

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР И АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЧЕРНОЗЁМА

В.И. Волынкин, А.Н. Копылов, к.с.-х.н., О.В. Волынкина, к.с.-х.н., Курганский НИИСХ

Приведены результаты наблюдений за свойствами выщелоченного чернозёма на фонах многолетнего применения минеральных удобрений и без них в севообороте. Приёмы удобрения культур оказывают различное влияние на показатели плодородия: кислотность, гумус и подвижные питательные вещества и как следствие – на продуктивность культур.

Ключевые слова: азотное и фосфорное удобрение, содержание гумуса, подвижных P₂O₅ и K₂O, рН_{KCl}.

Интегральный индикатор плодородия почв – урожайность сельскохозяйственных культур в натуральной величине или в зерновых и энергетических эквивалентах [1]. При этом важно сопоставление данных урожайности культур с тем или иным фактором роста для последующей оценки каждого из факторов по шкале обеспеченности ими растений. Г.С. Липкина [2] и П.Д. Барбалис говорят о достаточно высоком коэффициенте корреляции урожайности с исследованными свойствами почвы (0,606-0,712 для разных культур). Как правило, без внесения удобрений показатели почвенного плодородия ниже оптимальных значений, необходимых для активного роста растений. С помощью минеральных удобрений удаётся улучшить агрохимические свойства почвы и повысить урожайность культур. В.Г. Сычёв с соавторами [3] приводит объём применения минеральных удобрений в России за 2009 г., который равнялся 2378,9 тыс. т д. в. При сопоставлении этой величины с площадью пашни в России становится очевидным отставание среднего количества возврата питательных веществ на гектар посева от их выноса, который выше возврата в 2 раза. В результате по многим элементам питания происходит истощение и ухудшение свойств почвы.

Описывая подходы к мониторингу свойств почвы, многие ученые отмечают их пространственную неоднородность. В этом аспекте важны значимость разной степени неоднородности, которую можно установить по коэффициенту вариации. Есть мнение, что опытный участок можно считать выровненным, если коэффициент вариации величин урожая в пределах повторности не превышает коэффициент вариации урожайности в целом в опыте. В такой ситуации влияние величины вариации по тому или иному агрохимическому свойству почвы на колебания урожайности обычно уменьшается [4].

В связи с уменьшением объемов применения удобрений в ряде регионов заметно возросла площадь посевов с низким содержанием подвижного фосфора. В целом по России в 2010 г. содержание P₂O₅ на пашне было (в %): очень низкое – 5,8, низкое – 16,9, среднее – 36,8, повышенное – 20,6, высокое – 12,7 и очень высокое – 7,2 [5].

В Курганской области доля пашни с очень низким и низким содержанием P₂O₅ составляет 58,2 % [6]. Уменьшение применения фосфорных удобрений приводит к истощению почвы по одному из макроэлементов, снижая при этом уровень эффективности азотных удобрений [7].

Цель исследований – оценить влияние удобрений на продуктивность культур севооборота и плодородие чернозёма на северо-западе Курганской области.

Задачи опыта: 1) выявить роль состава удобрения, доз фосфора и добавления к удобрению соломы пшеницы и ячменя в повышении продуктивности севооборота; 2) изучить влияние разных приёмов удобрения культур на показатели плодородия почвы.

Методика. Исследования состава и доз удобрений под сельскохозяйственные культуры проведены на Шадринском опытном поле Курганского НИИСХ в севообороте: 1 – кукуруза; 2 – пшеница; 3 – ячмень. Стационарный эксперимент

заложен в 1978 г. Опыт проводили А.И. Себянин, В.И. Волынкин, В.П. Новосёлов. Агрохимические свойства тяжелосуглинистого выщелоченного чернозёма: рН_{KCl} 6,5 при закладке и 5,0 в 2009 г., среднее содержание гумуса на фоне без удобрения 5,37%, подвижных P₂O₅ и K₂O, соответственно, 65-71 и 120-150 мг/кг. В опыте азотное удобрение применяли в средней для 3-польного севооборота дозе N₆₇. Доза складывалась из применения N₁₀₀ под 1-ю культуру – кукурузу, N₄₀ под пшеницу и N₆₀ под ячмень. Обработка почвы – ежегодная вспашка плугом с отвалами на глубину 22-25 см. В опыте высевали районированные в Курганской области сорта и гибриды трёх культур севооборота. Прошло 10 ротаций. Площадь делянок: общая – 288 м², учётная 92 м², повторность опыта 3-кратная.

Результаты и их обсуждение. При сравнении эффективности удобрений на разных опытных полях Курганского НИИСХ, наиболее высоким их действием на продуктивность культур отмечается Шадринское опытное поле. Это объясняется лучшей влагообеспеченностью на северо-западе Курганской области. При этом состав удобрения существенно меняет уровень прибавок урожайности культур. На всех опытных полях чаще одно фосфорное удобрение в севооборотах без пара и бобовых неэффективно, а одно азотное удобрение оказывает среднее или высокое действие в зависимости от наличия подвижного фосфора в почве. В эксперименте на Шадринском опытном поле сложился достаточно хороший фон питания растений фосфором (65-71 мг/кг). Поэтому прирост урожайности первой культуры севооборота – кукурузы – от добавления фосфора к азоту был небольшим (табл. 1).

1. Прибавка урожайности кукурузы, пшеницы и ячменя под влиянием удобрений, ц/га

Вариант опыта	Годы						Среднее	От фосфора
	1978-1982	1983-1987	1988-1992	1993-1997	1998-2002	2003-2007		
<i>Кукуруза (зеленая масса)</i>								
Контроль	286	248	258	230	178	177	230	-
N ₁₀₀	207	174	80	140	130	185	153	-
P ₃₀	15	1	14	1	-10	-9	2	-
N ₁₀₀ +P ₁₅	214	202	109	159	118	189	165	12
N ₁₀₀ +P ₃₀	233	251	111	158	152	174	180	27
N ₁₀₀ +P ₃₀ + солома*	211	242	116	119	135	189	169	16
N ₁₀₀ +P ₄₅	237	212	111	156	126	138	163	10
HCP ₀₅ , ц/га	60	35	27	40	45	38	-	-
<i>Пшеница (зерно)</i>								
Контроль	20,8	25,3	12,6	20,6	16,0	15,9	18,5	-
N ₄₀	15,4	10,1	3,5	7,3	11,8	7,8	9,3	-
P ₃₀	0,1	-0,7	-0,5	-2,3	-1,5	-0,1	-0,8	-
N ₄₀ +P ₁₅	17,3	11,6	5,0	8,5	13,3	9,6	10,9	1,6
N ₄₀ +P ₃₀	17,7	10,4	5,6	10,1	15,5	10,7	11,7	2,4
N ₄₀ +P ₃₀ + солома	18,0	10,4	4,3	9,8	15,1	11,2	11,5	2,2
N ₄₀ +P ₄₅	17,1	10,1	4,0	9,7	13,0	9,2	10,5	1,2
HCP ₀₅ , ц/га	2,7	1,9	1,5	1,8	3,1	2,3	-	-
<i>Ячмень (зерно)</i>								
Контроль	15,6	14,0	14,0	18,4	13,4	16,4	15,3	-
N ₆₀	16,6	8,2	4,8	7,0	10,2	11,7	9,8	-
P ₃₀	-1,2	-1,0	-0,1	-1,6	-1,6	0,3	-0,9	-
N ₄₀ +P ₁₅	16,1	6,5	6,6	8,7	11,5	15,3	10,8	1,0
N ₆₀ +P ₃₀	15,7	7,6	7,6	10,0	13,0	16,1	11,7	1,9
N ₆₀ +P ₃₀ + солома	14,4	8,0	7,7	9,0	12,8	14,7	11,1	1,3
N ₆₀ +P ₄₅	14,8	8,6	7,2	7,5	12,2	14,1	10,7	0,9
HCP ₀₅ , ц/га	3,1	2,2	1,9	1,7	2,5	2,7	2,1	-

На зерновых культурах эффективность добавления фосфора к азоту выше. Например, на посевах пшеницы прибавка от одного азотного удобрения N_{40} в среднем составляла 9,3 ц/га, а при совмещении с P_{30} – 11,7 ц/га (см. табл. 1). Такой уровень дополнительного урожая обеспечил высокую окупаемость 1 кг азота – 23 кг зерна при внесении одного азота. С применением азотно-фосфорного удобрения $N_{40}P_{30}$, где прирост равен 11,7 ц/га зерна, оплата 1 кг д. в. удобрений была тоже высокой – 16,7 кг пшеницы. Очевидно, что дозы P_{15-30} оптимальны, так как при дальнейшем их повышении эффективность сохранялась или уменьшалась, а окупаемость всегда снижалась.

На посевах ячменя также основная доля прироста от удобрений получена от азотного удобрения: в вариантах N_{60} и $N_{60}P_{30}$ урожайность возрастала на 9,8 и 11,7 ц/га (см. табл. 1). Прибавка урожайности ячменя существенно колебалась по годам в зависимости от погодных условий. При благоприятной погоде прирост составлял 12-16 ц/га, при повторении засух – 5-7 ц/га. Здесь хорошая оплата удобрения – 16,3 кг зерна при внесении N_{60} и 13 кг в варианте $N_{60}P_{30}$. Повышение дозы фосфора с P_{15-30} до P_{45} на ячмене нецелесообразно.

Суммарный по севообороту сбор кормовых единиц минеральные удобрения почти удваивали. Это достигалось в основном применением азотного удобрения. Общий дополнительный сбор от N_{67} – 68 ц/га к.е., а от $N_{67}P_{30}$ – 77 ц/га (табл. 2).

2. Дополнительный сбор кормовых единиц в севообороте, ц/га (в среднем за 1978-2007 гг.)

Вариант опыта	Кукуруза	Пшеница с соломой	Ячмень с соломой	Всего	От удобрений	От фосфора
Контроль	51	27,9	26,1	105	-	-
N_{67}	37	14,1	16,7	173	68	-
P_{30}	0,4	-1,2	-1,6	102	-3	-
$N_{67}+P_{15}$	36	16,1	18,4	175	70	2
$N_{67}+P_{30}$	40	17,3	19,9	182	77	9
$N_{67}+P_{30} +$ солома	37	17,3	18,9	177	72	4
$N_{67}+P_{45}$	36	15,4	18,2	173	68	-
$N_{67}P_{45}+(K_{120} -$ 1-е поле)	41	17,2	21,7	185	80	12

Добавление пшеничной и ячменной соломы к азотно-фосфорному удобрению не сопровождалось повышением урожайности культур севооборота.

На посевах кукурузы на 1 кг азота приходилось дополнительно 37 кг к. е. (прибавка 37 ц/га к. е.: 100 кг/га азота), 35 на пшенице и 28 кг к. е. на ячмене. В азотно-фосфорном удобрении $N_{67}P_{30}$ окупаемость составила 31 кг к. е./кг д. в. на кукурузе, 25 – на посевах пшеницы и 22 к. е./кг д. в. на ячмене.

В опыте есть вариант полного минерального удобрения, но он имел преимущество в годы с лучшим увлажнением в 1-й половине вегетации. Например, в 1990 г. урожайность зелёной массы кукурузы на контроле составила 371 ц/га, в варианте $N_{67}P_{45}$ – 426 и при внесении $N_{67}P_{45}K_{120}$ – 649 ц/га, т. е. прибавка от калия равна 223 ц/га зелёной массы. Ещё за шесть разных лет прирост от добавления калия был достаточно высоким: 75-118 ц/га зелёной массы. В среднем за все годы при выявлении роли калийного удобрения на посевах кукурузы получено 5 ц/га к. е., на пшенице 1,8 и ячмене 3,5 ц/га к. е. (см. табл. 4).

Кроме агрономической и экономической оценок результатов учёта урожая важен экологический аспект применения удобрений, а именно их влияние на свойства почвы. Содержание органического вещества в слое почвы 0-20 см было довольно разнообразным по ярусам опыта. При 20 вариантах в схеме опыта на одно повторение приходится 3 контрольные делянки. Получается, что в трёх повторениях на каждом ярусе опыта размещено 9 контролей, пестрота показаний по которым выражалась коэффициентами вариации (V): 5,5% для яруса 1 и 8,1% для яруса 2. Больше пестроты было на ярусе 3,

где V для содержания гумуса составил 15,9%. Среднее по контролям содержание гумуса 5,37%.

О влиянии многолетнего применения минеральных удобрений на накопление гумуса говорят данные подробных (на каждой делянке) обследований почвы в 2007, 2011 и 2012 гг. На удобряемых в течение 30 лет фонах в системе ежегодной вспашки в зернопропашном севообороте содержание гумуса чаще было близким к контролю (табл. 3).

3. Содержание гумуса в слое почвы 0-20 см, %

Вариант опыта	Ярус 1 (2011 г.)	Ярус 2 (2012 г.)	Ярус 3 (2007 г.)	Среднее
Контроль	6,02	5,44	4,65	5,37
N_{67}	5,73	5,34	4,60	5,22
P_{30}	5,90	4,74	4,09	4,91
$N_{67}+P_{15}$	5,59	5,46	4,56	5,20
$N_{67}+P_{30}$	6,24	5,27	4,57	5,36
$N_{67}+P_{30}+солома$	6,24	5,40	4,77	5,47
$N_{67}+P_{45}$	6,07	5,20	4,59	5,29
HCP ₀₅	0,52	0,63	0,52	-

Исключением был вариант одностороннего применения P_{30} , здесь содержания гумуса снизилось до 4,91%. Кроме того, проявилась тенденция к снижению этого важного показателя в вариантах N_{67} и $N_{67}P_{15}$, а также к его повышению в варианте $N_{67}P_{30}$ с добавлением соломы. Накопление подвижного P_2O_5 в слое почвы 0-20 см отмечено во всех вариантах с внесением фосфорного удобрения (табл. 4).

4. Содержание P_2O_5 и K_2O в слое почвы 0-20 см, мг/кг

Вариант опыта	Ярус 1 (2011 г.)	Ярус 2 (2012 г.)	Ярус 3 (2007 г.)	Среднее
Контроль	67/157	65/183	71/113	68/151
N_{67}	52/142	47/175	54/100	51/139
P_{30}	124/161	165/199	129/108	139/156
$N_{67}+P_{15}$	63/129	58/155	60/106	60/130
$N_{67}+P_{30}$	94/127	76/143	84/91	85/120
$N_{67}+P_{30}+солома$	106/142	80/155	111/91	99/129
$N_{67}+P_{45}$	111/127	101/167	102/96	105/130
HCP ₀₅	38/31	24/24	18/19	-

Примечание. В числителе P_2O_5 , в знаменателе K_2O .

Отчётливо просматривается роль дозы удобрения и степени влияния варианта на урожайность культур, а следовательно, на величину выноса этого элемента растениями. Больше всего накоплено в почве подвижного P_2O_5 в варианте P_{30} без азота, где его использование растениями было минимальным, поскольку не отмечено положительного действия на урожайность культур.

Наибольшее содержание K_2O в почве наблюдалось на контроле и при внесении одного фосфора, где урожайность и, очевидно, вынос калия ниже, чем на фонах с азотом и азотно-фосфорным удобрением.

Влияние удобрений на кислотность почвы невелико по сравнению с действием временного фактора, который повысил кислотность, начиная с 80-х годов XX в., изменив величину pH_{KCl} с 6,5 до 5,17. Наибольшее подкисление от удобрений отмечено в варианте $N_{67}P_{30}$ (табл. 5).

5. Кислотность (pH_{KCl}) выщелоченного чернозема на опытном участке в слое почвы 0-20 см

Вариант опыта	Ярус 1 (2011 г.)	Ярус 2 (2012 г.)	Ярус 3 (2007 г.)	Среднее
Контроль	5,14	5,23	5,14	5,17
N_{67}	4,97	5,05	4,99	5,00
P_{30}	5,19	5,26	5,15	5,20
$N_{67}+P_{15}$	5,01	5,06	4,98	5,02
$N_{67}+P_{30}$	4,88	5,09	4,95	4,97
$N_{67}+P_{30}+солома$	5,00	5,06	4,94	5,00
$N_{67}+P_{45}$	5,08	5,06	5,11	5,08
HCP ₀₅	0,10	0,19	0,16	-

Определение гидролитической кислотности свидетельствует о том, что применение азотно-фосфорного удобрения в дозах $N_{67}P_{30-45}$ всё-таки способствует увеличению количества

водорода в почвенном поглощающем комплексе и повышению величины H_T с 3-3,2 на контроле до 3,8-4,6 в варианте азотно-фосфорного удобрения.

Выводы. 1. Длительное (в течение 30 лет) применение минеральных удобрений на Шадринском опытном поле оказывало положительное действие на урожайность всех трёх культур зернопропашного севооборота: кукуруза, пшеница, ячмень. 2. Рекомендуемые производству дозы: для кукурузы N_{80-100} , для пшеницы N_{40-50} и для ячменя N_{50-60} . При содержании в слое почвы 0-20 см подвижного P_2O_5 35-50 мг/кг обязательно добавление фосфорного удобрения в дозах P_{15-30} , но и при среднем содержании P_2O_5 – 55-60 мг/кг – фосфорное удобрение оказывало положительное действие на урожайность культур. Добавление соломы к азотно-фосфорному удобрению не влияло на урожайность культур. 3. Агрохимические свойства почвы при рекомендуемых производствах дозах удобрения $N_{67}P_{15-30}$ сохранялись или улучшались. Можно отметить тенденцию к снижению содержания гумуса при малой дозе фосфора P_{15} с азотным удобрением. Тенденция к повышению содержания гумуса проявилась в варианте с добавлением соломы к азотно-фосфорному удобрению. По содержанию подвижных питательных веществ на фоне вариан-

тов с дозой P_{30} наблюдалось обогащение почвы подвижным P_2O_5 до 85-139 мг/кг при 68 мг/кг на контроле. Отмечено небольшое снижение содержания K_2O на удобряемых фонах по сравнению с контролем – на 20-30 мг/кг. Влияние удобрений на кислотность почвы выразилось в её повышении.

Литература

1. Чертова Т.С. Всероссийское агрономическое совещание// Защита и карантин растений. - 2014.- №3.- С. 3-6.
2. Липкина Г.С. Связь урожая сельскохозяйственных культур с агрохимическими свойствами почв и удобрениями. - М., 1975.- 41 с.
3. Державин Л.М., Фрид А.С. Научно-методические принципы комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения// Агрохимия.- 2012.- №2.- С.3-11.
4. Витковская С.Е., Изосимова А.А., Лекомцев П.В. Оценка пространственной неоднородности агрохимических параметров почвы в пределах делянки полевого опыта// Агрохимия.-2010.- №3.- С. 75-82.
5. Сычёв В.Г., Лунёв М.И., Павличина А.В. Современное состояние и динамика плодородия пахотных почв России// Плодородие.- 2012.- №4.- С. 5-7.
6. Лысухин В.Я. Отчёт агрохимической станции ФГУ ГСАС. 2010.
7. Волюнкин В.И., Волюнкина О.В. Эффективность применения суперфосфата при различной обеспеченности фосфором культур зернопарового севооборота в Курганской лесостепи// Агрохимия.- 2012.- №6.- С. 38-44.

EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS ON THE YIELD OF CROPS AND THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF LEACHED CHERNOZEM

V.I. Volynkin, A. N. Kopylov, O.V. Volynkina, Kurgan Research Institute of Agriculture Sadovoe, Ketovo raion, Kurgan oblast, 641325 Russia, E-mail: kniish@ketovo.zaural.ru

The properties of leached chernozem under the long-term application of mineral fertilizers in the corn-wheat-barley crop rotation have been analyzed. Methods of fertilizing have different effects on the following fertility parameters: pH, humus, mobile nutrients, and, hence, crop productivity.

Keywords: nitrogen and phosphate fertilizers, humus content, mobile P_2O_5 and K_2O , pH_{KCl} .