляции (по Спирмену) урожайности зерновых культур с метеопоказателями вегетационного периода

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.1.2>

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Y1	Y2	Y3	Y4
X1	1											
X2	0,03 7	1										
X3	- 0,12 0	0,00 2	1									
X4	0,19 8	- 0,14 0	- 0,03 0	1								
X5	- 0,25 0*	- 0,26 2*	- 0,12 5	0,09 5	1							
X6	- 0,01 0	- 0,50 1*	- 0,01 7	- 0,03 5	0,23 0*	1						
X7	0,19 0	0,07 5	- 0,27 1*	- 0,14 1	0,08 0	- 0,18 5	1					
X8	- 0,03 8	- 0,16 7	- 0,17 4	- 0,32 9*	0,38 9*	0,32 1*	0,69 2*	1				
Y1	0,10 3	- 0,22 0*	- 0,04 0	0,18 4	- 0,15 3	0,49 8*	- 0,30 1*	- 0,27 6*	1			
Y2	- 0,04 6	- 0,22 5*	- 0,15 5	0,11 9	0,16 3	0,01 3	- 0,08 8	- 0,07 2	0,13 4	1		
Y3	- 0,13 4	- 0,28 5*	- 0,12 8	0,12 9	0,01 3	0,33 3*	- 0,16 3	- 0,01 4	0,52 0*	0,06 5	1	
Y4	0,32 3*	- 0,36 7*	- 0,08 1	0,09 8	- 0,13 9	0,28 5*	- 0,16 4	- 0,09 4	0,39 4*	0,22 8*	0,48 3*	1

Примечание: * отмечены значимые коэффициенты корреляции для 5% уровня

По результатам расчёта корреляционной матрицы можно сделать выводы о тесноте и направлении связи зависимых и независимых переменных и определить взаимное влияние факторов друг на друга.

Так, температура воздуха и количество осадков связаны друг с другом слабыми (факторы X1 и X5, X2 и X5, X3 и X7, X4 и X8) и умеренными в июне (факторы X2 и X6) обратными корреляциями – повышение температуры воздуха

сопровождается увеличением испаряемости влаги в атмосферу и уменьшением её общего количества. Осадки связаны друг с другом положительными корреляционными связями – между маем и июнем связь слабая (факторы X5 и X6), между августом, маем и июнем умеренная (факторы X8 и X5, X8 и X6), а между августом и июлем заметная (факторы X8 и X7).

Урожайность ячменя, пшеницы и овса имеет положительные умеренные корреляционные связи с осадками июня, а с температурой июня урожайность всех зерновых культур, в том числе и озимой ржи, имеет отрицательные слабые и умеренные связи. Отрицательные связи температуры июня с урожайностью объясняются обратными корреляциями между температурой и осадками июня (факторы X2 и X6) – недостаток влаги в июне месяце, когда у зерновых культур проходят фазы всходы, куцение, выход в трубку, негативно отражается на урожайности. Урожайность ячменя связана слабо отрицательно с осадками июля и августа – повышение количества выпавших осадков в августе мешает качественному и своевременному проведению уборочных работ, а отрицательное влияние осадков июля на урожайность ячменя объясняется положительной заметной связью между осадками августа и июля (факторы X8 и X7). Урожайность овса находится в умеренной положительной связи с температурой мая. Слабые и умеренные положительные связи между урожайностью овса и урожайностью остальных культур, урожайностью ячменя и пшеницы объясняются влиянием предшественников на последующие культуры севооборота.

Выделенные метеорологические показатели по отдельности не находятся в тесной корреляционной зависимости с урожайными показателями, тем не менее они играют важную роль в формировании урожайности. Для того чтобы исследовать структуру взаимосвязей зависимых и независимых показателей, идентифицировать скрытые факторы, как причины взаимосвязей исходных показателей, сократить количество исходных признаков и сформировать некоторые новые обобщённые показатели, мы воспользовались методами факторного анализа [10].

В результате факторного анализа исследуемые показатели были объединены в группы, которые определяются фактором, по которому эти показатели имеют максимальные факторные нагрузки, причем параметры, входящие в одну группу, связаны между собой тесной корреляционной связью, а входящие в разные группы – слабо коррелируют друг с другом. Факторные нагрузки – это коэффициенты парной корреляции новых обобщённых показателей (факторов) с исходными показателями, при этом учитываются нагрузки больше 0,5, которые оказывают влияние на фактор, нагрузки больше 0,7 определяют фактор, нагрузки меньше 0,25 являются незначительными.

В итоге восемь исходных метеопоказателей и урожайность каждой культуры сгруппировались по четырём факторам – по два фактора у температурного режима и режима увлажнения, имея разную степень связи с каждым из них (табл. 3).

Таблица 3 - Факторные нагрузки исследуемых показателей

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.1.3>

Признаки	Температурный режим		Признаки	Режим увлажнения	
	Фактор 1	Фактор 2		Фактор 1	Фактор 2
Ячмень					
Т мая	-	-0,787*	Р мая	-	0,515*
Т июня	-0,631*	-	Р июня	-0,877*	0,347
Т июля	-	0,756*	Р июля	0,602*	0,600*
Т августа	0,607*	-	Р августа	-	0,918*
У _я	0,706*	-	У _я	-0,782*	-
Σ инф., %	53,68		Σ инф., %	69,04	
Озимая рожь					
Т мая	-	0,815*	Р мая	0,304	0,764*
Т июня	-0,706*	-	Р июня	-	0,783*
Т июля	-	-0,646*	Р июля	0,962*	-
Т августа	0,521*	0,408	Р августа	0,938*	0,332
У _р	0,764*	-	У _р	-	0,411
Σ инф., %	52,97		Σ инф., %	68,54	
Пшеница					
Т мая	-0,291	0,793*	Р мая	0,538*	0,382
Т июня	-0,731*	-	Р июня	0,313	0,833*
Т июля	-	-0,665*	Р июля	0,796*	-0,438
Т августа	-	0,444	Р августа	0,974*	-
У _п	0,798*	-	У _п	-	0,684*
Σ инф., %	52,96		Σ инф., %	70,26	
Овёс					
Т мая	-	0,765*	Р мая	0,734*	-

Т июня	-0,708*	-	Р июня	-	0,879*
Т июля	0,585*	-0,596*	Р июля	0,788*	-0,405
Т августа	0,640*	-	Р августа	0,964*	-
У _о	0,340	0,615*	У _о	-	0,738*
Σ инф., %	55,71		Σ инф., %	74,21	

Примечание: У_я – урожайность ячменя, У_р – урожайность озимой ржи, У_п – урожайность пшеницы, У_о – урожайность овса; * отмечены факторные нагрузки более 0,5

Первый фактор температурного режима для ячменя и озимой ржи, который определяет урожайность этих культур, нагружают температуры июня и августа, для пшеницы данный фактор имеет максимальную нагрузку от температуры июня. Для овса первый фактор нагружают температуры июня, июля и августа, а урожайность имеет большую нагрузку по второму фактору. Показатель – температура июня нагружает первый фактор для всех культур с отрицательным знаком, следовательно, она имеет отрицательную корреляцию с остальными признаками. Второй фактор определяют температуры мая и июля, которые связаны между собой отрицательной корреляционной связью.

Первый фактор режима увлажнения для ячменя, который определяет его урожайность, имеет максимальные нагрузки от осадков июня и июля. Второй фактор в большей степени определяется осадками августа, затем июля и мая. Урожайность пшеницы и овса определяется вторым фактором, который в большей мере нагружает показатель – осадки июня. Первый фактор имеет максимальные нагрузки от осадков августа, июля и мая. Показатель – осадки июля связан обратной корреляционной зависимостью с урожайностью яровых культур, а также имеет отрицательные корреляционные связи с показателем – осадки июня. Для озимой ржи первый фактор увлажнения идентифицируется по осадкам июля и августа, второй фактор, с которым связана урожайность, по осадкам мая и июня. Урожайность озимой ржи не имеет высоких нагрузок с факторами увлажнения, следовательно зависимость урожайности от суммы осадков менее выражена, чем у яровых культур – озимая рожь сравнительно засухоустойчивая культура, развивая в осенний период мощную корневую систему она лучше яровых зерновых культур переносит недостаток влаги. Однако в период кущения (май) и выход в трубку (июнь) рожь реагирует на недостаток влаги в почве.

Объединённые температурные факторы объясняют 53%...56% совместной вариации исходных показателей, факторы увлажнения объясняют 69%...74% вариации, то есть более половины, что считается приемлемым результатом.

Далее были вычислены значения новых интерпретированных факторов для каждого объекта по коэффициентам регрессии исходных показателей в формировании объединённых факторов. Вычисленные значения факторов, как новые показатели, независимы, отражают реальную структуру взаимосвязей исходных признаков и наиболее полно передают исходную эмпирическую информацию.

Для того, чтобы определить, как количественно влияет на урожайность зерновых культур система удобрения, были сформированы переменные z_1 – органическая система (навоз 2,85 т на 1 га севооборотной площади), z_2 – минеральная система (NPK 60 кг д.в. на 1 га севооборотной площади), действие которых будет сравниваться с естественным фоном (контроль).

Интерпретация фиктивных переменных следующая:

$z_1 = 0$ если органические удобрения не применялись;

$z_1 = 1$ если органические удобрения применялись;

$z_2 = 0$ если минеральные удобрения не применялись;

$z_2 = 1$ если минеральные удобрения применялись.

Следующим действием было определение формулы регрессионной модели изменения урожайности зерновых культур под влиянием полученных метеофакторов и факторов системы удобрения:

$Y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + c_1 z_1 + c_2 z_2$, где

Y – урожайность зерновых культур, ц/га;

a – начало отсчёта (свободный член);

b_{1-4} c_{1-2} – коэффициенты регрессии;

x_1 x_2 – обобщённые факторы температуры;

x_3 x_4 – обобщённые факторы осадков;

z_1 z_2 – система удобрения (z_1 – органическая, z_2 – минеральная).

С помощью метода наименьших квадратов были построены регрессионные многофакторные модели урожайности зерновых культур (табл. 4).

Таблица 4 - Модели урожайности зерновых культур в зависимости от метеофакторов и системы удобрения

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.1.4>

Модели урожайности	Факторы для культур
1. $Y_{я} = 22,45 + 2,039 x_1 - 1,284 x_2 - 2,085 x_3 + 2,788 z_1 + 9,829 z_2$	x_1 – Т июня, августа; x_2 – Т мая, июля; x_3 – Р июня, июля
2. $Y_{р} = -31,16 + 4,403 x_1 + 3,200 z_1 + 6,000 z_2$	x_1 – Т июня, августа

3. $Y_{II} = -22,11 + 3,355 x_1 - 1,141 x_3 + 1,142 x_4 + 2,422 z_1 + 7,963 z_2$	x_1 – Т июня; x_3 – R мая, июля, августа; x_4 – R июня
4. $Y_{IO} = -33,77 + 1,500 x_2 + 3,376 x_4 + 1,848 z_1 + 10,57 z_2$	x_2 – Т мая, июля; x_4 – R июня

Статистически незначимые коэффициенты регрессии и соответствующие им факторы были исключены из моделей урожайности, так как они не оказывали значительного влияния на результат. Оставшиеся в модели коэффициенты и соответствующие им факторы имели достаточно высокие значения t-статистик (критерий Стьюдента), следовательно они были сформированы не под действием случайных факторов, а в соответствии со статистическими закономерностями.

Полученные результаты означают, что объединённые факторы – температура июня и августа положительно влияли на урожайность ячменя, озимой ржи и пшеницы, которая увеличивалась на 2,04, 4,40 и 3,36 ц/га соответственно. Температура мая и июля отрицательно влияла на урожайность ячменя, снижая его на 1,28 ц/га и положительно на урожайность овса, увеличивая его на 1,50 ц/га. Осадки июня и июля снижали урожайность ячменя на 2,09 ц/га, а осадки мая, июля и августа снижали урожайность пшеницы на 1,14 ц/га. Осадки июня повышали урожайность пшеницы и овса на 1,14 и 3,38 ц/га соответственно.

При фиксированных (неизменных) значениях остальных факторов, урожайность зерновых культур при применении органических удобрений возрастала по сравнению с естественным фоном от 1,85 до 3,20 ц/га, при применении минеральных удобрений урожайность возрастала от 6,00 до 10,57 ц/га.

Статистическая проверка регрессионных уравнений по F-критерию показала, что все уравнения значимы на 1% уровне значимости ($P \leq 0,01$), т.е. вероятность того, что все коэффициенты регрессии отличаются от нуля вследствие действия случайных факторов составляет 0,000. Коэффициенты множественной корреляции полученных моделей – $R_1=0,807$, $R_2=0,755$, $R_3=0,852$, $R_4=0,798$, означают, что результативные переменные находятся в тесной линейной связи с факторными переменными. Коэффициенты множественной детерминации – R^2 означают, что 65% вариации урожайности ячменя, 57% вариации урожайности озимой ржи, 73% вариации урожайности пшеницы и 64% вариации урожайности овса объясняются совместной вариацией выбранных метеофакторов и системой удобрения, а 27%...43% – другими факторами. Включение в модели урожайности дополнительных факторов может значительно повысить их качество.

Заключение

Таким образом, в условиях южно-таёжной подзоны Западной Сибири варьирование урожайности зерновых культур на 64%...73% определено влиянием метеорологических факторов и системой удобрения. Интегрированные метеофакторы в разной степени влияли на урожайность зерновых культур, либо увеличивая её, либо снижая, органическая и минеральная система удобрения положительно влияла на урожайность всех зерновых культур.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства и торфа – филиала Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The study was carried out with the support of the Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, a branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SIBNIISKHIT, a branch of the SFNCA RAS).

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Романенко И. А.. Продовольственная независимость региональных агропродовольственных систем России / И. А. Романенко // Аграрный сектор России в условиях международных санкций: вызовы и ответы: материалы международной науч. конференции; — Москва: РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2015. — с. 166-173.
2. Волкова Е. С. К оценке природных опасностей для сферы аграрного природопользования южной тайги Западной Сибири / Е. С. Волкова, М. А. Мельник, Т. Ш. Фузеллат // Фундаментальные исследования. — 2014. — 12-1. — с. 153-157.
3. Бюллетень географической сети опытов с удобрениями. — М.: ВИУА, 1957. — № 1. — 82 с.
4. Методические указания по Географической сети опытов с удобрениями. — Москва: Всесоюзный институт удобрений и агропочвоведения, 1959. — 40 с.
5. Агроклиматические ресурсы Томской области. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. — 248 с.
6. Зональная система земледелия Томской области. — Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1982. — 308 с.
7. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере / О. Д. Сорокин — Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2010. — 282 с.

8. Белоусов Н. М. Программа комплексного анализа многолетних опытных данных Нарымского стационара «ROTATION»: руководство / Н. М. Белоусов, О. Д. Сорокин, О. Д. Вервайн, Ю. Н. Анкудович — Томск: Ветер, 2013. — 40 с.
9. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин — Москва: Высшая школа, 1990. — 352 с.
10. Двоерядкина Н. Н. Факторный анализ при исследовании структуры данных / Н. Н. Двоерядкина, Н. А. Чалкина // Вестник АмГУ. — 2011. — 53. — с. 11-15. — URL: https://vestnik.amursu.ru/wp-content/uploads/2017/12/N53_3.pdf (дата обращения: 30.10.2023)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Romanenko I. A.. Prodovol'stvennaja nezavisimost' regional'nyh agroproduktivnyh sistem Rossii [Food Independence of Regional Agri-food Systems of Russia] / I. A. Romanenko // The Agricultural Sector of Russia in the Context of International Sanctions: Challenges and Answers: materials of International Scientific Research Conf.; — Moskva: RGAU – MSHA im. K. A. Timirjazeva, 2015. — p. 166-173. [in Russian]
2. Volkova E. S. K otsenke prirodnyh opasnostej dlja sfery agrarnogo prirodopol'zovanija juzhnoj tajgi Zapadnoj Sibiri [Towards the Assessment of Natural Hazards for the Sphere of Agricultural Environmental Management of the Southern Taiga of Western Siberia] / E. S. Volkova, M. A. Mel'nik, T. Sh. Fuzellat // Basic Research. — 2014. — 12-1. — p. 153-157. [in Russian]
3. Byulleten' geograficheskoj seti opytov s udobreniyami [Bulletin of the geographical network of experiments with fertilizers]. — М.: VIUA, 1957. — № 1. — 82 p. [in Russian]
4. Metodicheskie ukazaniya po Geograficheskoj seti opytov s udobreniyami [Guidelines for the Geographical Network of Experiments with Fertilizers]. — Moskva: All-Union Institute of Fertilizers and Agro-Soil Science, 1959. — 40 p. [in Russian]
5. Agroklimaticheskie resursy Tomskoj oblasti [Agroclimatic Resources of the Tomsk Region]. — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1975. — 248 p. [in Russian]
6. Zonal'naja sistema zemledelija Tomskoj oblasti [Zonal System of Agriculture of the Tomsk Region]. — Novosibirsk: SO VASHNIL, 1982. — 308 p. [in Russian]
7. Sorokin O. D. Prikladnaja statistika na komp'yutere [Applied Statistics on the Computer] / O. D. Sorokin — Krasnoobsk: GUP RPO SO RASHN, 2010. — 282 p. [in Russian]
8. Belousov N. M. Programma kompleksnogo analiza mnogoletnih opytnyh dannyh Narymskogo stacionara «ROTATION»: rukovodstvo [Program for Comprehensive Analysis of Long-term Experimental Data of the Narym Hospital «ROTATION»: manual] / N. M. Belousov, O. D. Sorokin, O. D. Vervajn, Ju. N. Ankudovich — Tomsk: Veter, 2013. — 40 p. [in Russian]
9. Lakin G. F. Biometrija [Biometrics] / G. F. Lakin — Moskva: Vysshaja shkola, 1990. — 352 p. [in Russian]
10. Dvoerjadkina N. N. Faktornyj analiz pri issledovanii struktury dannyh [Factor Analysis in the Study of Data Structure] / N. N. Dvoerjadkina, N. A. Chalkina // Bulletin of Amur State University. — 2011. — 53. — p. 11-15. — URL: https://vestnik.amursu.ru/wp-content/uploads/2017/12/N53_3.pdf (accessed: 30.10.2023) [in Russian]