

УДК 631.82:631.41

## **ВЛИЯНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ НА ОКУПАЕМОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИБАВКОЙ УРОЖАЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

**С.А. Шафран, д.с.-х.н., И.В. Ильюшенко, к.б.н., Е.С. Козенчева, к.б.н., ВНИИА  
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия E-mail: [shafran38@mail.ru](mailto:shafran38@mail.ru)**

*Отражены результаты обобщения многочисленных полевых опытов, проведенных агрохимической службой России, по изучению эффективности применения минеральных удобрений под сахарную свеклу в основных зонах ее возделывания. Показано, что на действие минеральных удобрений на прибавку урожая и их окупаемость этой прибавкой влияют различные факторы. Среди них основополагающими являются генетические свойства почвы, их географическое положение и агрохимические показатели. На окупаемость азотных удобрений основное влияние оказало содержание доступных форм азота в почвах, фосфорных - степень обеспеченности их подвижным фосфором. Действие калийных удобрений мало зависело от агрохимических свойств, основное влияние на их эффективность оказали дозы калия и природно-климатические зоны. При существующем соотношении цен на минеральные удобрения и сахарную свеклу экономически оправданного их применения следует ожидать при дифференцированном подходе к выбору доз и форм удобрений с учетом приведенных результатов.*

*Ключевые слова: сахарная свекла, азотные, фосфорные и калийные удобрения, окупаемость, эффективность.*

**DOI:** 10.25680/S19948603.2018.101.01

Сахарная свекла по своим биологическим свойствам более отзывчива на применение минеральных удобрений по сравнению с другими культурами. В настоящее время под сахарную свеклу, в среднем по России на каждый гектар посевной площади, вносят в несколько раз больше удобрений, чем под другие культуры. В среднем за 2011-2015 гг. было внесено NPK 224 кг/га, тогда как под зерновые культуры - только 27 кг/га. Это позволило в последние годы получить достаточно высокий урожай сахарной свеклы: в 2011-2015 гг. 400 ц/га, в 2016 г. - 470 ц/га. Вместе с тем, следует отметить, что цены на сахар на внутреннем рынке России в 2016-2017 гг. снизились на 20%, что повлекло снижение закупочных цен на корнеплоды (сырье) [1], а это диктует необходимость сокращения затрат на их производство. Одним из наиболее эффективных способов, способствующих снижению себестоимости возделывания сахарной свеклы, является применение удобрений. По данным ЦИНАО, в годы интенсивной химизации в среднем по СССР внесение минеральных удобрений позволило на 28% уменьшить себестоимость и на 34% - прямые затраты труда на возделывание данной культуры [2].

В настоящее время значительно изменилось соотношение цен на минеральные удобрения и сельскохозяйственную продукцию не в пользу последней. В связи с этим необходим поиск путей для более рационального применения минеральных удобрений. Один из таких способов - дифференцированное внесение удобрений с учетом агрохимических свойств почв. Для этого необходима научно обоснованная нормативно-справочная база информации, которая к настоящему времени разработана только для зерновых культур, картофеля и льна-долгунца [3-5].

Цель наших исследований - изучить эффективность применения минеральных удобрений под сахарную

свеклу в зависимости от основных агрохимических свойств почв и оценить их окупаемость.

**Методика.** Научной основой для проведения исследований послужили результаты полевых опытов агрохимической службы, в которых изучали эффективность применения азотных, фосфорных и калийных удобрений под сахарную свеклу в основных зонах ее возделывания. Обобщение экспериментальных данных проводили с помощью метода математического моделирования. В выборки включали варианты, где схемой опыта предусматривалось вычленение действия азотных удобрений на фоне РК, фосфорных на фоне НК и калийных на фоне НР. В результате была сформирована достаточно представительная выборка с большим диапазоном варьирования агрохимических показателей, позволяющих охватить широкий спектр ситуаций, которые могут встречаться в условиях производства. Для выявления влияния азотных удобрений на прибавку урожая сахарной свеклы выбраны опыты, в которых изучали эффективность возрастающих доз азота и определяли содержание доступных форм азота в почвах: нитратного, щелочно-гидролизуемого (по Корнфилду), легкогидролизуемого (по Тюрину-Кононовой) и нитрификационную способность (по Кравкову). Наряду с этим при статистической обработке данных учитывали также и другие агрохимические свойства почв, которые регулярно контролируются агрохимической службой и каждое сельскохозяйственное предприятие располагает такой информацией. К ним относятся реакция почвенной среды, содержание гумуса и подвижных форм фосфора и калия в почвах. Аналогично поступали при изучении эффективности фосфорных и калийных удобрений.

Агрохимические свойства почв определяли стандартными методами, применяемыми в агрохимической

службе России: реакцию почвенной среды – в солевой вытяжке, содержание подвижных форм фосфора и калия в черноземах выщелоченных, типичных и обыкновенных - по методу Чирикова, в черноземах карбонатных - по методу Мачигина, содержание гумуса - по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. Выборки формировали по федеральным округам и внутри них по типам и подтипам почв.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты статистической обработки экспериментальных данных показали, что агрохимические свойства оказывали различное влияние на эффективность минеральных удобрений. Содержание гумуса в почвах практически не влияло на действие азотных удобрений, реакция почвенной среды также не оказывала существенного воздействия на изменение урожайности сахарной свеклы от внесения азота. Подобная закономерность выявлена и в отношении степени обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия, тогда как связь между содержанием доступных форм азота и прибавкой урожая сахарной свеклы оказалась существенной, она характеризовалась корреляционным отношением 0,43-0,82 и была достоверной при уровне значимости 0,001.

Проведенные расчеты показали, что прибавка урожая сахарной свеклы закономерно снижалась по мере увеличения содержания доступных форм азота на всех рассмотренных почвенных разновидностях. Окупаемость азотных удобрений также при этом уменьшилась. В отдельных случаях разница в окупаемости каждого внесенного килограмма азотного удобрения в зависимости от содержания доступных форм азота достигла почти двукратной величины (табл.1). Такая картина наблюдалась на черноземах карбонатных, обыкновенных и выщелоченных Сибири.

**1. Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая сахарной свеклы в зависимости от содержания доступных форм азота в почвах, кг/кг**

Содержание азота в почвах, мг/кг	Дозы азота, кг/га				
	60	90	120	150	180
<b>Центральный федеральный округ</b>					
<i>Чернозем выщелоченный (метод Корнфилда)</i>					
≤ 100	23	28	26	23	21
101-150	19	23	24	22	19
151-200	16	24	23	21	19
> 200	15	23	22	20	18
<i>Чернозем типичный (метод Корнфилда)</i>					
≤ 100	38	29	23	19	17
101-150	32	25	20	17	15
151-200	30	24	19	16	14
> 200	27	22	18	15	13
<i>Чернозем обыкновенный (метод Тюрина-Кононовой)</i>					
≤ 40	46	38	31	26	23
41-50	45	31	26	22	19
51-70	29	23	20	18	15
<b>Южный федеральный округ</b>					
<i>Чернозем карбонатный (метод Кравкова)</i>					
≤ 5,0	-	80	76	-	-
5,1-8,0	-	60	56	-	-
8,1-15,0	-	53	50	-	-
>15,0	-	7	6	-	-
<b>Сибирский федеральный округ</b>					
<i>Чернозем выщелоченный (нитритный азот)</i>					
≤ 5,0	18	42	48	-	-
5,1-15,0	10	23	27	-	-
>15,0	7	16	18	-	-

Результаты статистической обработки экспериментальных данных, показали, что агрохимические свойства почв оказывали различное влияние на эффектив-

ность фосфорных удобрений. Достоверно значимые связи выявлены между содержанием подвижного фосфора и прибавкой урожайности от фосфорных удобрений на всех рассмотренных почвенных разновидностях. Эта связь имела, как правило, нелинейный характер и характеризовалась корреляционным отношением от 0,31 до 0,80, а между дозами и прибавкой урожайности от 0,45 до 0,83. Влияние почвенной среды было неустойчивым. Из семи выборок только в двух выявилась некоторая связь между величиной pH и прибавкой урожая от фосфорных удобрений. Аналогичная картина наблюдалась и в отношении содержания гумуса и подвижного калия в почве. Коэффициенты корреляции и корреляционных отношений указывали на слабую сопряженность между признаками, что делает сомнительным получение объективной информации. Исходя из полученных данных видно, что содержание подвижного фосфора в черноземных почвах оказало наиболее существенное влияние на эффективность фосфорных удобрений по сравнению с другими агрохимическими свойствами. На всех подтипах черноземных почв с увеличением содержания  $P_2O_5$  снижалась прибавка урожайности от внесения фосфорных удобрений. Однако, это проявилось в значительно меньшей степени по сравнению с зерновыми культурами. Соответственно изменялась и окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожая (табл. 2).

**2. Окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожая сахарной свеклы в зависимости от содержания подвижного фосфора в почвах, кг/кг**

Содержание $P_2O_5$ , мг/кг	Дозы $P_2O_5$ , кг/га				
	60	90	120	150	180
<b>Центральный федеральный округ</b>					
<i>Чернозем выщелоченный</i>					
≤ 50	33	29	23	-	17
51-100	28	26	21	-	16
101-150	27	23	20	-	15
151-200	25	23	19	-	14
> 200	25	22	19	-	14
<i>Чернозем типичный</i>					
≤ 100	42	30	23	-	16
101-150	37	27	21	-	14
> 150	33	24	19	-	11
<i>Чернозем обыкновенный</i>					
≤ 100	48	35	27	-	18
101-150	47	33	26	-	18
> 150	45	32	25	-	17
<b>Южный федеральный округ</b>					
<i>Чернозем карбонатный</i>					
10-15	73	46	-	-	-
16-30	70	43	-	-	-
<b>Приволжский федеральный округ</b>					
<i>Чернозем выщелоченный</i>					
≤ 100	52	43	38	31	-
101-150	47	40	33	29	-
> 150	43	38	33	27	-
<b>Сибирский федеральный округ</b>					
<i>Чернозем выщелоченный</i>					
101-150	38	27	22	-	21
151-250	37	26	21	-	21
> 250	15	10	8	-	8
<i>Чернозем обыкновенный</i>					
101-150	8	26	21	-	17
151-250	7	21	17	-	13
> 250	3	11	9	-	9

Кроме того, оплата фосфорных удобрений прибавкой урожая сахарной свеклы варьировала в широких пределах, вызванных генетическими особенностями почв, географическим расположением и дозами фосфо-

ра. Наиболее высокая окупаемость отмечена при дозе фосфорных удобрений 60 кг/га на черноземах карбонатных и выщелоченных Приволжья. Увеличение доз практически повсеместно влекло за собой снижение отдачи от внесения фосфорных удобрений. В ряде случаев это снижение достигало двукратной величины, что было особенно заметно там, где выборка охватывала более широкий диапазон доз и, где в выборке имелись данные по очень высокому содержанию подвижного фосфора (черноземы выщелоченные Сибири).

Среди сельскохозяйственных культур сахарная свекла по отзывчивости на калийные удобрения занимает особое место. Она превосходит не только зерновые культуры, но также картофель и лен-долгунец. Обобщение большого количества экспериментального материала свидетельствует, что эффективность применения калийных удобрений зависит от многих факторов, однако основополагающим из них являются природно-климатические зоны. В целом по лесостепной зоне прибавка урожая сахарной свеклы от калийных удобрений в 2,2-3,1 раза выше по сравнению со степной [6]. Вместе с тем, статистическая обработка данных показала, что зависимость между содержанием подвижного калия и прибавкой урожая сахарной свеклы от калийных удобрений была неустойчивой и слабой по тесноте. Только в двух из семи рассмотренных случаев корреляционные отношения превышали 0,3.

В ряде случаев такие факторы как pH, содержание гумуса и подвижного фосфора значимо коррелировали с величиной прироста урожая от калийных удобрений. Однако, вклад этих факторов оказался незначительным. Разница в прибавке урожая от снижения степени кислотности от близкой к нейтральной до нейтральной и при увеличении содержания гумуса с 4 до 6 % и более составила 1 ц/га. Это позволяет сделать вывод о том, что эффективность калийных удобрений мало изменяется в зависимости от степени обеспеченности почв подвижным калием и гумусом. Более существенный вклад в прибавку урожая сахарной свеклы оказывали дозы калия.

Теснота связи между приростом урожая сахарной свеклы и дозой калия характеризовалась как средняя ( $\eta = 0,3-0,54$ ) при уровне значимости 0,001%. Расчеты показали, что с увеличением доз существенно возрастала прибавка от калийных удобрений. Наибольшая эффективность отмечена на черноземах выщелоченных и типичных Центрального округа, черноземах выщелоченных Приволжья и на черноземах типичных Сибири (табл.3). Разница при этом была внушительной. На черноземах типичных от внесения 90 кг/га калия на каждый кг  $K_2O$  было получено 48 кг корнеплодов, тогда как на черноземах Сибири только 18-23 кг.

### 3. Окупаемость калийных удобрений прибавкой урожая сахарной свеклы на различных почвах, кг/кг

Чернозем	Дозы $K_2O$ , кг/га				
	60	90	120	150	180
<i>Центральный федеральный округ</i>					
Выщелоченный	60	44	35	29	24
Типичный	62	48	42	35	31
Обыкновенный	28	22	18	15	13
<i>Приволжский федеральный округ</i>					
Выщелоченный	58	42	-	25	-
<i>Сибирский федеральный округ</i>					
Выщелоченный	5	18	23	-	16
Обыкновенный	-	23	-	-	-

Согласно нашим расчетам, исходя из цен на минеральные удобрения и сахарную свеклу, сложившихся на конец 2017 г., граница окупаемости аммиачной селитры составила 31 кг/кг, карбамида 23, аммофоса 25 и хлористого калия 22 кг/кг. Сопоставление этих величин с данными, представленными в таблице 1, свидетельствует, что затраты на применение аммиачной селитры могут окупиться стоимостью прибавки урожая на черноземах типичных в дозе 60 кг/га при содержании щелочно-гидролизующего азота менее 150 кг/кг, на черноземах обыкновенных также в дозе 60 кг/га, но при содержании легкогидролизующего азота менее 50 мг/кг, а в дозе 90 кг/га при обеспеченности азотом менее 40 мг/кг, на выщелоченных черноземах Сибири при содержании нитратного азота до 5 мг/кг в дозах 90-120 кг/га, на карбонатных черноземах при содержании нитратного азота (по Кравкову) менее 15 мг/кг. В связи с тем, что граница окупаемости карбамида значительно ниже по сравнению с аммиачной селитрой его применение экономически оправдано в более широком диапазоне.

Применение аммофоса наиболее эффективно с экономической точки зрения в дозах 60-90 кг/га практически во всех представленных вариантах, и в отдельных случаях в дозе 120 кг/га (см. табл.2).

Затраты на применение хлористого калия могут окупиться прибавкой урожая сахарной свеклы в дозах 60-120 кг/га на черноземах выщелоченных Центрального и Приволжского округов и черноземах типичных Приволжья (см. табл. 3).

**Заключение.** Результаты исследований показали, что на эффективность применения минеральных удобрений влияют различные факторы, среди них основополагающими являются генетические свойства почв, их географическое расположение и агрохимические свойства, из которых на окупаемость азотных удобрений основное влияние оказало содержание доступных форм азота в почвах, фосфорных – степень их обеспеченности подвижным фосфором. Действие калийных удобрений мало зависело от агрохимических свойств почв, основное влияние на эффективность оказывали дозы  $K_2O$  и природно-климатическая зона.

При существующем соотношении цен на минеральные удобрения и сахарную свеклу экономически оправданного применения минеральных удобрений можно ожидать в дифференцированном подходе к выбору их доз и форм. Азотные удобрения следует вносить с учетом содержания доступных форм азота в почвах, фосфора – степени обеспеченности почв подвижным фосфором, калийных – согласно почвенным разновидностям.

#### Литература

1. Сидок М.В. Мировой рынок сахара в сезоне 2016-2017 г. и его перспективы// Сахар. - 2016. - №12. - С.12-14.
2. Захаренко В.А. Ртищева И.М. Методика оценки влияния химизации сельского хозяйства на экономические показатели сельскохозяйственного производства/ Сб. Повышение экономической эффективности применения минеральных удобрений. - М.: ЦИНАО, 1991. - С.44-53.
3. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. - М.: ВНИИА, 2016. - 36 с.
4. Прогнозная оценка окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая картофеля в зависимости от агрохимических свойств почв. - М.: ВНИИА, 2014. - 80 с.
5. Система оценки влияния агрохимических факторов на формирование урожайности льна-долгунца. - М.: ВНИИА, 2016. - 124 с.
6. Державин Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. - М.: Колос, 1992. - 272 с.

# INFLUENCE OF AGROCHEMICAL SOIL PROPERTIES ON THE PAYBACK OF MINERAL FERTILIZERS BY THE EXTRA YIELD OF SUGAR BEET

S.A. Schafran, I.V. Ilyushenko E.S. Kozeicheva, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry,  
Pryanishnikova ul. 31A, 127550 Moscow, Russia, E-mail: shafran38@mail.ru

The results of the generalization of numerous field experiments, which are carried out by the Russian Agrochemical Service to study the effectiveness of the application of mineral fertilizers for sugar beet in the main areas of its cultivation, are reflected. The results of the research indicate that the effect of mineral fertilizers on the amount of crop increment and on their return on this increment includes various factors, among which the fundamental ones are: genetic properties of the soil, its geographical position and agrochemical properties. The payback of nitrogen fertilizers was mainly influenced by the content of available forms of nitrogen in the soils, phosphorus – the degree of availability of soil mobile phosphorus. The effect of potassium fertilizers depended a little on agrochemical properties, mainly, their effectiveness was provided by potassium doses and natural climatic zones. Keeping in mind the existing ratio between prices for mineral fertilizers and sugar beets, one should expect an economically justified use of former only under conditions of differentiated choice of fertilizer doses and forms and taking into account the obtained results of our study.

Key words: sugar beet, nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers, payback, efficiency

УДК 631.82

## БАЛАНС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

В.М. Красницкий, д.с.-х.н., А.Г. Шмидт, А.А. Цырк, ЦАС «Омский»

Проведен анализ многолетних данных баланса NPK в земледелии Омской области за 1966-2016 гг. Предложен ряд мероприятий по увеличению интенсивности баланса основных элементов питания. Рассчитана интенсивность баланса элементов питания в почве и выявлены негативные процессы в земледелии Омской области, влияющие на плодородие почв пашни.

Ключевые слова: плодородие почв, удобрения, баланс элементов питания, солома.

DOI: 10.25680/S19948603.2018.101.02

Хозяйственная деятельность в земледелии оказывает многостороннее воздействие на процессы, происходящие в почве. Длительное возделывание сельскохозяйственных культур без мероприятий, поддерживающих плодородие почв, в итоге приводит к деградации земель.

Очень низкие объемы применения минеральных удобрений, снижение использования органических, эрозия почв, прекращение гипсования, известкования и других приемов, поддерживающих плодородие почв, крайне негативно сказываются на сельскохозяйственном производстве.

Баланс элементов питания - один из основных показателей направленности процессов сохранения плодородия почв. Он складывается из его приходной части, которая подразумевает возвращение элементов питания с удобрениями, бобовыми культурами, атмосферными осадками, семенами, а также в результате азотфиксации свободноживущими микроорганизмами.

Расходная часть баланса основана на выносе питательных веществ растениями с урожаем основной и побочной продукции, сорняками. Вынос может дополняться и другими потерями (из-за водной и ветровой эрозии, вымывания в грунтовые воды и т.д.).

Нарушение баланса биогенных элементов в земледелии ведет не только к уменьшению производства продукции и ухудшению ее качества, но и к снижению устойчивости агроландшафтов. В этой связи научно обоснованная компенсация дефицита питательных веществ применением органических и минеральных удобрений должна рассматриваться как экологически обусловленная задача.

В Омской области земледелие длительное время ведется с отрицательным балансом элементов питания. В первые годы химизации земледелия (1965-1970) дефицит баланса элементов питания составлял в среднем – 51 кг/га (табл.). За это время было внесено по 2,3 кг д.в/га минеральных удобрений и 0,6 т/га органических.

Баланс NPK в земледелии Омской области, кг/га

Годы	Приход				Расход				Баланс +/-			
	Всего	N	P	K	Всего	N	P	K	Всего	N	P	K
1966-1970	9,4	3,5	2,5	2,4	60,5	32,1	9,8	18,6	-51,1	-28,6	-7,3	-15,6
1971-1975	18,9	7,0	6,2	5,7	76,5	40,6	12,4	23,5	-57,6	-33,6	-6,2	-17,8
1976-1980	37,7	10,5	13,0	10,7	67,0	35,6	10,8	20,6	-29,3	-25,1	+2,2	-9,9
1981-1985	58,8	23,4	20,2	15,2	75,9	40,3	12,3	23,3	-17,1	-16,9	+7,9	-8,1
1986-1990	67,6	27,9	26,3	13,3	78,9	41,9	12,8	24,2	-11,4	-14,0	+13,5	-10,9
1991-1995	20,7	8,0	5,8	6,4	81,2	43,2	13,1	24,9	-61,0	-35,2	-7,3	-18,5
1996-2000	30,6	10,4	5,3	14,9	95,8	49,2	17,6	29,0	-65,2	-38,8	-12,3	-14,1
2001-2005	25,2	16,1	4,0	5,1	83,1	40,9	14,5	27,7	-75,9	-22,6	-10,5	-24,8
2006-2010	27,1	14,6	4,1	8,4	82,5	36,4	14,0	32,1	-55,4	-21,8	-9,9	-23,7
2011-2015	20,6	13,6	2,3	4,7	76,1	33,2	11,2	31,7	-55,5	-19,6	-8,9	-27,0
2016	23,3	14,6	2,9	5,8	81,1	35,1	12,0	34,0	-57,8	-20,5	-9,1	-28,2