

УДК 631.559:631.8

## ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ПРИБАВКИ УРОЖАЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР ПО ИНДЕКСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

© 2022 г. С. А. Шафран

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова  
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

E-mail: shafran38@mail.ru

Поступила в редакцию 11.04.2022 г.

После доработки 07.05.2022 г.

Принята к публикации 10.06.2022 г.

Изложен новый подход к оценке эффективности применения минеральных удобрений под зерновые культуры в административных районах и субъектах федерации на основе комплекса факторов, влияющих на их эффективность. Это типы почв и их агрохимические свойства, структура посевных площадей зерновых культур и их отзывчивость на минеральные удобрения. Таким показателем может быть индекс эффективности удобрений, который представляет собой относительную величину и включает в себя перечисленные факторы. Результаты исследований показали, что влияние типа (подтипа) почв, их агрохимические свойства и географическое положение оказали большое воздействие на величину индекса эффективности удобрений. Индекс эффективности азотных удобрений понижался при продвижении с севера на юг и снижении агрохимической окультуренности почв. Эффективность фосфорных удобрений уменьшалась по мере увеличения содержания подвижного фосфора в почвах, что нашло отражение в величине индекса эффективности. Действие калийных удобрений зависело в основном от степени обеспеченности почв подвижным калием, и соответственно изменялся индекс их эффективности. Апробация индексов эффективности минеральных удобрений в субъектах федерации дала обнадеживающие результаты.

*Ключевые слова:* тип (подтип) почв, агрохимические свойства, эффективность удобрений, зерновые культуры, индекс эффективности удобрений.

**DOI:** 10.31857/S0002188122090101

### ВВЕДЕНИЕ

Многочисленными полевыми опытами НИИ и агрохимической службы показано, что действие минеральных удобрений на урожайность полевых культур зависит от многих факторов, наиболее важными среди них являются почвенно-климатические условия. Например, эффективность азотных удобрений понижается в направлении с севера на юг. На дерново-подзолистых почвах прибавка урожая озимой пшеницы от N60 составляла 8.1 ц/га, а на каштановых – 2.9 ц/га. Более детальное изучение факторов, влияющих на эффективность азота, свидетельствуют о том, что внутри каждой почвенно-климатической зоны его действие также неодинаково и определяется агрохимическими свойствами почв.

В последние годы во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова разработано несколько нормативно-справочных документов, в которых подробно представлены данные о влиянии агрохимических свойств основных типов почв страны на эффек-

тивность применения минеральных удобрений под зерновые культуры, картофель, лен-долгунец и сахарную свеклу. На основе данных нормативов разработан метод определения доз питательных веществ в расчете на получение запланированного урожая при разработке систем удобрения в севооборотах и ежегодного проектирования их в полях, исходя из агрохимических свойств почв и экономических возможностей хозяйства [1]. Использование этого метода дает возможность проектировать применение удобрений с оценкой их экономического эффекта и составить соответствующий прогноз в зависимости от цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию.

Наряду с этим, в деле рационального использования минеральных удобрений немаловажную роль играют управленческие решения на различных уровнях руководства, начиная с административных районов и заканчивая страной в целом. Сюда относятся регулировка цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию, дотации, льго-

ты, кредиты и т.п. Для того чтобы соответствующие учреждения могли более грамотно выполнять данную работу, нужна более совершенная научно обоснованная информационная база. Подобные материалы также важны для предприятий, которые выпускают минеральные удобрения, чтобы лучше сориентироваться, куда поставлять свою продукцию. В настоящее время такой информацией они не располагают.

В связи с этим, в наших исследованиях была поставлена цель – разработать интегральный показатель оценки эффективности минеральных удобрений на зерновых культурах в зависимости от комплекса факторов, включая почвенные разновидности, агрохимическую характеристику пахотных почв, структуру посевных площадей зерновых культур и нормативную эффективность удобрений.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Научной основой для разработки интегрального показателя, характеризующего эффективность применения минеральных удобрений под зерновые культуры, послужили “Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур” [1]. В этих нормативах представлены данные, которые отражают влияние комплекса агрохимических свойств основных почвенных разновидностей страны на прибавку урожайности от минеральных удобрений.

В связи с тем, что виды минеральных удобрений оказывают далеко не равнозначное влияние на прирост урожая от их внесения под зерновые культуры, разработку индексов эффективности проводили отдельно для азотных, фосфорных и калийных удобрений.

Зерновые культуры, возделываемые в нашей стране, в силу своих биологических особенностей по-разному отзываются на минеральные удобрения и поэтому при разработке индексов эффективности это было учтено при расчетах. Для этого использовали нормативные данные, отражающие величину прибавки урожая по типам (подтипам) почв при внесении различных доз минеральных удобрений под озимую пшеницу, озимую рожь, яровую пшеницу, яровой ячмень и овес. Из нормативных данных следует, что наибольшую прибавку среди зерновых культур можно получить на озимой пшенице, возделываемой на дерново-подзолистых почвах. Это относится к азотным, фосфорным и калийным удобрениям, но при этом влияние агрохимических свойств почв на прибавку урожая было различным. Эффективность азота возрастала при снижении степени

кислотности и увеличении содержания в почве подвижных форм фосфора и калия, а фосфорных и калийных удобрений – снижалась по мере возрастания степени обеспеченности почв  $P_2O_5$  и  $K_2O$ . Подобная закономерность отмечена для всех изученных почвенных разновидностей.

Для установления “нормативного” индекса эффективности за 100 баллов принимали прибавку урожая озимой пшеницы на дерново-подзолистых почвах. Затем прибавки урожая всех изученных видов зерновых культур сопоставляли во всех вариантах сочетаний агрохимических свойств с наибольшей прибавкой. Например, самая высокая прибавка урожая озимой пшеницы при внесении N60 составляла 11.4 ц/га, на более кислой почве и низкой степени обеспеченности подвижными формами фосфора и калия – только 5.5 ц/га. Путем деления этой величины на 5.5 и умножении ее на 100 получаем 48. Следовательно, индекс эффективности азотных удобрений, внесенных под озимую пшеницу, равен полученной величине. Аналогично устанавливали индексы эффективности фосфорных и калийных удобрений.

Рассчитав подобным образом индексы эффективности остальных зерновых культур, определяли средневзвешенный показатель для всех культур изученного объекта по доле каждой из них в структуре посевных площадей.

В связи с тем, что содержание минерального азота в почве является крайне нестабильным показателем, при агрохимическом обследовании почв его определять с периодичностью 5–10 лет не имеет смысла, и поэтому в расчетах данных показатель не учитывали.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что агрохимические свойства почв оказывали весьма значительное влияние на эффективность применения азотных удобрений под зерновые культуры. Прибавка урожая изученных культур при внесении одной и той же дозы азота варьировала в широких пределах. При переходе почвы из группы повышенной степени обеспеченности подвижными формами фосфора и калия в низкую прибавка урожая озимой пшеницы снижалась в 1.7 раза, озимой ржи и яровой пшеницы в – 2.2, ячменя – в 1.5 и овса – в 1.3 раза (табл. 1). Абсолютные прибавки урожая зерновых культур также существенно отличалась друг от друга. Прирост урожая озимой пшеницы в 2 раза превосходил овес при повышенной степени обеспеченности почвы  $P_2O_5$  и  $K_2O$ , тогда при низком содержании данных элементов питания – только в 1.5 раза.

**Таблица 1.** Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых почв на прибавку урожая зерновых культур от внесения N60, ц/га

Содержание в почве, мг/кг		Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Овес
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O					
>100	>120	11.4	7.1	7.5	9.2	5.8
	81–120	10.9	6.5	7.2	9.1	5.6
	≤80	9.6	5.8	6.3	8.0	5.5
51–100	>120	11.2	6.2	5.9	9.3	5.9
	81–120	10.7	5.5	5.6	9.2	5.7
	≤80	9.3	4.8	4.7	8.1	5.6
≤50	>120	8.6	4.7	4.7	7.3	4.8
	81–120	8.1	4.0	4.4	7.2	4.6
	≤80	6.8	3.3	3.5	6.1	4.5

Следовательно, овес в меньшей степени реагирует на агрохимическое окультурирование почв по сравнению с озимой пшеницей.

Используя приведенные данные, был проведен расчет индексов эффективности азотных удобрений при их внесении в дозе 60 кг/га под изученные зерновые культуры (табл. 2). Поскольку наибольшая прибавка урожая зерна получена при повышенном содержании подвижных форм фосфора и калия, ее приняли за 100, а остальные прибавки урожая сопоставили с этой величиной. Оказалось, что индекс эффективности азотных удобрений заметно снижался по мере снижения содержания P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O в почвах. Это касалось всех без исключения культур. Для озимой пшеницы он уменьшился на 40%, озимой ржи и яровой пшеницы – в 2 раза, ячменя и овса – в 1.3 раза. Между культурами отмечены также значительные различия. Самый низкий индекс эффективности оказался у овса, который в 2 раза был меньше по сравнению с озимой пшеницей при повышенном содержании P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O и в 1.5 раза при низкой степени обеспеченности почв этими элементами питания. Из рассмотренного материала можно сделать вывод, что индекс эффективности азотных удобрений зависит от агрохимических свойств почв и отзывчивости зерновых культур на внесение азотных удобрений.

Немаловажное значение в решении поставленной задачи имеет изучение влияния типов и подтипов почв на эффективность применения азотных удобрений под ведущие зерновые культуры. Результаты обобщения обширного экспериментального материала позволило ответить на ряд вопросов. Опыты, проведенные с озимой пшеницей на 7-ми почвенных разновидностях, дали определенные представления об эффектив-

ности азотных удобрений в основных зонах ее возделывания.

Результаты обобщения полевых опытов свидетельствуют о том, что почвенные разновидности оказывали большое влияние на величину прибавки урожая озимой пшеницы от внесения одной и той же дозы азотных удобрений. Эффективность азотных удобрений снижалась при продвижении с севера на юг, что соответствовало ранее установленным закономерностям. В то же время, внутри каждой изученной почвенной разновидности отчетливо отмечено влияние агрохимических свойств почв на величину прибавки урожая озимой пшеницы при внесении азотных удобрений. Наиболее высокая прибавка урожая получена на дерново-подзолистых почвах, далее идут серые лесные, черноземы выщелоченные, типичные, обыкновенные, карбонатные и каштановые почвы. Для всех рассмотренных почвенных разновидностей агрохимические свойства играли заметную роль в эффективности азотных удобрений (табл. 3). При этом с продвижением с севера на юг возрастал диапазон изменений величины прибавки урожая. На дерново-подзолистых почвах повышение агрохимического окультурирования от низкой до повышенной способствовало увеличению прибавки урожая озимой пшеницы в 1.7 раза, на серый лесных – в 1.8, на черноземах выщелоченных и обыкновенных и каштановых почвах – в 2.0 раза.

В соответствии с этим изменялся индекс эффективности азотных удобрений, который уменьшался по мере снижения содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах и продвижения исследований в южном направлении (табл. 4). Эффективность азотных удобрений в большей степени уменьшалась на почвах, которые характеризовались худшими агрохимически-

**Таблица 2.** Индексы эффективности азотных удобрений на зерновых культурах, возделываемых на дерново-подзолистых почвах

Содержание в почве, мг/кг		Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Овес
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O					
>100	>120	100	62	66	81	51
	81–120	96	57	63	80	49
	≤80	84	51	55	70	48
51–100	>120	98	54	52	82	52
	81–120	94	48	49	81	50
	≤80	82	42	41	71	49
≤50	>120	75	41	41	64	42
	81–120	71	35	39	63	40
	≤80	60	29	31	54	39

**Таблица 3.** Влияние типа почв на прибавку урожая озимой пшеницы от внесения N60, ц/га

Содержание в почве, мг/кг		Дерново-подзолистые почвы	Серые лесные почвы	Черноземы				Каштановые почвы
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			выщелоченные	типичные	обыкновенные	карбонатные	
Выше среднего	Выше среднего	11.4	7.5	6.5	5.2	4.2	2.2	2.2
	Среднее	10.9	7.0	6.0	5.2	3.8	2.2	2.2
	Низкое	9.6	6.1	5.4	4.8	3.3	1.9	1.9
Среднее	Выше среднего	11.2	7.2	5.8	5.0	3.8	2.0	2.0
	Среднее	10.7	6.7	5.3	5.0	3.4	2.0	2.0
	Низкое	9.3	5.8	4.7	4.5	2.9	1.8	1.8
Низкое	Выше среднего	8.6	5.5	4.3	3.8	3.0	1.6	1.1
	Среднее	8.1	5.0	3.8	3.8	2.6	1.5	1.1
	Низкое	6.8	4.1	3.2	3.4	2.1	1.3	0.9

ми свойствами. На почвах с повышенным содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O индекс эффективности азотных удобрений понизился в 5 раз, на почвах с низкой степенью обеспеченности этими элементами питания – почти в 8 раз.

В отличие от азотных удобрений на эффективность применения фосфорных удобрений наибольшее влияние оказывало содержание подвижного фосфора в почвах. Изменение степени их обеспеченности от низкого до высокого уровня способствовало увеличению урожайности в 2 с лишним раза. Подобная закономерность отмечена для всех без исключения почв и касалась всех зерновых культур, по которым было проведено обобщение.

Анализ полученных данных показал, что несмотря на различную урожайность зерновых, полученную на разных типах (подтипах) почв, их ге-

нетические свойства оказывали гораздо меньшее воздействие на продуктивность по сравнению с содержанием подвижного фосфора. Аналогичная закономерность проявилась также при оценке эффективности фосфорных удобрений, вносимых под зерновые культуры, но в обратной последовательности. Внесение 45 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/га на дерново-подзолистых почвах с низким содержанием подвижного фосфора обеспечивало получение прибавки урожая озимой пшеницы в 6.1 ц/га, озимой ржи – 5.0, яровой пшеницы – 4.2 и ярового ячменя – 5.3 ц/га, а с высоким – 0.4, 0.3, 0.2 и 0.4 ц/га соответственно (табл. 5). Согласно представленным данным, изменялся индекс эффективности фосфорных удобрений (табл. 6), т.е. с увеличением степени обеспеченности почвы подвижным фосфором снижался индекс эффективности фосфорных удобрений.

**Таблица 4.** Индексы эффективности азотных удобрений на озимой пшенице на различных почвах

Содержание в почве, мг/кг		Дерново-подзолистые почвы	Серые лесные почвы	Черноземы				Каштановые почвы
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			выщелоченные	типичные	обыкновенные	карбонатные	
Выше среднего	Выше среднего	100	66	57	46	37	19	19
	Среднее	96	61	52	46	33	19	19
	Низкое	84	54	47	42	20	17	17
Среднее	Выше среднего	98	62	50	43	32	17	17
	Среднее	94	58	45	43	30	17	17
	Низкое	82	50	40	38	25	16	15
Низкое	Выше среднего	75	46	36	32	27	13	9
	Среднее	71	42	31	32	22	13	9
	Низкое	60	34	26	28	17	11	8

**Таблица 5.** Влияние содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах на прибавку урожая зерновых культур от внесения фосфорных удобрений в дозе Р45, ц/га

Содержание подвижного фосфора	Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Яровой ячмень
Низкое	6.1	5.0	4.2	5.3
Среднее	2.1	1.7	1.4	1.8
Повышенное	0.8	0.7	0.6	0.7
Высокое	0.4	0.3	0.2	0.4

**Таблица 6.** Индексы эффективности фосфорных удобрений на зерновых культурах, возделываемых на дерново-подзолистых почвах

Содержание подвижного фосфора	Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Яровой ячмень
Низкое	100	80	70	86
Среднее	35	27	24	31
Повышенное	14	11	9	13
Высокое	6	5	4	6

Географические закономерности снижения эффективности фосфорных удобрений при продвижении с севера на юг, как это было установлено по отношению к азотным удобрениям, отчетливо не проявились. Представленные данные свидетельствовали о том, что разница в прибавке урожая между почвами была невелика. Наиболее заметна она на почвах с низким содержанием подвижного фосфора. Например, на дерново-подзолистых почвах прибавка урожая озимой пшеницы составила 6.1 ц/га, на каштановых – 3.7, а при высокой степени обеспеченности – 0.4 и 1.9 ц/га соответственно (табл. 7). Наибольшая

разница в прибавке урожая озимой пшеницы от фосфорных удобрений между дерново-подзолистыми и каштановыми почвами составила 2.4 ц/га. Однако эта разница была в несколько раз меньше по сравнению с теми, которые характеризовали прибавку урожая на почвах с высоким и низким содержанием P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Определение индексов эффективности фосфорных удобрений показало их изменчивость в зависимости от содержания подвижного фосфора в почвах и почвенных разновидностях. Наибольшее влияние на данный показатель оказывала

**Таблица 7.** Влияние типа почв на прибавку урожая озимой пшеницы от внесения фосфорных удобрений в дозе P45, ц/га

Содержание подвижного фосфора	Дерново-подзолистые почвы	Серые лесные почвы	Черноземы				Каштановые почвы
			выщелоченные	типичные и обыкновенные	южные	карбонатные	
Низкое	6.1	5.0	4.2	3.0	4.8	4.4	3.7
Среднее	2.1	1.8	1.4	1.0	1.6	1.5	2.8
Повышенное	0.8	0.7	0.6	0.4	0.6	0.6	2.1
Высокое	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2	0.3	1.9

**Таблица 8.** Индексы эффективности фосфорных удобрений на озимой пшенице на различных почвах

Содержание подвижного фосфора	Дерново-подзолистые почвы	Серые лесные почвы	Черноземы				Каштановые почвы
			выщелоченные	типичные и обыкновенные	южные	карбонатные	
Низкое	100	82	67	50	79	73	63
Среднее	35	29	22	17	26	25	47
Повышенное	14	12	9	6	9	10	35
Высокое	6	7	4	3	4	4	31

степень обеспеченности почв подвижными фосфатами. Повышение содержания  $P_2O_5$  от низкого до высокого снижало индекс эффективности в 10 и более раз, исключая каштановые почвы, где разница составила только двукратную величину (табл. 8). Больших различий в величине индексов эффективности фосфорных удобрений между типами почв не выявлено за исключением черноземов типичных и обыкновенных, в которых разница с дерново-подзолистыми почвами составила 50%.

По данным Географической сети опытов с удобрениями и агрохимической службы, эффективность калийных удобрений понижается с севера на юг, что объясняется, с одной стороны, различием в содержании подвижного калия в почвах, с другой, – их водным режимом. Действие калийных удобрений на увеличение урожая зерновых культур проявляется на почвах с низким содержанием подвижного калия. На дерново-подзолистых почвах повышение содержания  $K_2O$  приводило к снижению прибавки урожая зерновых культур от калийных удобрений (табл. 9). Внесение K45 обеспечивало получение прироста урожая при низком содержании калия от 1.7 до 4.4, а при повышенном – от 0.4 до 0.6 ц/га. Среди изученных культур наибольшей отзывчивостью на калийные удобрения выделялся ячмень яровой, который считается более требовательной культурой к условиям калийного питания, т.к. у него более короткий период потребления питательных веществ по сравнению с другими зерно-

выми культурами. Индексы эффективности калийных удобрений имели большие различия между культурами, среди которых наиболее высоким он оказался у ячменя ярового (табл. 10).

Аналогичная закономерность влияния содержания подвижного калия на эффективность калийных удобрений прослежена на других типах почв. По мере увеличения обеспеченности почв калием снижалась прибавка урожая озимой пшеницы от калийных удобрений не только на дерново-подзолистых, но и на серых лесных почвах, черноземах выщелоченных и обыкновенных. Все это нашло отражение в определении индексов эффективности калийных удобрений.

Согласно полученным данным, наиболее заметной разница в величине индексов эффективности калийных удобрений оказалась на дерново-подзолистых почвах. На черноземах отсутствовали данные полевых опытов, проведенных на почвах с низким содержанием  $K_2O$ . В связи с этим, о влиянии их обеспеченности подвижным калием пришлось судить только по средней и повышенной группам. Тем не менее, различия оказались достаточно убедительными.

Таким образом, полученные данные позволяют судить об эффективности минеральных удобрений в зависимости от структуры посевных площадей, удельного веса почвенных разновидностей и агрохимических свойств почв каждого объекта, взятого для исследования. Апробацию

**Таблица 9.** Эффективность применения калийных удобрений под зерновые культуры на дерново-подзолистых почвах в дозе K45

Содержание подвижного калия	Озимая пшеница	Озимая рожь	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Овес
Прибавка урожая, ц/га					
Низкое	3.0	3.3	1.7	4.4	3.3
Среднее	1.0	1.1	0.9	1.5	1.1
Повышенное	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5
Индексы эффективности					
Низкое	100	106	63	145	110
Среднее	36	36	27	48	33
Повышенное	15	15	15	21	14

**Таблица 10.** Эффективность применения калийных удобрений на разных почвах в дозе K45

Содержание подвижного калия	Дерново-подзолистые	Серые лесные	Черноземы выщелоченные	Черноземы обыкновенные
Прибавка урожая, ц/га				
Низкое	3.0	2.7	—	—
Среднее	1.0	0.9	1.4	1.3
Повышенное	0.4	0.4	0.6	0.4
Индексы эффективности				
Низкое	100	90	—	—
Среднее	33	30	47	43
Повышенное	13	13	20	13

метода определения индексов эффективности было решено провести на субъектах федерации Нечерноземной зоны, которые отличаются по комплексу факторов, влияющих на урожайность зерновых культур. Для этого использовали данные агрохимической характеристики пахотных почв по состоянию на 1 января 2021 г. и сведения о структуре посевных площадей, которая сложилась за последние 5 лет. Результаты исследования приведены в табл. 11, из которой следует, что индексы эффективности минеральных удобрений между регионами значительно отличались друг от друга. Показатели для азотных удобрений изменялись от 33 (Свердловская обл.) до 86 (Калининградская обл.). Такая большая разница объясняется с одной стороны лучшей степенью обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия, с другой — наличием в структуре посевных площадей зерновых культур яровой пшеницы, которая менее отзывчива на внесение азотных удобрений по сравнению с озимой. Достаточно высокий индекс эффективности азотных удобрений отмечен в Московской, Ленинградской, Псковской и Вологодской обл., в которых содержание подвижного фосфора относилось к высо-

кой группе обеспеченности, а подвижного калия — к повышенной. Кроме того, на эффективность азотных удобрений оказывали влияние типы почв. В тех регионах, где значительный удельный вес в пахотных почвах занимают выщелоченные черноземы (Орловская, Рязанская, Тульская, Свердловская обл., Республика Мордовия), индексы эффективности не превышали 50.

Средневзвешенное содержание подвижного фосфора варьировало в больших пределах, в 8-ми регионах оно относилось к высокой степени обеспеченности, в 4-х — к средней и остальные — к повышенной, что нашло отражение в величине индексов эффективности фосфорных удобрений. При среднем содержании  $P_2O_5$  в почвах он составлял  $>20$ , при высоком — только 2–6, но это не означает, что данные регионы не нуждаются во внесении фосфорсодержащих удобрений, т.к. несмотря на высокое среднее содержание подвижного фосфора в этих регионах имеется немалое количество площадей с недостаточной обеспеченностью  $P_2O_5$ . Например, в Московской обл. насчитывается 12% таких почв, в Брянской — 23, в Республике Марий-Эл — 31% и т.п.

**Таблица 11.** Индексы эффективности минеральных удобрений на зерновых культурах по состоянию на 01.01.2021 г.

Область, республика, край	Содержание в почве, мг/кг		Азотные удобрения	Фосфорные удобрения	Калийные удобрения
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			
Брянская	173	94	55	5	39
Владимирская	141	97	53	9	34
Ивановская	95	86	61	21	37
Калужская	104	90	53	9	36
Костромская	119	103	58	6	34
Московская	199	141	71	6	20
Орловская	101	136	45	10	27
Рязанская	99	108	37	25	23
Смоленская	125	93	65	9	35
Тверская	153	93	57	2	34
Тульская	121	122	43	4	22
Ярославская	127	94	63	7	36
Вологодская	140	113	72	10	43
Калининградская	123	178	86	12	15
Ленинградская	207	150	79	5	19
Новгородская	185	112	65	4	31
Псковская	161	111	79	5	36
Марий Эл	164	103	69	5	37
Мордовия	123	151	41	10	21
Чувашская	163	126	51	5	19
Кировская	112	130	64	9	17
Нижегородская	120	129	49	10	21
Пермский	91	124	54	20	16
Свердловская	101	138	33	8	13
Удмуртская	93	—	54	24	39

Эффективность применения калийных удобрений под зерновые культуры так же, как и фосфорных, находится в большой зависимости от содержания подвижного калия в почвах, что хорошо прослежено для представленных в таблице данных. Индекс эффективности калийных удобрений наиболее высоким оказался в Брянской, Владимирской, Ивановской, Калужской, Костромской, Смоленской, Тверской, Вологодской, Псковской обл. и Республике Марий-Эл, в которых содержание K<sub>2</sub>O в пахотных почвах находилось в пределах средней группы обеспеченности и у которых в структуре пашни значительный удельный вес занимали песчаные и супесчаные почвы (Брянская, Владимирская, Ивановская, Костромская, Тверская, Псковская, Вологодская обл.). Более низкие индексы эффективности зафиксированы в регионах, где содержание подвижного калия находилось на более высоком уровне — это Московская, Калининградская, Ленинградская, Кировская, Нижегородская обл.

Регионы, в которых имеются черноземы выщелоченные, также отличались более низкими индексами эффективности калийных удобрений. Сюда можно отнести Орловскую, Рязанскую, Тульскую, Кировскую, Нижегородскую и Свердловскую обл., Пермский край, Республики Мордовия и Чувашия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что агрохимические свойства почв оказывали весьма значительное влияние на эффективность применения минеральных удобрений под зерновые культуры.

Наибольшая прибавка урожая от внесения азотных удобрений получена при повышенном и высоком содержании подвижных форм фосфора и калия на дерново-подзолистых почвах, которая составила 11.4 ц/га.



Индекс эффективности азотных снижался при снижении содержания  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в почвах: озимой пшеницы – на 40%, озимой ржи и яровой пшеницы – в 2 раза, ячменя и овса – в 1.3 раза.

Среди почвенных разновидностей наиболее высокие прибавки урожая от азотных удобрений получены на дерново-подзолистых почвах. При продвижении с севера на юг снижался индекс эффективности азотных удобрений независимо от содержания  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в почвах.

На эффективность фосфорных удобрений наибольшее влияние оказывало содержание подвижного фосфора в почвах. Генетические свойства почв оказывали меньшее воздействие на урожай зерновых культур по сравнению с содержанием подвижного фосфора. Прибавка урожая озимой пшеницы при низком содержании подвижного фосфора составляла 6.1 ц/га, озимой ржи – 5.0, яровой пшеницы – 4.2, ярового ячменя – 5.3 ц/га, с высоким – 0.4, 0.3, 0.2 и 0.4 ц/га соответственно. Аналогично изменялся и индекс эффективности фосфорных удобрений – с увеличением степени обеспеченности почв подвижным фосфором снижался индекс эффективности фосфорных удобрений.

Наибольшее действие калийных удобрений проявлялось на почвах с низким содержанием подвижного калия. При увеличении содержания подвижного калия в почвах снижалось действие калийных удобрений. Индексы эффективности при этом снижались в 6–7 раз и составляли между культурами 15–21, между типами почв 13–20 раз.

Апробация индексов эффективности минеральных удобрений в регионах Нечерноземной зоны показала, что полученные показатели в значительной степени различались между изученными объектами и в значительной мере отображали различия по содержанию подвижных форм фосфора и калия в почвах, по почвенному покрову и структуре посевных площадей зерновых культур. Наибольшей эффективностью азотных удобрений выделялись Московская, Ленинградская, Калининградская, Вологодская и Псковская обл., фосфорных – Ивановская, Рязанская обл., Пермский край и Удмуртская Республика, калийных – Брянская, Владимирская, Ивановская, Калужская, Костромская, Смоленская, Тверская, Псковская обл. и Республика Марий-Эл.

Таким образом, для оценки эффективности минеральных удобрений можно успешно использовать показатель – индекс эффективности удобрений, который включает в себя комплекс факторов, влияющих на действие удобрений. Апробация этого показателя на субъектах федерации Нечерноземной зоны оказалась достаточно обнадеживающей, и его можно использовать для принятия управленческих решений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. М.: ВНИИА, 2016. 115 с.

## Estimation of the Increase in the Yield of Field Crops by the Efficiency Index of Mineral Fertilizers

S. A. Shafran

*D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry  
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia*

*E-mail: shafran38@mail.ru*

A new approach to assessing the effectiveness of the use of mineral fertilizers for grain crops in administrative districts and subjects of the federation on the basis of a set of factors affecting their effectiveness is presented. These are the types of soils and their agrochemical properties, the structure of the sown areas of grain crops and their responsiveness to mineral fertilizers. Such an indicator can be the fertilizer efficiency index, which is a relative value and includes the listed factors. The results of the research showed that the influence of the type (subtype) of soils, their agrochemical properties and geographical location had a great impact on the value of the fertilizer efficiency index. The efficiency index of nitrogen fertilizers decreased as they moved from north to south and the agrochemical cultivation of soils decreased. The effectiveness of phosphorus fertilizers decreased as the content of mobile phosphorus in soils increased, which was reflected in the value of the efficiency index. The effect of potash fertilizers depended mainly on the degree of provision of soils with mobile potassium, and the index of their effectiveness changed accordingly. The approbation of mineral fertilizer efficiency indices in the constituent entities of the federation has yielded encouraging results.

*Key words:* type (subtype) of soils, agrochemical properties, fertilizer efficiency, crops, fertilizer efficiency index.