

DOI

УДК 631.45:631.81

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
ПО АГРОХИМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ В УСЛОВИЯХ ТЕТЮШСКОГО РАЙОНА
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

А. А. Лукманов, Ю. П. Переведенцев, А. Б. Мустафина, И. М. Ибатуллин, Д. Ф. Зарипов

Реферат. Рассмотрена полувековая выборка за 1970-2022 годы, состоящая из 7 компонентов, в которой искомую функцию выполняет урожайность яровой пшеницы (Y_{ϕ}), роль аргументов – содержание подвижного фосфора (P_2O_5), обменного калия (K_2O), доля кислых почв в составе пашни ($D_{кп}$), насыщенность пашни минеральными (Мин.), органическими (Орг.) удобрениями, их сумма (NPK) в кг/га д.в. в пределах одного муниципального района. Между агрохимическими свойствами (K_2O , $D_{кп}$) и Y_{ϕ} установлена статистически достоверная связь при $\alpha = 0,05$ с коэффициентами корреляции (r) -0,48 и 0,39. С учетом парной корреляции рассчитана множественная корреляция. Для полной выборки (6 факторов) r составляет 0,55, а при 2-х факторах 0,53. На основе параметров корреляционно-регрессионного анализа составлено уравнение прогнозирования урожайности яровой пшеницы по агрохимическим свойствам, которую можно использовать для повышения эффективности удобрений, предотвращения разрушения почвы, оптимизации использования земли и повышения прибыли в сельскохозяйственном производстве. При предельных значениях фактической урожайности яровой пшеницы – 0,86-4,59 т/га, расчетная урожайность ($Y_{расч.}$) изменяется от 1,44 (1990 год) до 2,77 (2017 год) т/га. Между фактической и прогнозируемой (расчетной) урожайностью абсолютная разница изменяется от 0,02 до 1,97 т/га. Относительное отклонение в % имеет диапазон 1,03 (1985 год) – 161,6% (2010 год) при средних значениях 25,5%. Отклонения более 50% имеют место в 1981, 1988, 1998, 1999, 2010 годах. Высокая разница обусловлена влиянием экстремальных засушливых годов, что говорит о необходимости расширения выборки за счет агроклиматических факторов.

Ключевые слова: урожайность, яровая пшеница, удобрения, парная и множественная корреляция, прогнозирование урожайности.

Введение. Решение вопроса устойчивого роста урожайности сельскохозяйственных культур является одной из важнейших задач, где особое значение имеет прогнозирование урожайности [1, 2], представляющее собой оценку эффективного плодородия почв через их продуктивность, что, по сути, близко с программированием урожайности.

Для плодородия почвы важно оптимальное содержание элементов питания и свойства, способствующие нормальному усвоению этих элементов [3]. Критерием оценки эффективного плодородия служит обеспеченность почв доступными корневой системе элементов минерального питания – азота, фосфора, калия, которые считаются структурными элементами товарной массы культур. Недостаток этих минеральных элементов отрицательно сказывается на росте и развитии растений, что приводит к формированию невысокой урожайности [4, 5].

К критериям также следует относить кислотность (рН почвенной суспензии), меняющуюся за счёт известкования во времени, что создает оптимальные условия поглощения элементов минерального питания корневой системы из почвы [6]. Снижение объемов известкования почв может привести к тому, что повышенная кислотность опять станет лимитирующим фактором получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур [7]. Отмеченные особенности этих критериев служат фундаментом для изучения связи между содержанием макроэлементов питания и кислотностью почв.

Связь между агрохимическими показателями почв и урожайностью

сельскохозяйственных культур обычно изучается в географическом пространстве для оценки плодородия почв, где дифференциация агрохимических свойств по таксономическим единицам почв определяет распределение урожайности культур, что служит для установления баллов бонитета почв. Использование новейших географических информационных систем со спутниковой навигацией повышает информативность и достоверность показателей плодородия и помогает более эффективно выполнять технологические процессы [8, 9, 10].

Основные агрохимические свойства – содержание элементов минерального питания – что заложено в качестве ведущих критериев программирования (прогнозирования) культур и определяет ежегодное варьирование их урожайности, изменяются во времени.

Связь между агрохимическими свойствами и урожайностью культур устанавливается во временном ряду выборки.

Здесь состав выборки обычно постоянен, как правило, характеризует одну почвенную единицу, либо почвенный покров в пределах одного опытного участка, либо землепользование с жесткими неизменными границами во времени.

Выборки временного ряда обычно изучаются на стационарах для выявления влияния агрохимических свойств, доз и видов удобрений, улучшающих обеспеченность макроэлементов питания, на урожайность культур.

Закладка агрохимических стационаров трудоемка в средствах и во времени, часто на них работает несколько поколений агрохимиков [11].

Для формирования выборки временного ряда необходимы материалы об агрохимических свойствах и урожайности определенных сельскохозяйственных культур. В настоящее время этим требованиям соответствует землепользование в пределах муниципального района, что использовано в ряде работ [12, 13]. Исследование такой связи позволяет прогнозировать урожайность культур в зависимости от агрохимического состояния, как в ретроспективе, так и на ближайшее будущее. Кроме того, выборки можно расширять за счет вовлечения дополнительных факторов, в том числе насыщенности почв удобрениями.

Цель настоящей работы – изучение связи между динамичными во времени факторами – содержанием доступных корневой системе подвижных форм фосфора и обменного калия, долей кислых почв в составе почвенного покрова, хозяйственными факторами и урожайностью яровой пшеницы – как основы модели прогнозирования продуктивности культур, которая будет полезна для цифровизации агрохимической службы в Российской Федерации и улучшения эффективности производства в сельском хозяйстве.

Условия, материалы и методы. Объектом исследований служат урожайность яровой пшеницы и агрохимические свойства, сведения по насыщенности пашни удобрениями в пределах Тетюшского муниципального района Республики Татарстан. Район занимает юго-западную часть республики, расположенной в средней полосе лесостепной зоны. В составе пахотных угодий муниципального района доминируют серые лесные почвы с тремя подтипами с преобладанием темно-серых лесных почв (58%). Субдоминантом служат черноземы лесостепные до 35%, а остальная часть территории (7%) представлена дерново-подзолистыми, дерново-карбонатными и полугидроморфными почвами.

Данные мониторинга агрохимических свойств почв представлены ФГБУ «ЦАС «Татарский», который проводился с интервалом 5-8 лет, путем интерполяции показатели свойств почв вычислены по годам. Средняя урожайность яровой пшеницы по годам взята из ежегодных отчетов района, представленных МСХ и продовольствия РТ, из которых также выписана насыщенность пахотных угодий удобрениями. Матрица исходных данных состоит из 7 столбцов и 53 строк и включает в себя 371 показатель. По данной матрице получены статистические показатели компонентов – средняя арифметическая, предельные значения (макс., мин.), коэффициенты парной и множественной корреляции (r).

Статистические параметры проверены на достоверность при уровне значимости $\alpha=0,05$, составлены корреляционно-регрессионные уравнения для получения прогнозируемой урожайности яровой пшеницы. Матрица обработана в программе «Statistica-10».

Результаты и обсуждение. В матрице урожайность яровой пшеницы служит функцией. В историческом аспекте урожайность зерновых, в том числе яровой пшеницы, имеет тенденцию роста. Рост урожайности в экстенсивной группе системы земледелия обусловлен улучшением обеспеченности почв элементами минерального питания, введением новых приемов обработки почв, чередованием культур в системе земледелия от первобытных до современных.

Современное интенсивное земледелие связано с применением минеральных удобрений в сочетании с органическими, известкованием почв, использованием средств защиты растений, новых приемов средств обработки почв и уборки урожая.

В матрице наблюдается поступательное движение роста продуктивности агроценоза за относительно короткий срок (53 года), при этом оно нарушается за счет экстремально засушливых лет (табл. 1). За исследуемый период средняя урожайность яровой пшеницы составляет 2,08 т/га, заметные экстремальные отрицательные отклонения имеют место в 1981, 1988, 1998 и 2010 сельскохозяйственных годах, а положительные – в 1982, 1997, 2009, 2011, 2017, 2019, 2020 и 2022 годы.

В интенсивном земледелии агрохимическое состояние обусловлено типовой и подтиповой принадлежностью почв, валовым и подвижным содержанием макроэлементов в них. Обычно породы и минералы в процессе их выветривания выделяют доступные корневой системе растений формы фосфора, калия и микроэлементов, а при минерализации гумуса – эти элементы и обычно находящийся в минимуме азот.

Из-за постоянного отчуждения макроэлементов (N, P₂O₅, K₂O) урожаем (для формирования 1 т зерна пшеницы нужно 35, 12 и 25 кг этих элементов) происходит их уменьшение до равновесного состояния. После установления закона минерального питания растений Ю. Либихом, появилась возможность обеспечения культур путем внесения минеральных удобрений и создания их положительного баланса в земледелии.

Как видно из таблицы 1, в начале наблюдения содержание подвижных форм фосфора и калия в почве имеет минимальные показатели (83,0 и 127,3 мг/кг почвы), что обусловлено фактом выветривания горных пород почв, с одной стороны, и отчуждением элементов урожаем культур, с другой [14].

В последующие годы в результате использования удобрений проявляется общая тенденция роста агрохимических показателей (P₂O₅, и K₂O) и в конце наблюдений они достигли значений – 143,7 и 196,1 мг/кг почвы. В годы интенсивной химизации в РТ (1985-1993 годы) вносилось до 203,0 кг/га д.в. NPK. До середины 1970-х годов в составе удобрений преобладали их органические формы, а далее – минеральные.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Таблица 1 – Матрица исследуемых компонентов Тетюшского района РТ (1970-2022 годы)

Год	У _ф , т/га	Агрохимические свойства			Насыщенность удобрениями, кг/га д.в.		
		P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	D _{кп} , %	мин.	орг.	НРК
1970	2,01	83	127,3	65,9	14,1	17,4	31,5
1971	2,04	87,8	127,8	64,2	17,9	23,8	41,7
1972	1,53	92,4	128,2	62,6	21,7	30,0	51,7
1973	1,34	97,0	128,7	61,0	25,5	37,5	63,0
1974	1,71	101,7	129,1	59,3	29,0	50,0	79,0
1975	1,57	106,4	129,6	57,7	35,0	43,8	78,8
1976	1,82	111,0	130,0	56,1	41,0	37,5	78,5
1977	1,55	116,1	133,1	57,2	49,0	37,5	86,5
1978	1,87	121,2	136,2	58,8	50,0	38,8	88,8
1979	1,28	126,4	139,4	59,8	48,0	25,0	73,0
1980	1,86	131,5	142,5	60,1	47,0	41,2	88,2
1981	0,97	136,6	145,6	61,9	48,0	42,5	90,5
1982	2,7	141,7	148,8	63,0	58,0	46,2	104,2
1983	1,75	147,0	151,9	63,8	57,0	36,2	93,2
1984	1,5	152,0	155,0	64,6	60,0	41,2	101,2
1985	1,71	153,1	155,7	66,7	89,0	53,8	142,8
1986	1,89	154,2	156,3	68,8	57,0	58,8	115,8
1987	1,45	155,2	157,0	70,9	81,0	61,2	142,2
1988	0,86	156,3	157,6	73,1	127,0	65,0	192,0
1989	1,25	146,4	158,3	75,1	124,0	31,2	155,2
1990	1,9	150,2	158,2	79,8	81,0	40,0	121,0
1991	1,34	153,9	158,0	81,6	111,0	40,0	151,0
1992	2,23	157,6	157,9	83,3	151,0	43,8	194,8
1993	2,14	161,5	157,8	68,0	168,0	35,0	203,0
1994	2,35	166,5	160,6	65,2	70,0	21,2	91,2
1995	1,49	171,5	163,4	64,3	59,0	12,5	71,5
1996	2,58	175,5	166,3	62,4	54,0	20,0	74,0
1997	3,1	181,5	169,1	60,6	57,0	27,2	84,2
1998	0,98	175,6	164,2	58,4	32,0	13,8	45,8
1999	1,17	169,6	163,3	56,2	32,0	5,0	37,0
2000	1,53	163,6	160,4	54,0	31,0	35,0	66,0
2001	2,58	157,7	157,6	51,9	30,1	18,8	48,9
2002	2,34	151,8	154,7	49,7	36,6	13,8	50,4
2003	2,35	145,8	151,8	47,5	26,6	8,8	35,4
2004	2,08	143,9	154,7	47,8	50,2	8,8	59,0
2005	2,09	143,4	157,6	48,1	66,5	8,8	75,3
2006	2,19	142,8	160,5	48,3	49,7	8,8	58,5
2007	2,08	142,3	163,4	48,6	61,7	2,5	64,2
2008	2,69	141,7	166,3	48,9	75,8	5,0	80,8
2009	2,8	142,3	168,0	48,8	64,6	0,0	64,6
2010	0,89	143,0	169,8	48,7	60,3	10,0	70,3
2011	2,78	143,7	171,5	48,6	10,6	6,2	16,8
2012	2,49	144,5	173,2	48,5	66,2	3,8	70,0
2013	1,97	141,4	170,5	46,8	56,5	5,0	61,5
2014	2	138,4	167,8	45,0	56,5	0,0	56,5
2015	2,16	135,4	165,1	43,3	53,5	21,2	74,7
2016	2,23	132,3	162,4	41,6	62,6	6,2	68,8
2017	3,8	129,2	159,7	39,8	94,2	0,0	94,2
2018	2,5	126,2	157,0	38,1	82,4	3,8	86,2
2019	3,63	126,2	157,0	39,2	78,7	2,5	81,2
2020	4,38	132,2	157,0	41,7	95,0	6,6	101,6
2021	2,12	127,7	148,9	44,1	112,1	11,5	123,6
2022	4,59	143,7	196,1	51,2	114,0	8,9	122,9
макс.	4,59	181,5	196,1	83,3	168,0	65,0	203,0
мин.	0,86	83,0	127,3	38,1	10,6	0,0	16,8
сред.	2,08	134,0	154,9	57,0	62,8	24,0	86,8

В современной земледелии минеральные удобрения имеют высокий удельный вес в повышении почвенного плодородия и установлении положительного баланса NPK в земледелии [12, 15].

Корневая система растений использует минеральные элементы питания в форме анионов и катионов. В почвенном растворе соотношение OH^- и H^+ оптимальное при слабокислой, нейтральной и слабощелочной реакции, что является благоприятным условием рН среды в обеспечении элементами минерального питания.

Средняя насыщенность пашни минеральными удобрениями составляет 62,8 кг/га д.в., а предельные значения - 10,6-168,0 кг/га д.в., что указывает о неравномерном распределении во временном интервале.

На фоне поступательного роста урожайно-

сти яровой пшеницы во времени – содержание подвижного фосфора и обменного калия имеет почти однотипное распределение с продуктивностью агроценозов, а насыщенность органическими удобрениями - иное. В начале наблюдения насыщенность пашни органическими удобрениями была более высокая, а в конце – низкая, а максимальное их количество имеет место в годы интенсивной химизации. В первые годы наблюдения насыщенность пашни минеральными удобрениями также была низкой, далее она увеличивается до 1993 года (168 кг/га д.в.). В последние годы она установилась на уровне 95,0-114,0 кг/га д.в. В начале наблюдения в составе пашни доля кислых почв была равной 65,9%, а затем до 1992 года она возрастает до 83,3%, после чего постепенно снижается из-за известкования кислых почв.

Таблица 2 – Коэффициенты парной корреляции между урожайностью яровой пшеницы, агрохимическими факторами в Тетюшском районе Республики Татарстан (n=53)

Показатель	Уф, т/га	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	D _{кп} , %	Удобрения, кг/га д.в.		
					мин.	орг.	NPK
Уф, т/га	1	0,01	0,39	-0,48	0,20	-0,47	-0,05
P ₂ O ₅ , мг/кг		1	0,73	0,17	0,34	-0,03	0,27
K ₂ O, мг/кг			1	-0,25	0,38	-0,45	0,11
D _{кп} , %				1	0,26	0,76	0,56
Удобрения, д.в./га	Мин.				1	0,14	0,89
	Орг.					1	0,57
	NPK						1

Примечание: Критические значения коэффициентов при $p \geq 0,95$ равны $r \geq 0,27$.

Согласно расчетам, коэффициенты парной корреляции между факторами и урожайностью пшеницы изменяются в пределах от -0,48 (D_{кп}) до 0,39 (K₂O). Статистически достоверные коэффициенты корреляции (при $\alpha = 0,05$) выявлены между парами - У_ф-K₂O, У_ф-D_{кп} и У_ф-Орг. Связь первых двух пар логична, так как содержание обменного калия

обеспечивает материальную основу урожая, а отрицательный коэффициент между У_ф – D_{кп} указывает на благоприятные условия поглощения элементов в почвенной суспензии близкой к нейтральной и в нейтральной среде. Связь между У_ф-Орг. обусловлена распределением компонентов выборки в зависимости от экономической ситуации (табл. 2).

Таблица 3 – Уровни значимости и коэффициенты факторов в корреляционно-регрессионных уравнениях

Свободный член	D _{кп} , %	Удобрения, кг/га д.в.			Агрохимические свойства, мг/кг		r
		мин.	орг.	NPK	K ₂ O	P ₂ O ₅	
Уровни значимости факторов							
0,11359	0,03361	0,18053	0,32906	0,71652	0,86834	0,9573	0,55
0,02807	0,01878	0,15008	0,27436	0,71592	0,80144	-	0,55
0,00000	0,01156	0,07226	0,24676	0,71944	-	-	0,55
0,00000	0,01073	0,04058	0,26099	-	-	-	0,55
0,00000	0,00010	0,05454	-	-	-	-	0,53
0,00000	0,00058	-	-	-	-	-	0,47
Коэффициенты в корреляционно-регрессионных уравнениях факторов							
2,91986	-0,0253	0,00476	-0,00634	0,00048	0,00258	-0,0004	0,55
2,98578	-0,0255	0,00481	-0,00647	0,00047	0,00185	-	0,55
3,29335	-0,0263	0,00522	-0,00670	0,00046	-	-	0,55
3,30777	-0,0263	0,00557	-0,00634	-	-	-	0,55
3,58575	-0,0332	0,00518	-	-	-	-	0,53
3,56600	-0,0275	-	-	-	-	-	0,47

Коэффициенты парной корреляции между отдельными показателями меняются в диапазоне от -0,45 до 0,89, где статистически достоверные коэффициенты в 12 парах, а статистически недостоверные – в 8 (табл. 2).

С учетом парной корреляции рассчитана множественная корреляция. Для полной выборки (6 факторов) r составляет 0,55, а при 2-х факторах 0,53, что утверждает статистическое достоверное влияние всех факторов в расчетах.

Как и ожидалось, $D_{кп}$ и Орг. в уравнениях регрессии имеют отрицательные знаки, а

остальные – положительные (табл. 3).

На основе параметров корреляционно регрессионного уравнения рассчитана прогнозная урожайность яровой пшеницы (табл. 4). Например, для 6 факторов уравнение имеет следующий вид:

$$Y_{расч.} = 2,92 - 0,0253 * D_{кп} + 0,0048 * Мин. - 0,00634 * Орг. + 0,00048 * NPK + 0,00258 * K_2O - 0,0004 * P_2O_5.$$

В таблице 4 представлена фактическая и расчетная урожайность яровой пшеницы по 6 агрохимическим факторам за 1970-2022 годы.

Таблица 4 – Фактическая и расчетная урожайность яровой пшеницы по 6 агрохимическим факторам за 1970-2022 годы, т/га

Годы	У _ф , т/га	У _{расч.} , т/га	Разница, т/га	Разница, %	Годы	У _ф , т/га	У _{расч.} , т/га	Разница, т/га	Разница, %
1970	2,01	1,52	0,49	24,4	1977	1,87	1,77	0,10	5,2
1971	2,04	1,55	0,49	24,2	1978	1,28	1,82	-0,54	42,4
1972	1,53	1,57	-0,04	2,5	1979	1,86	1,72	0,14	7,5
1973	1,34	1,58	-0,24	18,3	1980	0,97	1,68	-0,71	73,1
1974	1,71	1,57	0,14	8,1	1981	2,7	1,69	1,01	37,5
1975	1,57	1,68	-0,11	7,0	1982	1,75	1,73	0,02	1,3
1976	1,82	1,79	0,03	1,7	1983	1,5	1,70	-0,20	13,3
1977	1,55	1,81	-0,26	16,7	1984	1,71	1,73	-0,02	1,0
1978	1,87	1,77	0,10	5,2	1985	1,89	1,48	0,41	21,8
1979	1,28	1,82	-0,54	42,4	1986	1,45	1,54	-0,09	6,1
1980	1,86	1,72	0,14	7,5	1987	0,86	1,70	-0,84	98,2
1981	0,97	1,68	-0,71	73,1	1988	1,25	1,84	-0,59	47,3
1982	2,7	1,69	1,01	37,5	1989	1,9	1,44	0,46	24,1
1983	1,75	1,73	0,02	1,3	1990	1,34	1,55	-0,21	15,9
1984	1,5	1,70	-0,20	13,3	1991	2,23	1,70	0,53	23,9
1985	1,71	1,73	-0,02	1,0	1992	2,14	2,22	-0,08	3,9
1986	1,89	1,48	0,41	21,8	1993	2,35	1,86	0,49	20,7
1987	1,45	1,54	-0,09	6,1	1994	1,49	1,88	-0,39	26,5
1988	0,86	1,70	-0,84	98,2	1995	2,58	1,87	0,71	27,6
1989	1,25	1,84	-0,59	47,3					
1990	1,9	1,44	0,46	24,1					
1991	1,34	1,55	-0,21	15,9					
1992	2,23	1,70	0,53	23,9					
1993	2,14	2,22	-0,08	3,9					
1994	2,35	1,86	0,49	20,7					
1995	1,49	1,88	-0,39	26,5					
1996	2,58	1,87	0,71	27,6					
1997	3,1	1,89	1,21	39,0					
1998	0,98	1,88	-0,90	92,2					
1999	1,17	1,99	-0,82	70,2					
2000	1,53	1,86	-0,33	21,6					
2001	2,58	2,00	0,58	22,5					
2002	2,34	2,11	0,23	9,7					
2003	2,35	2,14	0,21	8,9					
2004	2,08	2,27	-0,19	8,9					
2005	2,09	2,35	-0,26	12,5					
2006	2,19	2,27	-0,08	3,5					
2007	2,08	2,37	-0,29	13,8					
2008	2,69	2,43	0,26	9,8					
2009	2,8	2,40	0,40	14,2					
2010	0,89	2,33	-1,44	161,6					
2011	2,78	2,10	0,68	24,6					
2012	2,49	2,41	0,08	3,2					
2013	1,97	2,39	-0,42	21,2					
2014	2	2,46	-0,46	22,9					
2015	2,16	2,35	-0,19	9,0					
2016	2,23	2,53	-0,30	13,4					
2017	3,8	2,77	1,03	27,1					
2018	2,5	2,72	-0,22	8,9					
2019	3,63	2,68	0,95	26,1					
2020	4,38	2,68	1,70	38,8					
2021	2,12	2,66	-0,54	25,6					
2022	4,59	2,62	1,97	42,9					

При предельных значениях фактической урожайности яровой пшеницы – 0,86-4,59 т/га, расчетная урожайность ($Y_{расч.}$) изменяется от 1,44 (1990 год) до 2,77 (2017 год) т/га. $Y_{ф}$ выше $Y_{расч.}$ в 25 годах, ниже – в 28 годах. В первом случае абсолютная амплитуда разницы между ними равна 0,02-1,97 т/га, а во втором - 0,02-1,44 т/га. Относительное отклонение в % имеет диапазон 1,03 (1985 год) – 161,6% (2010 год) при средних значениях 25,5%. Отклонения более 50% имеют место в 1981, 1988, 1998, 1999, 2010 годах.

Таким образом, прогнозирование урожайности пшеницы по агрохимическим свойствам имеют положительный результат. В выборке основная часть сельскохозяйственных годов имеет удовлетворительные показатели по прогнозу урожайности яровой пшеницы.

Выводы. Установлена статистически достоверная связь между содержанием обменного калия с урожайностью яровой пшеницы при уровне значимости $\alpha=0,05$. Доля кислых почв с урожайностью яровой пшеницы имеет отрицательную статистически достоверную связь ($r=-0,48$).

Между насыщенностью пашни удобрениями и урожайностью яровой пшеницы установлена связь различной тесноты и знака, тем самым подтверждается их связь с хозяйственной деятельностью района и экономической ситуацией региона.

Множественная корреляционная связь между факторами и урожайностью яровой пшеницы имеет достоверную связь со значением 0,55, где все факторы значимы при $\alpha=0,05$. Насыщенность пашни органическими

удобрениями и доля кислых почв в составе пахотных угодий имеет в уравнениях модели знак отрицательный, а остальные факторы – положительный знак. Фактическая урожайность яровой пшеницы и ее расчетные показатели относительно близки, относительная разница между ними равна 25,5%, а ее высокие показатели характерны для экстремально засушливых годов, количество которых равно 5 сельскохозяйственным годам, что указывает на возможную связь с агроклиматическими факторами местности.

Таким образом, выявление уравнения прогнозирования урожайности яровой пшеницы по агрохимическим свойствам может быть полезным для сельскохозяйственного производства по нескольким причинам:

1. повышение эффективности удобрений: зная свойства почвы и состояние почвенного покрова, сельскохозяйственные производители могут оптимизировать

использование удобрений и выбрать оптимальный набор удобрений для повышения урожайности;

2. предотвращение разрушения почвы: уменьшение количества химических удобрений и поддержка здорового почвенного состава способствуют сохранению почвы, что в свою очередь может уменьшить затраты на ее восстановление и защитить ее от дальнейшего разрушения [16];

3. оптимизация использования земли: зная прогноз по урожайности, сельскохозяйственные производители могут оптимизировать использование земли и выбирать те культуры, которые наиболее эффективны для данной области [17];

4. повышение прибыли: повышение урожайности может увеличить доход сельскохозяйственных производителей, уменьшить риски и обеспечить стабильность в производстве [18].

Литература

1. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе математических моделей баланса гумуса, кислотности почвы, NPK / Д. А. Благов, С. В. Митрофанов, В. С. Никитин [и др.] // Международный научный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 3. С. 62-66.
2. Лебедева В. М. Учёт осенне-зимнего увлажнения почвы в динамико-статистической модели прогноза урожайности озимых культур / В. М. Лебедева, Т. А. Найдина // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2022. – № 4(386). – С. 79-95.
3. Сычев В. Г. Плодородие почв России и пути его регулирования / В. Г. Сычев, С. А. Шафран, С. Б. Виноградова // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3-13
4. Consumption of soil nitrogen by plants under the application of a mineral fertilizer green manure and biopreparation (The study involves 15 N) / A. A. Zavalin, L. S. Chernova, S. V. Sopochnikov, et al. // Russian Agricultural Sciences. 2020. Vol. 36. No. 1. P. 39–42
5. К теории биологического выноса элементов питания из почвы посевами мятликовых трав при внесении минерального удобрения / С. М. Пакшина, Н. М. Белоус, С. Ф. Чесалин, Е. В. Смольский // Пермский аграрный вестник. 2020. № 3(31). С. 52-65.
6. Давлятшин И. Д., Лукманов А. А., Гайров Р. Р. Почвенная кислотность, степень удобренности и урожайность яровой пшеницы в северной полосе лесостепной зоны Республики Татарстан // Агрохимия. 2019. № 4. С. 54-59.
7. Сычев В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН. 2019. 328 с.
8. Rabia A. H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture // Advances in Agronomy. 2022. Vol. 171. P. 143-189.
9. Fabbri C., Mancini M., Marta A., Orlandini S., Napoli M. Integrating satellite data with a Nitrogen Nutrition Curve for precision top-dress fertilization of durum wheat // European Journal of Agronomy. 2020. Vol. 120. 126148.
10. Rosell-Polo J. R., Cheein F. A., Escolà A. Advances in Structured Light Sensors Applications in Precision Agriculture and Livestock Farming // Advances in Agronomy. 2015. Vol. 133. P. 71-112.
11. Ивойлов А. В. Эффективность удобрения и известкования выщелоченных черноземов. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та. 2015. 264 с.
12. Давлятшин И. Д. Почвенная кислотность, степень удобренности и урожайность яровой пшеницы в северной полосе лесостепной зоны Республики Татарстан / И. Д. Давлятшин, А. А. Лукманов, Р. Р. Гайров // Агрохимия. 2019. № 4. С. 54-59.
13. Лукманов А. А. Оценка вклада факторов в почвенный фонд фосфора в лесостепных черноземах Республики Татарстан // Агрохимический вестник. 2019а. № 5. С. 3-7.
14. Лапа В. В. Продуктивность севооборотов, баланс элементов питания и изменение плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений / В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко // Плодородие. 2014. № 5(80). С. 5-8.
15. Миникаев Д. Т. Влияние различных препаратов на посевные качества семян яровой пшеницы / Д. Т. Миникаев, Е. А. Прищепенко, Р. Р. Газизов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4(60). – С. 59-63.
16. К вопросу развития и экономической эффективности мелиоративной отрасли Республики Татарстан / М. М. Хисматуллин, А. Р. Валиев, М. М. Хисматуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 2(70). – С. 199-205.
17. Противозероэрозийная мелиорация в Республике Татарстан / М. М. Хисматуллин, А. Р. Валиев, М. М. Хисматуллин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 17, № 2(66). – С. 47-54.
18. Особенности ценообразования на рынке зерна / Э. Ф. Амирова, И. Н. Сафиуллин, Е. В. Губанова, М. М. Ханнанов // Аграрная наука. – 2023. – № 7. – С. 163-167.

Сведения об авторах:

Лукманов Анас Ахтямович – доктор сельскохозяйственных наук, директор, e-mail: agrohim_16_1@mail.ru
 Центр агрохимической службы «Татарский», Казань, Россия
 Переведенцев Юрий Петрович – доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы, e-mail: yperaved@kpfu.ru
 Казанский федеральный университет, Казань, Россия
 Мустафина Айсылу Биаловна – кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры

землеустройства и кадастров, e-mail: ayslu_mustafina@mail.ru
 Ибатуллин Ильдар Маратович – аспирант, e-mail: kandidatagrotat@gmail.com
 Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия
 Зарипов Дайнис Фаритович – аспирант, email: zaripov122@mail.ru
 Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса, г. Казань, Россия

**PREDICTION OF SPRING WHEAT YIELD BY AGROCHEMICAL PROPERTIES
 IN TETYUSHSKIY DISTRICT OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN
 A. A. Lukmanov, Yu. P. Perevedentsev, A. B. Mustafina, I. M. Ibatullin, D. F. Zaripov**

Abstract. A half-century sample from 1970 to 2022 consisting of 7 components was considered, in which the yield of spring wheat (U_f) performs the desired function, with the role of the arguments being the content of mobile phosphorus (P_2O_5), exchangeable potassium (K_2O), the proportion of acidic soils in the plough layer ($D_{кп}$), the saturation of the plough layer with mineral (Min.) and organic (Org.) fertilizers, and their sum (NPK) in kg/ha per dry matter within one municipal district. A statistically significant relationship was established between the agrochemical properties (K_2O , $D_{кп}$) and U_f with correlation coefficients (r) of -0.48 and 0.39 at $\alpha = 0.05$. Taking into account pairwise correlation, multiple correlation was calculated. For the entire sample (6 factors), r was 0.55, and for 2 factors, 0.53. Based on the parameters of correlation and regression analysis, an equation for predicting the yield of spring wheat based on agrochemical properties has been developed. This equation can be used to increase the effectiveness of fertilizers, prevent soil degradation, optimize land use, and increase profits in agriculture. At the limiting values of the actual yield of spring wheat - 0.86-4.59 t/ha, the calculated yield (Urasch) varies from 1.44 (1990) to 2.77 (2017) t/ha. The absolute difference between the actual and predicted (calculated) yield varies from 0.02 to 1.97 t/ha. The relative deviation in % ranges from 1.03 (1985) to 161.6% (2010) with average values of 25.5%. Deviations of more than 50% occurred in 1981, 1988, 1998, 1999, and 2010, which were due to the influence of extreme drought years, indicating the need to expand the sample by agroclimatic factors.

Key words: yield, spring wheat, fertilizers, pairwise and multiple correlation, prediction of yield.

References

1. Blagov DA, Mitrofanov SV, Nikitin VS. [Forecasting crop yields based on mathematical models of humus balance, soil acidity, NPK]. *Mezhdunarodnyi nauchnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2019; 3. 62-66 p.
2. Lebedeva VM, Naidina TA. [Accounting for autumn-winter soil moisture in the dynamic-statistical model for predicting the yield of winter crops]. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*. 2022; 4(386). 79-95 p.
3. Sychev VG, Shafran SA, Vinogradova SB. [Soil fertility in Russia and ways of its regulation]. *Agrokimiya*. 2020; 6. 3-13 p.
4. Zavalin AA, Chernova LS, Sopochnikov SV. Consumption of soil nitrogen by plants under the application of a mineral fertilizer green manure and biopreparation (The study involves 15 N). *Russian Agricultural Sciences*. 2020; Vol.36. 1. 39-42 p.
5. Pakshina SM, Belous NM, Chesalin SF, Smol'skiy EV. [On the theory of biological removal of nutrients from the soil by crops of bluegrass grasses during the application of mineral fertilizers]. *Permskii agrarnyi vestnik*. 2020; 3(31). 52-65 p.
6. Davlyatshin ID, Lukmanov AA, Gairov RR. [Soil acidity, degree of fertilization and productivity of spring wheat in the northern zone of the forest-steppe zone of the Republic of Tatarstan]. *Agrokimiya*. 2019; 4. 54-59 p.
7. Sychev VG. *Sovremennoe sostoyanie plodorodiya pochv i osnovnye aspekty ego regulirovaniya*. [The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation]. Moscow: RAN. 2019; 328 p.
8. Rabia AH, Neupane J, Lin Z, Lewis K, Cao G, Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture. *Advances in Agronomy*. 2022; Vol.171. 143-189 p.
9. Fabbri C, Mancini M, Marta A, Orlandini S, Napoli M. Integrating satellite data with a Nitrogen Nutrition Curve for precision top-dress fertilization of durum wheat. *European Journal of Agronomy*. 2020; Vol.120. 126148.
10. Rosell-Polo JR, Cheein FA, Escolà A. Advances in structured light sensors applications in precision agriculture and livestock farming. *Advances in Agronomy*. 2015; Vol.133.7. 71-112 p.
11. Ivoylov AV. *Effektivnost' udobreniya i izvestkovaniya vyshchelochennykh chernozemov*. [Efficiency of fertilizer and liming of leached chernozems]. Saransk: Izd-vo Mordov.un-ta. 2015; 264 p.
12. Davlyatshin ID, Lukmanov AA, Gairov RR. [Soil acidity, degree of fertilization and productivity of spring wheat in the northern zone of the forest-steppe zone of the Republic of Tatarstan]. *Agrokimiya*. 2019; 4. 54-59 p.
13. Lukmanov AA. [Assessment of the contribution of factors to the soil fund of phosphorus in the forest-steppe chernozems of the Republic of Tatarstan]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2019; 5. 3-7 p.
14. Lapa VV, Ivakhnenko NN. [Productivity of crop rotations, balance of nutrients and changes in fertility of sod-podzolic sandy loam soil with long-term use of fertilizers]. *Plodorodie*. 2014; 5(80). 5-8 p.
15. Minikaev DT, Prishchepenko EA, Gazizov RR. [The influence of various drugs on the sowing qualities of spring wheat seeds]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaistvennoy akademii*. 2022; 4(60). 59-63 p.
16. Hismatullin MM, Valiev AR, Hismatullin MM, Asadullin NM, Mikhaylova LV. [On the issue of development and economic efficiency of the reclamation industry of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol. 18. No. 2(70). 199-205 p.
17. Hismatullin MM, Valiev AR, Hismatullin MM, Mukhametgaliev FN, Asadullin NM, Ullah R. [Anti-erosion reclamation in the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol. 17. No. 2(66). 47-54 p.
18. Amirova EF, Safiullin IN, Gubanova EV, Khannanov MM. [Features of pricing on the grain market]. *Agrarian Science*. 2023; 7. 163-167 p.

Authors:

Lukmanov Anas Ahtyamovich - Doctor of Agricultural Sciences, Director, e-mail: agrohim_16_1@mail.ru
 Center of Agrochemical Service "Tatarskiy", Kazan, Russia
 Perevedentsev Yuriy Petrovich - Doctor of Geographical Sciences, Professor of the Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, e-mail: ypereved@kpfu.ru
 Kazan Federal University, Kazan, Russia
 Mustafina Aisyly Bilalovna – Ph.D. of Geographical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Land Management and Cadastre, e-mail: ayslu_mustafina@mail.ru
 Ibatullin Ildar Maratovich - postgraduate student, e-mail: kandidatagrotat@gmail.com
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
 Zaripov Daynis Faritovich – postgraduate student, email: zaripov122@mail.ru
 Tatar Institute for Retraining Agribusiness Personnel, Kazan, Russia.