

# ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В.А. Прошкин, ВНИИАгрохимии им. Д.Н.Прянишникова

Проведена оценка различных статистических методов при интерпретации результатов агрохимических исследований. Установлено, что выбор формы корреляции и типа регрессии дает возможность разработки математических моделей эффективности минеральных удобрений в зависимости от агрохимических свойств почв.

**Ключевые слова:** агрохимические свойства почв, коэффициент корреляции, корреляционное отношение, критерий линейности корреляции, уравнение регрессии, коэффициент аппроксимации.

Освоение современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур невозможно без системного анализа факторов, непосредственно влияющих на продукционные процессы формирования урожая. В этом случае несомненный интерес представляет оценка вклада уровня почвенного плодородия и удобрений в формирование урожайности.

Варьирование свойств пахотных почв обусловлено природной неоднородностью почвенного покрова, которому свойственна большая пространственная изменчивость [1]. Вместе с тем следует отметить, что каждый тип почвы характеризуется определенным набором наиболее важных для него свойств, отражающих сущность данного почвообразовательного процесса. Поэтому в каждой почвенно-климатической зоне урожай связан, прежде всего, с этими свойствами почвы [2-4].

Свойства почвы влияют на растения многосторонне. К одним и тем же свойствам при равном их количественном выражении растения относятся неодинаково на разных по генезису почвах [5, 6]. Большое значение имеют особенности самих растений [5-9].

Для описания закономерностей взаимодействия указанных факторов используют, как правило, методы вариационной статистики. Вместе с тем надо иметь в виду, что один и тот же массив эмпирических данных может быть описан различными математическими функциями. Это связано с тем, что стохастика изучаемых закономерностей является их фундаментальным свойством, а не только свидетельством влияния факторов на продукционные процессы растений [10]. В связи с этим выбор статистических процедур не может определяться только формальными критериями, а должен исходить из возможности раскрытия закономерностей взаимодействия факторов [11,12].

Цель исследований – оценить взаимодействие аргументов системы.

**Методика.** Объект исследования – озимая пшеница. В качестве исходной информации для оценки влияния агрохимических свойств почвы на эффективность фосфорных удобрений использовали сопряженные данные прибавки урожайности и агрохимических показателей почвы. Эти данные получены в полевых экспериментах Географической сети опытов с удобрениями, Агрохимслужбы и других научных учреждений. Для анализа использовали опыты, схема которых позволила вычленить действие фосфорных удобрений на фоне как абсолютного контроля, так и НК. В работе проанализированы и обобщены результаты полевых опытов с удобрением озимой пшеницы на серых лесных почвах, черноземах оподзоленных, черноземах типичных и обыкновенных Центрального округа. Число сопряженных пар наблюдений приведено в таблице.

Влияние отдельных факторов на изменчивость результативного признака оценивали по коэффициентам корреляции и корреляционным отношениям, долю изменчивости – по коэффициентам и индексам детерминации. Выбор формы корреляции осуществляли по критерию линейности корреляции. Достоверность прогноза по уравнениям регрессии оценивали по коэффициентам аппроксимации.

Корреляция – это тенденция двух переменных к определенно выраженной зависимости между ними [13]. В агрохимических исследованиях не всегда приходится иметь дело с четко выраженными функциональными связями. Зависимость между признаками имеет, как правило, статистический характер, когда определенному значению одного признака соответствует целая гамма распределяемых в вариационный ряд числовых значений другого признака. Стохастичность корреляции характеризуется её формой (линейная, криволинейная) и направлением (прямая, обратная). Учёт указанных особенностей корреляции – необходимое условие объективного использования статистических характеристик связи и уравнений регрессии при анализе информации.

Иллюстрация возможности использования различных статистических процедур показана на примере анализа обобщенных материалов результатов полевых опытов с удобрением озимой пшеницы (табл.).

**Взаимосвязь между дозами фосфора (кг/га) и прибавкой урожая озимой пшеницы (ц/га) на почвах Центрального округа**

Почва	Число наблюдений	г	η	Критерий линейности		Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации
				Fф	Fт		
Серая лесная	104	0,22**	0,79*	13,9	2,4	$Y=3,3522+0,02865$	0,025
						$Y=10,088 - 217,2138/X$	0,11
						$Y=0,3112X - 0,001387X^2 - 11,432$	0,47
Чернозем оподзоленный	69	0,81*	0,84*	4,5	19,5	$Y=0,06155X + 0,0145$	0,80
Чернозем типичный и обыкновенный	59	0,85*	0,97*	49,0	5,7	$Y=0,043X + 0,1555$	0,67
						$Y=6,595 - 177,225/X$	0,83
						$Y=0,0771X - 0,000142X^2 - 1,2892$	0,75

\*Уровень значимости 0,001. \*\*Уровень значимости 0,400.

Линейная корреляция может быть использована для выявления количественных взаимосвязей между отдельными факторами (агрохимическими свойствами почв) и результативным признаком (прибавкой урожая). Подтверждением этого служит тот факт, что величины, характеризующие тесноту и достоверность корреляции, колеблются в широком интервале значений. Так, коэффициенты корреляции на изучаемых поч-

вах варьировали от 0,22 до 0,85. Вместе с тем, возможность описания взаимосвязей между изучаемыми признаками (дозы  $P_2O_5$  – прибавка урожая) в значительной мере определяется типом регрессии. Например, при возделывании озимой пшеницы на черноземах оподзоленных для описания связи факторов в системе почва – удобрения – растение лучше использовать уравнения линейной регрессии. Это подтверждается

тем, что корреляция проявляется, прежде всего, как линейная по форме ( $F\phi < F\tau$ ), прямая по направлению, сильная по тесноте ( $r = 0,81$ ) и достоверная по значимости ( $t = 0,001$ ). При этом согласно коэффициенту аппроксимации (0,80) прогноз эффективности фосфорных удобрений под озимую пшеницу может быть достаточно результативным (объективным).

В то же время из-за неизбежной вариабельности почвенного покрова, возможной погрешности при внесении удобрений линейная зависимость между переменными (в данном случае дозами удобрений и прибавкой урожая), как правило, неустойчива и проявляется лишь в отдельных случаях. В подтверждение этой точки зрения приведем высказывание Т. Литтла и Ф. Хилза [13], что «прямая линия представляет частный случай общего полиномиального уравнения, выраженного уравнением первой степени или линейным полиномом». Именно поэтому низкая величина коэффициента корреляции не означает отсутствия связи. В данном случае наиболее вероятно проявление криволинейной зависимости, когда связь между изучаемыми признаками существенно отличается от линейной.

Криволинейные зависимости широко используют при анализе результатов исследований. Они выражаются, как правило, в виде кривых линий регрессии и соответствующих математических уравнений. Главной особенностью кривых линий регрессии является то, что при одинаковых приращениях независимой переменной (X) зависимая переменная (Y) имеет неодинаковые приращения. В этом случае, если корреляция прямая по направлению, то по мере увеличения изучаемого фактора действие его на результативный признак закономерно и нелинейно повышается и, наоборот, при обратной направленности корреляции эффективность фактора закономерно и нелинейно снижается.

В математической статистике имеется много различных кривых, которые можно использовать для выражения связи между переменными. Как правило, чаще всего, чтобы избежать громоздких вычислений при последовательном переходе от линейной к квадратичной и кубичной кривым, для описания зависимости используют регрессии, выражающиеся уравнениями параболы, гиперболы, значительно реже уравнениями показательного или степенного типа и очень редко уравнением логистической кривой.

Степень криволинейной зависимости характеризуется корреляционным отношением. Оно измеряет степень корреляции в любой её форме.

При расчёте корреляционного отношения очень важно провести объективную группировку исходных данных. При выборе узких интервалов точность числовых характеристик ряда – средних величин и показателей вариации – повышается, но ряд получается слишком растянутым, недостаточно чётко отображающим закономерность варьирования. При широких интервалах тоже плохо выявляются характерные черты варьирования и снижается точность статистических характеристик. Г.Ф. Лакин [14] предлагает определять число классов в зависимости от объёма выборки.

Объём выборки (от – до)	Число классов
25-40	5-6
40-60	6-8
60-100	7-10
100-200	8-12
>200	10-15

Значения, характеризующие величины корреляционного отношения в нашем примере (см. табл.), выше значений коэффициентов корреляции. Криволинейная корреляция проявляется как сильная ( $\eta = 0,79-0,97$ ) и достоверная по значимости. Этот факт, несомненно, свидетельствует о целесообразности использования криволинейной зависимости для описания связи между признаками.

Для объективности описания связи между признаками очень важно выбирать кривую, отличающуюся большей логичностью. Это позволит найти подход к выявлению характера естественной связи между двумя переменными. В этом аспекте несомненный интерес предоставляет выбор уравне-

ния, верификация которого обеспечивает соответствие данным наблюдений. Для решения этой проблемы была проведена оценка различных уравнений с помощью разных статистических моделей.

Покажем это на примерах. Так, при возделывании озимой пшеницы на серых лесных почвах для прогноза эффективности фосфорных удобрений уравнения линейной регрессии использовать нецелесообразно. Линейная корреляция проявляется как слабая ( $r = 0,22$ ) и малодостоверная ( $t = 0,400$ ), значение коэффициента аппроксимации очень низкое – 0,025. При использовании для описания связи признаков уравнения гиперболы коэффициент аппроксимации возрастает до 0,11, а уравнения параболы – до 0,47, или, соответственно, в 4,4 и 18,8 раза. При этом целесообразность использования уравнения параболы подтверждается и показателями статистической характеристики корреляции. Она проявляется как криволинейная по форме ( $F\phi > F\tau$ ), сильная по тесноте ( $\eta = 0,79$ ), достоверная по значимости связи ( $t = 0,001$ ).

Параболические функции второго порядка довольно широко применяют при анализе исходной информации. Особенностью параболических кривых, которая ограничивает их использование, является наличие «плато», когда при увеличении доз не изменяется прибавка. В дальнейшем, согласно параболе, проявляется тенденция к уменьшению прибавки урожая. В действительности же такая ситуация наблюдается не всегда.

В этом случае более перспективно использовать кривые логарифмического типа: гиперболу, показательную, степенную, логистическую. Иллюстрацией этого является использование уравнения гиперболы при описании зависимости между прибавкой урожая озимой пшеницы и дозами  $P_2O_5$  при возделывании её на черноземах типичных и обыкновенных. Корреляция проявляется как криволинейная по форме ( $F\phi > F\tau$ ), сильная по тесноте ( $\eta = 0,97$ ), достоверная по значимости ( $t = 0,001$ ). При использовании уравнения гиперболы точность прогноза заметно возрастает. Так, величина коэффициента аппроксимации при прогнозе по уравнению регрессии составляет 0,67, по уравнению параболы 0,75, а по уравнению гиперболы 0,83.

Приведенные примеры, разумеется, не охватывают всего многообразия процессов, при описании которых могут быть использованы статистические методы. Тем не менее, их применение позволяет разработать математические модели эффективности минеральных удобрений в зависимости от агрохимических свойств почв.

Изложенные методы статистической разработки экспериментального материала были использованы при оценке влияния агрохимических свойств почвы на вариабельность (изменчивость) прибавки урожая зерновых культур и картофеля от минеральных удобрений и при разработке соответствующих нормативов [15-22].

#### Литература

1. Докучаев В.В. Русский чернозем. 1883.- 376 с. 2. Гаврилюк Ф.Я. Критерии бонитировки почв // Почвоведение.- 1967.- № 1.- С. 3-9. 3. Зубенко В.Ф. Состояние и задачи научных исследований в области повышения плодородия почв // В кн.: Пути повышения плодородия почв.- Киев: Урожай, 1969.- С. 3-8. 4. Кулаковская Т.Н. Агрохимические свойства почв и их значения в использовании удобрений. - Минск: Урожай, 1965.- 198 с. 5. Петербургский А.В. О влиянии кислотности почвы на рост растений // Почвоведение.-1955.- № 5.- С. 19-28. 6. Прянишников Д.Н. О влиянии реакции почвы на рост растений // Удобрение и урожай. -1931.- № 1.- С. 53-60. 7. Авдонин Н.С. Свойства почв и урожай.- М.: Колос, 1965.- 271 с. 8. Лутинович И.С., Кулаковская Т.Н., Богдевич И.М., Детковская Л.П. Значение агрохимических свойств почв при оценке их плодородия // Плодородие.- № 5.- С.55-62. 9. Coculescu G. Relati intre insusirile solului si recolte // Probleme agr., 1971. An. 23. № 6 P 51-60. 10. Семенов В.А. Полевой опыт. Новая концепция// Сб.:Совершенствование методики проведения длительных опытов и математические методы обработки экспериментальных данных. – М.: Агроконсалт, 2003.- С.8-31. 11. Герц Г. Соотношение между экспериментом, моделью и теорией в процессе естественно-научного познания// В кн. Эксперимент. Модель. Теория.- М.- Берлин: Наука, 1982.- С.5-22. 12. Никитин Е.П. Объяснение – функция науки.- М.: Наука, 1970.- 280 с. 13. Литтл Т.М., Хиллз Ф. Дж. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ. –

М.: Колос.- 320 с. 14. *Лакин Г.Ф.* Биометрия:– М.: Высшая школа, 1980.-293 с. 15. *Шафран С.А., Прошкин В.А., Ваулина Г.И., Козешчева Е.С.* Влияние агрохимических свойств почв на окупаемость азотных удобрений //Агрохимия.- 2010.- №8.- С.15-23. 16. *Прошкин В.А.* Оценка тесноты и достоверности связи прибавки урожайности озимой пшеницы и агрохимических свойств почв на основе методов математической статистики// Агро Эко Инфо.-2010.- №1. 17. *Прошкин В.А.* Характеристика моделей прогноза эффективности минеральных удобрений. // Плодородие.- 2011, -№3.- С.27-31. 18. *Прошкин В.А.* Моделирование эффективности минеральных удобрений по показателям агрохимических свойств почвы//Агрохимия.- №7.- 2012.-

С. 16-27. 19. *Прошкин В.А., Швыркина С.В.* Прогноз эффективности применения минеральных удобрений под картофель по агрохимическим свойствам дерново-подзолистых почв//Плодородие.- 2013.- №6. 20. *Сычёв В.Г., Шафран С.А.* Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений.- М.: ВНИИА, 2013. – 296 с. 21. *Аристархов А.Н., Прошкин В.А., Волков А.В.* Влияние агрохимических свойств почв на эффективность применения цинковых микроудобрений под озимую и яровую пшеницу // Агрохимия.- 2014.- №1.- С. 37-44. 22. *Прогнозная оценка окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая картофеля в зависимости от агрохимических свойств почв.* - М.: ВНИИА, 2014.-80 с.

#### INTERPRETATION OF THE RESULTS OF AGROCHEMICAL STUDIES USING STATISTICAL MODELS

*V.A. Proshkin*

*Pryanishnikov Research Institute of Agrochemistry, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia E-mail: viua@online.ru*

*Different statistical methods for the interpretation of the results of agrochemical studies have been assessed. It has been shown that the selection of correlation form and regression type allows the development of mathematical models for the efficiency of mineral fertilizers depending on the agrochemical properties of soils.*

*Key words: soil agrochemical properties, correlation coefficient, correlation ratio, correlation linearity test, regression equation, approximation coefficient.*