

УДК 631.462

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ АГРОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОДРОДИЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ В РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Р.Н. УШАКОВ

(Кафедра агрохимии и почвоведения Рязанской ГСХА)

На основе статистических материалов агрохимического обследования полей, проведенного на почве Рязанской обл. с 1976 по 2002 гг., отмечено снижение ее плодородия в последние годы. Методами математического анализа установлен путь формирования основных агрохимических свойств (в отношении фосфора и калия) в период относительно интенсивной химизации земледелия.

Земледелие России в настоящее время как по уровню применения удобрений, так и по показателям баланса азота, фосфора и калия оказалось на уровне 1965-1970 гг.

[4]. Если количество применяемых удобрений под культурные растения в дальнейшем не начнет увеличиваться, то процесс деградации почв России по агрохимическим показателям будет продолжаться и это приведет к еще большим потерям в плодородии почв и недобору с.-х. продукции [1, 3].

Цель нашей работы заключалась не только в констатировании состояния агрохимических свойств пахотных почв Рязанской обл. в динамике, но и в анализе вектора их формирования в период, когда уровень химизации сельского хозяйства был наибольшим (с 1976 по 1988 гг.).

Методика

В работе использованы статистические данные отчетов областного управления сельского хозяйства по агрохимическому обследованию пахотных почв в районах Рязанс-

кой обл. (всего 25), сгруппированных по преобладающей подтиповой принадлежности: дерново-подзолистая, серая лесная, чернозем выщелоченный и оподзоленный.

Трансформационные изменения агрохимических свойств по классам обеспеченности фосфором и калием, средневзвешенное содержание этих элементов в зависимости от применения соответствующих удобрений (количественный фактор) и их территориальное распределение в почве по классам обеспеченности (пространственный фактор) изучали на основе корреляционных и ассоциативных зависимостей. Режим удобрений, изменение свойств почвы в административных районах отражающие количество различных комбинаций событий, показаны ниже.

Агрохимические свойства изучали за два периода: 1976-1982 гг. (соответствовал III туру) и 1982—1988 гг. (IV туру). Такой выбор связан с тем, что произошедшие за это время изменения позволили установить причинно-следственные связи в сравнительном анализе двух периодов. Специально не рас-

сма тривали последние года (хотя и привели статистику), так как на изменение соотношения почв с разными классами обеспеченности повлияло исключение части менее плодородных пахотных почв из сельскохозяйственного оборота, масштабное агрохимическое обследование которых за последние 15 лет не проводилось.

Для изучения соотношения количественных и качественных признаков в изменении средневзвешенного содержания элементов (увеличение либо уменьшение по сравнению с предыдущим периодом) рассчитали количественно-качественный коэф-

фициент корреляции: для этого составили матрицу, в которой фиксировали дозы по районам и группы — 0, если содержание фосфора и калия увеличивалось, и 1, если уменьшалось.

Качественный коэффициент корреляции рассчитывали по формуле Бравэ (характеризует тетрахолическую связь) [2]:

$$r_B = \frac{f_{AB} \cdot f_{\bar{A}\bar{B}} - f_{A\bar{B}} \cdot f_{\bar{A}B}}{\sqrt{f_A \cdot f_{\bar{A}} \cdot f_B \cdot f_{\bar{B}}}}$$

где в примере 1 А и В — количество случаев увеличения (в таблице ↓) или уменьшения (↑) площади

**Коэффициенты корреляции и ассоциации
в оценке сопряженной зависимости трансформации почв
по классам обеспеченности и средневзвешенного содержания элементов**

Пара показателей	Обменный калий				Подвижный фосфор			
	r_B	↓↑	$\frac{TKD_{(A/B)}}{TKD_{(B/A)}}$	$\frac{\chi^2_{(A/B)}}{\chi^2_{(B/A)}} (\chi^2_{0,05}=3,8)$	r_B	↓↑	$\frac{TKD_{(A/B)}}{TKD_{(B/A)}}$	$\frac{\chi^2_{(A/B)}}{\chi^2_{(B/A)}} (\chi^2_{0,05}=3,8)$
<i>Пример 1</i>								
I+II (A) ∩ III (B)	-0,50*	A↑B↓	<u>0,43</u> 0,82	<u>2,59</u> 7,39	-0,34*	A↑B↓	<u>0,38</u> 1,00	<u>2,31</u> 11,0
		A↓B↑	<u>0,67</u> 0,11	<u>2,68</u> 0,11		A↓B↑	<u>0,38</u> 1,00	<u>2,31</u> 11,0
I+II (A) ∩ IV (B)	-0,68*	A↑B↓	<u>1,00</u> 0,67	<u>10,0</u> 5,36	-0,14	—	—	—
		A↓B↑	<u>0,67</u> 1,00	<u>5,36</u> 10,0				
I+II (A) ∩ V (B)	-0,73*	A↑B↓	<u>1,00</u> 0,40	<u>7,00</u> 1,60	-0,60*	A↑B↓	<u>1,00</u> 0,10	<u>5,00</u> 0,10
		A↓B↑	<u>0,54</u> 1,00	<u>3,78</u> 10,0		A↓B↑	<u>0,33</u> 1,00	<u>1,32</u> 8,00
I+II (A) ∩ VI (B)	0	—	—	—	-0,21	A↑B↓	<u>0</u> 1,00	<u>0</u> 10,0
III (A) ∩ IV (B)	0,43*	A↑B↑	<u>0</u> 0,82	<u>0</u> 7,39	-0,27	A↑B↑	<u>-0,33</u> 0,60	<u>1,31</u> 1,80
		A↓B↓	<u>0,80</u> 0,20	<u>7,68</u> 0,60		A↓B↓	<u>0,80</u> 0,05	<u>6,40</u> 0,04
		A↑B↓				A↑B↓	<u>0,33</u> -0,05	<u>1,31</u> 0,04

Пара показателей	Обменный калий				Подвижный фосфор			
	r_B	$\downarrow\uparrow$	$\frac{TKD_{(A/B)}}{TKD_{(B/A)}}$	$\frac{\chi^2_{(A/B)}}{\chi^2_{(B/A)}} (\chi^2_{0,05}=3,8)$	r_B	$\downarrow\uparrow$	$\frac{TKD_{(A/B)}}{TKD_{(B/A)}}$	$\frac{\chi^2_{(A/B)}}{\chi^2_{(B/A)}} (\chi^2_{0,05}=3,8)$
III (A) \cap V (B)	0,28	—	—	—	0,37	A \downarrow B \downarrow	$\frac{1,00}{-0,22}$	$\frac{7,00}{0,87}$
III (A) \cap VI (B)	0	—	—	—	0,12	—	—	—
IV (A) \cap V (B)	0,52*	A \downarrow B \downarrow	$\frac{0,50}{0,33}$	$\frac{2,00}{0,98}$	0,31	A \uparrow B \uparrow	$\frac{0,25}{0,66}$	$\frac{1,00}{5,23}$
		A \uparrow B \uparrow	$\frac{0,57}{0,69}$	$\frac{4,55}{6,19}$				
IV (A) \cap VI (B)	0	—	—	—	-0,19	—	—	—
V (A) \cap VI (B)	0	—	—	—	-0,14	—	—	—
<i>Пример 2</i>								
I+II (A) \cap Xaf (B)	-0,89*	A \uparrow B \downarrow	$\frac{1,00}{0,75}$	$\frac{1,00}{4,50}$	-0,72*	A \uparrow B \downarrow	$\frac{1,00}{0,33}$	$\frac{6,00}{0,98}$
		A \downarrow B \uparrow	$\frac{0,80}{1,00}$	$\frac{7,04}{10,0}$		A \downarrow B \uparrow	$\frac{0,57}{1,00}$	$\frac{4,55}{11,0}$
III (A) \cap Xaf (B)	0,41*	A \uparrow B \uparrow	$\frac{0}{0,71}$	$\frac{0}{3,55}$	0,23	A \uparrow B \uparrow	$\frac{-0,71}{1,00}$	$\frac{7,10}{2,00}$
		A \downarrow B \downarrow	$\frac{0,90}{0,14}$	$\frac{6,48}{0,27}$		A \downarrow B \downarrow	$\frac{1,00}{-0,26}$	$\frac{7,00}{1,30}$
IV (A) \cap Xaf (B)	0,76*	A \uparrow B \uparrow	$\frac{0,73}{0,86}$	$\frac{8,03}{10,32}$	0,33	A \uparrow B \uparrow	$\frac{0,29}{0,69}$	$\frac{1,45}{6,19}$
		A \downarrow B \downarrow	$\frac{0,88}{0,60}$	$\frac{6,05}{3,60}$		A \downarrow B \downarrow	$\frac{0,43}{-0,10}$	$\frac{1,29}{0,11}$
V (A) \cap Xaf (B)	0,73*	A \uparrow B \uparrow	$\frac{0,87}{0,75}$	$\frac{11,31}{9,00}$	0,58*	A \uparrow B \uparrow	$\frac{0,73}{0,73}$	$\frac{8,03}{8,03}$
		A \downarrow B \downarrow	$\frac{0,56}{0,75}$	$\frac{2,82}{4,50}$		A \downarrow B \downarrow	$\frac{0,43}{0,43}$	$\frac{1,29}{1,29}$
VI (A) \cap Xaf (B)	0	A \uparrow B \uparrow	—	—	0,32	A \uparrow B \uparrow	$\frac{1,00}{0,45}$	$\frac{16,0}{4,49}$
		A \downarrow B \downarrow				A \downarrow B \downarrow	$\frac{-0,71}{1,00}$	$\frac{3,53}{1,00}$

Примечание. Xaf — состояние события по средневзвешенному содержанию элементов; χ^2 — фактическое значение хи-квадрат для признаков A и B; $\downarrow\uparrow$ — комбинация изменения между признаками и/или событиями (например, A \uparrow B \uparrow означает одновременное увеличение событий A и B; знак * указывает на достоверные различия.

почв с различными сравниваемыми классами обеспеченности (между III и IV, IV и V и т. д.); A и B указывают на противоположные события

A и B изменения. Например, если событие A увеличивается, то A уменьшается. В таблице последнее событие не указано, т. к. приня-

то его автоматическое наличие, поэтому общее событие для А обозначается в виде АТ. В примере 2 А — те же варианты событий, что и в примере 1; В — количество случаев увеличения или уменьшения средневзвешенного содержания фосфора и калия; А и В — количество случаев уменьшения или увеличения в соответствии с событиями А и В; f — частота комбинаций событий, представленных в формуле.

В первом столбце результирующей таблицы пары показателей указывают на события (А) и (В) возможного взаимовлияния между (знак п) классами обеспеченности (объединенным I и II - I + II, III, IV и т. д. по калию и фосфору на уровне частоты встречаемости событий). Например, в комбинации III (А) и IV (В) нас интересовал вопрос: существует ли взаимообусловленность (связь) в трансформации пахотных почв с III и IV классами обеспеченности, присвоенными соответственно буквам А и В? В комбинации III (А) и V (В): влияет ли изменение событий в III классе обеспеченности на изменение частоты встречаемости увеличения или уменьшения средневзвешенного содержания элемента?

Расчет коэффициента предварялся построением корреляционной решетки, в которой отражаются частоты различных комбинаций событий в целом для Рязанской обл. Например, по калию для комбинации с событиями I+II (А) и III (В), при котором событие АТ, а В1 решетка выглядит следующим образом:

	\hat{A}	$\overset{\vee}{\bar{A}}$	
$\overset{\vee}{B}$	10	4	$f_{\bar{A}} = 14$
$\overset{\wedge}{\bar{B}}$	1	5	$f_{\bar{A}} = 6$
	$f_A = 11$	$f_{\bar{A}} = 9$	

В таблице такая комбинация событий обозначается АТ в!

Для оценки меры ассоциации между признаками использован трансформированный коэффициент Дайса (TKD):

$$TKD_{A/B} = \frac{f_{AB} - f_{\bar{A}\bar{B}}}{f_B},$$

$$TKD_{B/A} = \frac{f_{AB} - f_{A\bar{B}}}{f_A}.$$

Результаты

По последним статистическим отчетам агрохимических обследований пахотных почв, проведенных в Рязанской обл., в настоящее время остро стоит вопрос об истощении почв элементами питания, в частности калием, средневзвешенное содержание которого снизилось в почвенном покрове области к 2002 г. до 10 мг/100 г. При том уровне внесения калийных удобрений, который к концу 80-х гг. составил около 40 кг д.в./га, относительное распределение площади пахотных почв Рязанской обл. по классам обеспеченности выглядело следующим образом: 4% площади приходилось на I класс; 28 — на II; 36 — на III; 18 — на IV; 9 — на V и 5% — на VI класс. За последние 15 лет дозы калийных удобрений сократились (например, под зерновые не выше 10 кг д.в./га). На этом фоне увеличилась доля пашни с очень низкой и низкой степенью обеспеченности (в общей сумме до 40%) и уменьшилось количество пашни с повышенной, высокой и очень высокой обеспеченностью элемента (соответственно до 16; 6 и 3%).

Несколько иначе обстоит дело с обеспеченностью почв фосфором. Несмотря на сокращение применения фосфорных удобрений, данные

по средневзвешенному содержанию фосфора свидетельствуют о его стабилизации в почвах в последние годы, что связано с удовлетворительными темпами фосфоритования в предшествующие годы, благодаря которым и был создан его запас в почве.

Обеспеченность почв элементами питания и доля почв с оптимальным уровнем содержания азота, фосфора и калия, определяемым установленными дозами удобрений и пространственным распределением последних (на примере в единице поля) задают функцию режима питания культурных растений.

До 1988 г. в хозяйствах области при существующих дозах внесения калия решение проблемы выведения пахотных почв с очень низким и низким классами обеспеченности обменного калия хотя бы на средний уровень осуществить не удалось, более того не была минимизирована их доля (за исключением некоторых районов). В настоящее время в области фактическое распределение пахотных почв по классам обеспеченности калием ухудшилось, так как до 49% увеличилась доля почв с очень низким и низким содержанием элемента. Одновременно с этим увеличилась доля почв с повышенным, высоким и очень высоким классами обеспеченности. Если бы в этих районах в последние 15 лет применяли калийные удобрения с ежегодным коэффициентом уравнения тренда 4-6 кг д.в./га и средней дозой 30 кг/га, потребовалось бы еще не более 10-15 лет, чтобы создать оптимальный калийный фон во всем почвенном покрове с.-х. назначения.

Увеличение доли почв с высоким и очень высоким содержанием калия не решает экономическую проблему устойчивости продукционно-

го процесса в масштабах района, так как сосредоточение агрохимических усилий в течение продолжительного периода на одних полях оставляет большую часть остальных на истощение элементами питания. Это способствует снижению урожайности культурных растений и повышению их экологической уязвимости к неблагоприятным факторам.

В почвенном пахотном покрове практически во всех районах области к 1988 г. произошло обращение почв с V и VI классами на фоне трансформационных изменений с другими классами. В целом по области зафиксирована стабилизация доли почв с высоким содержанием калия (9% в 1988 г. против 10% в 1982 г.) и 5-кратное увеличение доли почв с очень высокой степенью обеспеченности калием (она составила 5%). Увеличение было достигнуто за счет привлечения агрохимических средств — калийных удобрений, доза которых под культурные растения не соответствовала в то время среднестатистическим европейским меркам. Недостаток удобрений проявился в том, что стало меньше почв со средним и повышенным уровнями — в общей сложности на 7%, одновременно на 5% больше почв с низким уровнем. Аналогичные закономерности отмечены и по фосфору.

Логично было бы предположить, что временная динамика содержания обменного калия определяется процессами поступления в почву и выносом, т. е. режимом малого биологического круговорота в агроэкосистеме. Поэтому резервирование калия в почве (а это необходимое составляющее условие устойчивости) достигается сдвигом соотношения приходной и расходной статей баланса в сторону уси-

ления первой путем применения калийных удобрений. В условиях их недостатка (а это отмечалось и до проведения современных экономических и политических реформ) возникает дополнительный вопрос: чем руководствоваться в планировании составления систем удобрения — культурой для увеличения урожайности или повышением плодородия почвы, которое находится в перманентном истощении? Как показала многолетняя практика земледелия в нашей области (повидимому, это можно отнести и к России в целом, массовых примеров, отражающих реальную гарантированную возможность одновременного решения вопросов урожайности и плодородия нет. В силу широко известных причин до 90-х гг. крен в земледелии был сделан на продуктивность растениеводческой продукции. Было бы неправильно осуждать такую политику в земледелии, так как по многим параметрам она правильная, хотя и с недостатками, обусловленными не только дозами применения удобрений, но и характером пространственного размещения последних. Чтобы оценить объективность выдвинутого предположения, мы проанализировали материалы, касающиеся доз удобрений, трансформации почв в направлении изменения соотношения классов обеспеченности за период 1976-1988 гг.

Сопоставление данных изменения средневзвешенного содержания калия и фосфора в почве районов с результатами их трансформации по уровню обеспеченности за отмеченные интервалы времени позволяет высказать предположение о существовании закономерности: практически во всех районах снижение (в 36% случаев) и повыше-

ние калия (в 56% случаев) в почве произошло, когда соответственно увеличивалась (в 44% случаев) или уменьшалась (в 44% случаев) доля почв I и II классов (их объединили в одну группу): по районам эти одновременные события зафиксированы в 17 случаях (68%). В 44%, 48 и 64% случаев по фосфору и 52%, 56 и 52% случаев по калию увеличение данных элементов в почве в IV туре по сравнению с III произошло одновременно с повышением удельного веса почв соответственно с повышенным, высоким и очень высокими классами обеспеченности.

Расчет коэффициента Бравэ выявил корреляционную зависимость между средневзвешенным содержанием калия и классами обеспеченности: его значение варьировало от -0,89 до 0,76 (таблица). Значения трансформационного коэффициента Дайса свидетельствуют о том, что увеличение содержания калия в почвах зависело (в 10 случаях) от снижения удельной доли почв с I и II классами ($TKD_{B/A} = 1$; $TKD_{B/A} > TKD_{a/b}$), повышения почв с III ($TKD_{B/A} = 0,71$), IV ($TKD_{B/A} = 0,86$) и V классом ($TKD_{B/A} = 0,75$).

При этом в некоторых событиях достоверны и обратные комбинации увеличения удельного веса почв от средневзвешенного содержания элемента. Эта зависимость опосредованная и связана с внесением калийных удобрений с трансформирующим эффектом на классы обеспеченности. Это подтверждает калькуляция корреляционной положительной связи между III (A) и IV (B) классами ($r_B = 0,43$; $TKD_{A/B} = 0,80$ при комбинации A|B), IV (A) и V (B) классами ($r_B = 0,52$; $TKD_{B/A} = 0,69$ при A|B). Расчеты означают, что при тех комбинациях событий, отраженных в таблице (показаны и ком-

бинации с математически не подтвержденной достоверностью), уменьшение доли почв с IV классом обеспеченности (событие В) влечет уменьшение доли почв с III классом (событие А), хотя логичнее было бы представить увеличение последнего, но, по-видимому, отмеченное положение дел отражает общую тенденцию сокращения площади почв со средним и повышенным уровнями вследствие недостаточного внесения калийных удобрений.

Следствием сокращения почв с очень низким и низким классом является приращение их к другим классам. В создании устойчивых агроэкосистем максимальная доля пахотных почв, по-видимому, должна приходиться на III, а лучше — на IV класс. За ограниченный промежуток времени провести такую работу трудно. Темпы приращений зависят от количества удобрений, пространственной ориентации их применения (либо их вносят в почву со средней или очень высокой обеспеченностью при условии статичности площади почв во времени), общей продуктивности земледелия (чем выше она, тем больше выносятся элементов питания урожаем).

Сопряженный анализ трансформации почв за более чем 10 лет (1976-1988 гг.) (ноль-моментом послужили данные агрохимических свойств III тура) показал, что уменьшение площади почв с I и II классами подвижного фосфора и обменного калия в большинстве случаев (в 18-19) достигнуто в Рязанской обл. за счет применения фосфорных и калийных удобрений на почвах V и VI классов; в 8 случаях по фосфору и в 15 — по калию сокращение площади низкопродуктивных почв связано с увеличением доли почв III и IV классов). Следовательно, калий-

ные и фосфорные удобрения применяли на пахотных почвах с высоким и очень высоким содержанием калия и фосфора, например, в Кораблинском, Милославском, Сараевском, Скопинском районах (по калию), так как в них увеличилась доля почв с VI и уменьшилась доля почв с III, IV и V классами калия. В 10 случаях из 25 (40%) результаты агрохимического обследования почв в IV туре (1982-1988 гг.) выявили сокращение площади почв с повышенной степенью обеспеченности фосфора и калия; в 16-18 случаях (64-72%) — со средней обеспеченностью.

Неполное соблюдение такого закона земледелия, как равнозначимость факторов жизни, привело к отсутствию планомерных действий в отношении плодородия почв Рязанской обл. Увеличение доли пахотных почв с VI классом не было достаточно синхронизированным по элементам питания, в частности фосфору и калию. Как показал наш анализ, если в целом по области количество событий с возрастанием площади почв отдельно по фосфору, калию и их содержанию в почве зафиксировано соответственно в 64 и 52% случаев, то при совместном — в 44%. Это максимальное значение по сравнению с другими комбинациями.

В выявленных зависимостях не отражена мера ассоциации между признаками (классом обеспеченности и средневзвешенным содержанием элемента). Переход классов на тот или иной уровень (III, IV) не во всех случаях адекватен и синхронизирован с дозой вносимых удобрений: если она незначительная, изменения агрохимических свойств происходит в пределах интервала значений класса. Количество элемента в почве обусловлено про-

странственным характером применения удобрений, и по-видимому в некоторых случаях накладывает ограничения на изменения в сторону уменьшения или увеличения (правильнее рассматривать второй вариант) содержания фосфора и калия в почве. Например, в некоторых районах не отмечено заметное варьирование содержания фосфора (в пределах 1 мг/100 г), несмотря на использование фосфорных удобрений, средняя доза которых составила 37 кг/га (для сравнения по области она была незначительно выше — 43 кг/га). Вероятно, это связано с особенностями размещения удобрений в пространстве: либо их основное количество концентрировалось в ограниченном наборе полей вне зависимости от их классовой приуроченности, и тогда среднее значение оказалось «размазанным», либо их применяли с пространственной выравненностью, равномерно в почву по всем (или практически всем) классам обеспеченности.

Заключение

Вследствие дефицита удобрений агрохимическая переменная плодородия пахотных почв Рязанской обл. в последнее время ухудшилась.

Концентрированное применение удобрений на полях с уже имеющейся высокой и очень высокой степенью обеспеченности элементами питания и отличающиеся наименьшей площадью распространения представляет собой не

самый наилучший вариант повсеместного (в пределах районов, в целом области) улучшения плодородия почв. Более того, такой подход — фрагментарный по своей направленности, усиливающийся ограниченностью используемых доз удобрений. Определенная нелогичность стратегии планирования систем удобрений выражается в преследовании быстрой цели получения прибавки урожая, с упущением более привлекательных, незамеченных многими земледельцами перспектив в будущем: планомерное снижение удельной доли низкообеспеченных элементами питания почв и увеличение средне-, а лучше повышено-обеспеченных почв. Естественно, что это не может быть достигнуто за относительно короткий промежуток времени. Увеличение площади почв с V и VI классами обеспеченности не отражает объективно положение дел в плодородии, хотя и проводит к ожидаемым эффектам (увеличивается урожайность), которые отличаются узкой локальностью проявления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Войтович Н.В.* Плодородие почв Нечерноземной зоны и его моделирование. М., 1997. — 2. *Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1995. 3. *Чумаченко И.Н. и др.* Агрохимические аспекты комплексного использования фосфора и кремнийсодержащего минерального сырья в целях повышения плодородия почв, 1999. Вып. 1. Т. 1. — 4. *Шафран С.А. и др.* Применение удобрений и баланс питательных веществ в земледелии России. Агрохимические исследования и технологии, 1999. Вып. 1. Т. 1.

*Статья поступила
23 декабря 2004 г.*

SUMMARY

It is marked with a base on the statistical materials of the agrochemical investigations of the arable soils, being conducted in Ryazan's region during the 1976-2002 years, that their fertility had been reduced by present time. Thanks to mathematical methods of analysis we show a way upon which the main agrochemical properties (in regard to phosphorus and potassium as nutritious elements) were formed in the period of relatively intensive agriculture agrochemisation.