

# Действие и последствие калийных удобрений в Западной Сибири

Якименко В.Н. и Нечаева Т.В.

Калий относится к важнейшим элементам минерального питания растений, его вынос урожаем всегда больше, чем фосфора, а часто и азота. Благоприятный режим калия в агроценозах является одним из обязательных условий их эффективного функционирования. Тем не менее, использование калийных удобрений в земледелии Западной Сибири перманентно находится на минимальном уровне; даже в период наибольших масштабов химизации (1981-90 гг.) средняя доза их внесения в регионе не превышала 5 кг/га. В настоящее время калийные удобрения практически не применяются – при средней по региону дозе вносимых туков около 5 кг/га доля калия в общей структуре составляет 2-3%.

Оправданием для невнимания к режиму калия в агроценозах всегда служило, как правило, высокое валовое содержание этого элемента в основных пахотных почвах, с одной стороны, и слабый эффект от вносимых калийных удобрений в ряде проведенных опытов, с другой. Выполненный нами анализ региональных работ (Якименко, 2003; Якименко и Носов, 2012), свидетельствующих об отсутствии или низкой эффективности внесения калия, показал, что большинство опытов были краткосрочными, а дозы удобрений и урожайность – невысокими. Чаще всего выращивалась пшеница. Сделанные при таких условиях выводы о нецелесообразности использования калия являются, очевидно, недостаточно обоснованными. Учитывая постоянно нарастающее истощение пахотных почв в отношении калия, изучение их калийного состояния в связи с урожайностью выращиваемых культур, корректировка методов и градаций оценки обеспеченности почв этим элементом в настоящее время весьма актуальны.

В этой связи с 1988 г. нами проводятся опыты по изучению влияния баланса калия в агроценозах на калийное состояние различных зональных почв и продуктивность культур. Выращивались различные овощные и зерновые культуры в севооборотах, а также картофель и кукуруза на силос в монокультурах. Схе-

ма опытов, дозы вносимых минеральных удобрений и урожайность культур показаны нами ранее (Якименко, 2003). Максимальная эффективность калийных удобрений (на фоне NP) отмечалась на картофеле и кукурузе – урожайность увеличивалась в 1.5-2.4 раза по сравнению с фоном. При применении калийных удобрений их наибольшая агрономическая эффективность или окупаемость была получена при использовании относительно невысоких доз (30-75 кг  $K_2O$ /га в зависимости от культуры): яровая пшеница – 4 кг зерна, яровой ячмень – 6 кг зерна, кукуруза – 144 кг зеленой массы, капуста – 42 кг кочанов, томат – 100 кг плодов, лук – 80 кг луковиц, морковь – 175 кг корнеплодов, картофель – 141 кг клубней на кг внесенного калия. По нашим оценкам, применение калийных удобрений (совместно с NP) под яровую пшеницу на зональных почвах Западной Сибири (со средней обеспеченностью этим элементом) в текущих экономических условиях – это исключительно инвестиция в почвенное плодородие и страховка на случай неблагоприятных погодных условий. Так, порог окупаемости хлористого калия прибавкой урожая зерна сейчас составляет более 4.5 кг зерна/кг  $K_2O$  при окупаемости в опытах  $\leq 4.0$  кг зерна/кг  $K_2O$ . Таким образом, в настоящее время экономическую отдачу от калийных удобрений можно гарантированно получить только при возделывании овощных культур и картофеля, тем более, если учитывать не только величину урожая, но и его качество.

В целом, результаты проведенных нами исследований на зональных почвах Западной Сибири показывают, что эффект от внесения калия – почти повсеместно элемента «третьего минимума» (после N и P) отчетливо проявляется при следующих обстоятельствах:

- низкое исходное содержание калия в почве (почвы легкого гранулометрического состава, особенно нечерноземной зоны);
- достаточное обеспечение культур азотом и фосфором (относительные запасы этих элементов в почвах, как правило, ниже, чем калия);
- длительное интенсивное использование почвы при дефицитном балансе калия (рис. 1);
- выращивание калиелюбивых культур (прежде всего картофель, овощи).

Кроме того, литературные данные (Прокошев и Дерюгин, 2000; и др.) и результаты наших опытов свидетельствуют, что оптимальная обеспеченность растений калием существенно повышает их устойчивость к воздействию различных неблагоприятных внешних факторов.

Основанием для неиспользования калийных удобрений зачастую служат относительно высокие запасы калия в подпахотном и нижележащих почвенных слоях. Проведенное нами изучение изменений содержания форм калия по профилю почвы, косвенно сви-

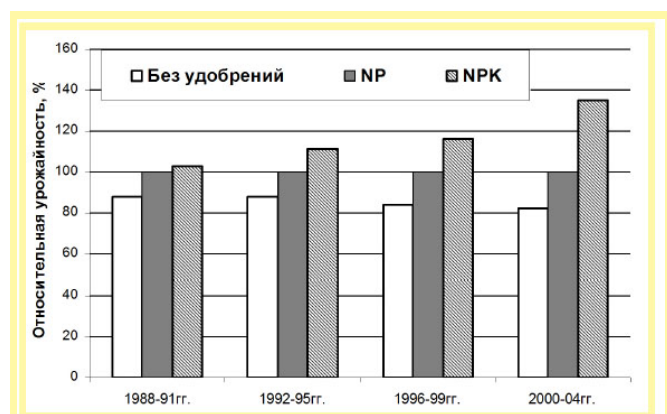
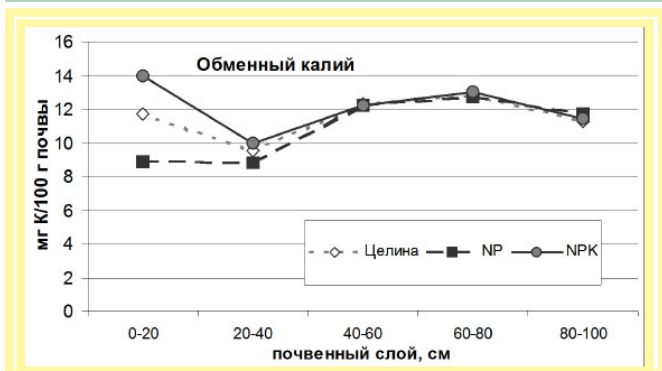


Рис. 1. Изменение относительной продуктивности зернового агроценоза во времени в зависимости от использования минеральных удобрений.



**Рис. 2.** Изменение содержания обменного калия по профилю серой лесной среднесуглинистой почвы в длительном полевом опыте.

детельствующих об участии различных почвенных горизонтов в обеспечении выращиваемых культур этим элементом, показало, что длительный сильнодефицитный баланс калия в агроценозе приводил к существенному снижению содержания его обменной и необменной форм, главным образом в пахотном слое почвы (рис. 2). Имеющиеся внешне неизменные запасы форм калия в нижележащих горизонтах почвы были не в состоянии полноценно компенсировать истощенный калийный фонд пахотного слоя, что отчетливо проявлялось в значительном падении эффективности продукционного процесса сельскохозяйственных культур.

Следовательно, надежды на «неисчерпаемые» запасы калия в почве, как в пахотном слое, так и включая нижележащие горизонты, оказываются не совсем состоятельными, что подтверждает отсутствие альтернативы сбалансированному применению минеральных удобрений.

Об этом свидетельствует и рассчитанный баланс

	Без удобрений	NP	NPK
<b>Овощной агроценоз</b>			
Урожайность, ц к.е./га	1640	1898	2631
Баланс, кг $K_2O$ /га	-1570	-1632	+343
<b>Зерновой агроценоз</b>			
Урожайность, ц к.е./га	1087	1250	1567
Баланс, кг $K_2O$ /га	-1917	-2090	+38

	Легкообменный (0.0025 М $CaCl_2$ )	Обменный (1 М $CH_3COONH_4$ )	Необменный (1 М $HNO_3$ )
<b>Целина</b>			
	1.6	12.0	120
<b>Овощной участок</b>			
Без удобрений	0.4	7.6	95
NP	0.4	7.4	95
NPK	1.6	14.6	142
<b>Зерновой участок</b>			
Без удобрений	0.5	7.8	107
NP	0.4	7.6	102
NPK	1.4	11.3	126

калия в многолетнем полевом опыте (табл. 1). При длительном дефицитном калийном балансе «одностороннее» внесение NP удобрений не способствовало заметной дополнительной мобилизации почвенного калия культурами; его вынос в вариантах контроль и NP был примерно одинаковым.

Баланс калия в агроценозах оказал существенное влияние на калийный статус почвы (табл. 2). Следует отметить, что в данном полевом опыте (с 1988 г) на серой лесной среднесуглинистой почве в вариантах без внесения калийных удобрений (контроль и фон) содержание обменного калия в почве снизилось в течение первых 4-5 лет до стабильного минимального уровня (около 8 мг/100 г), на котором и оставалось всё последующее время, не отражая дальнейшие потери элемента из почвы с выносом урожаями. В определенной, хотя и меньшей, степени это относится и к необменной форме элемента.

О наличии в почве минимального уровня обменного калия свидетельствует ряд работ (Прокошев и Дерюгин, 2000; Якименко, 2003; Никитина, 2012 и др.). Минимальный уровень обменного калия в конкретной почве определяется ее емкостью катионного обмена (ЕКО); для зональных почв нашего региона он составляет 0.8-0.9% от ЕКО в суглинистых разновидностях и 1.0-1.2 – в супесчаных.

Важно подчеркнуть, что зачастую при мониторинге калийного состояния пахотных почв подобная стабильность содержания обменного калия ошибочно оценивается с положительной точки зрения, то есть считается благополучной ситуацией. Однако в действительности стабилизация произошла на минимальном уровне, при котором калий для многих культур, в том числе картофеля, находится в первом минимуме.

Рациональное регулирование калийного состояния пахотных почв в немалой степени зависит от методики его оценки. Следует сказать, что существующая рутинная система почвенной калийной диагностики достаточно несовершенна и не всегда позволяет реально оценить эффективное плодородие почв (Носов и др., 1997; Прокошев и Дерюгин, 2000; Якименко, 2003; 2009). Существенным недостатком используемых при этом градаций является их полная усредненность, безотносительность к важным в отношении калия почвенным свойствам – емкости катионного обмена и гранулометрическому составу.

Для определения почвенного содержания обменного калия – основного показателя калийного состояния почв – в научных исследованиях, как правило, используется вытяжка 1 М раствора ацетата аммония (метод Масловой). В системе отечественной Агрохимслужбы при определении почвенного калия стандартными вытяжками являются 0.2 М HCl (метод Кирсанова) и 0.5 М уксусная кислота (метод Чирикова) соответственно для почв лесной и лесостепной зон. Учитывая важность проводимых работ по массовому агрохимическому обследованию сельскохозяйственных угодий для практического земледелия и насущную необходимость получения реальной картины калийного состояния пахотных почв, эффективное использование результатов почвенных анализов, по-

лученных рутинными методами, имеет большое значение.

В длительных полевых опытах мы провели сравнительную оценку калийного состояния ряда автоморфных почв лесостепи Западной Сибири (серые лесные и черноземы) методами Чирикова и Масловой и на основании сопоставления данных по содержанию калия в почвах и урожайности выращиваемых культур предложили градации обеспеченности почв калием. Небольшой фрагмент данных исследований представлен в **табл. 3**.

Исследования показали, что оба метода, в принципе, отражали как снижение содержания обменного калия в почвах при дефицитном балансе этого элемента в агроценозах, так и его накопление в случае длительного использования повышенных доз калийных удобрений (**табл. 3**). Продуктивность агроценозов при этом изменялась соответствующим образом. Однако были выявлены некоторые особенности используемых методов, способные повлиять на оценку калийного состояния конкретной почвы. Результаты, полученные методом Чирикова, были менее информативны на почвах с относительно истощенным калийным фондом. Метод Масловой четче регистрировал улучшения калийного состояния почвы при внесении невысоких доз удобрений. По некоторым данным (Важенин и Карасева, 1959), методом Масловой извлекается 70% обменного калия почвы независимо от ее свойств и абсолютного значения величины имеющегося калийного запаса. В наших опытах различные почвы, имеющие одинаковое содержание обменного калия по Масловой, значительно отличались друг от друга при оценке по методу Чирикова. Очевидно, что экстрагирующие возможности 0.5 М уксусной кислоты в значительной степени зависят от ЕКО почвы и насыщенности почвенного поглощающего комплекса

(ППК) калием: чем выше ЕКО почвы и чем ниже степень насыщенности ППК этим элементом, тем меньшее относительное количество обменного калия извлекается из почвы методом Чирикова.

Тем не менее, в целом, нет оснований для отказа от применения метода Чирикова при массовых агрохимических обследованиях сельскохозяйственных угодий. Информативность же полученных этим методом результатов определяется корректностью их трактовки и адекватностью используемых градаций обеспеченности.

Как уже отмечалось выше, содержание обменного калия в почвах агроценозов при длительном сильнодефицитном балансе постепенно достигает стабильно низкого («минимального») уровня, существенно лимитирующего продуктивность культур (**табл. 2 и 3**). Заметим, что истощенный по калию чернозем (**табл. 3**) с «минимальным» содержанием обменной формы этого элемента (9-10 мг  $K_2O/100$  г почвы) по стандартным градациям должен быть отнесен к почвам с повышенной обеспеченностью калием. Такая трактовка результатов анализов и создает иллюзию благополучного калийного состояния многих пахотных почв на больших площадях. «Минимальный» уровень обменного калия в почвах разного гранулометрического состава имеет различные абсолютные значения, но в относительных величинах – % от ЕКО – примерно одинаков. Соответствующим образом можно сопоставить и уровни обменного калия в почвах, обеспечивающие благоприятные условия калийного питания растений. Универсальные градации обеспеченности калием различных автоморфных почв лесостепи Западной Сибири представлены в **табл. 4**.

Известно, что подвижность обменного калия в почвах, а, следовательно, и его доступность растениям, тесно зависит (обратно пропорциональная зави-

**Таблица 3.** Содержание обменного калия в почве и урожайность культур в полевых опытах

Варианты опытов	Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый			Серая лесная среднесуглинистая почва		
	Содержание калия, мг $K_2O/100$ г почвы		Урожайность, ц/га	Содержание калия, мг $K_2O/100$ г почвы		Урожайность, ц/га
	по Чирикову	по Масловой		по Чирикову	по Масловой	
<b>Картофель, 2000 г.</b>				<b>Картофель, 2005 г.</b>		
Без удобрений	9.1	13.6	154	6.5	8.9	105
NP	8.7	12.2	131	6.0	8.9	96
NP + K25%	10.0	16.8	265	7.5	11.1	186
NP + K50%	10.9	20.6	330	10.0	12.8	248
NP + K75%	18.9	31.4	426	14.0	13.3	256
NP + K100%	25.8	42.7	403	17.6	18.2	269
NP + K125%	50.2	76.2	343	31.7	33.3	283
<b>Яровая пшеница, 2001 г.</b>				<b>Кукуруза на силос, 2005 г.</b>		
Без удобрений	11.3	15.4	14.7	5.8	7.8	398
NP	9.9	14.8	21.6	5.0	7.5	506
NP + K25%	11.3	17.8	25.5	7.0	10.0	697
NP + K50%	14.6	19.6	24.6	-	-	-
NP + K75%	19.1	27.7	27.9	10.6	12.0	737
NP + K100%	24.9	34.1	25.2	-	-	-
NP + K125%	55.9	73.1	24.2	22.2	21.9	741

**Примечание:** Схема опытов: NP – дозы удобрений по выносу планируемым урожаем; K25% и т.д. – доза калия в процентах от выноса планируемым урожаем культуры.

Таблица 4. Классификация уровня содержания обменного калия в пахотных почвах лесостепи Западной Сибири по насыщенности им почвенной ЕКО.		
Уровень	Содержание обменного калия, в % от ЕКО почвы	
	по Чирикову	по Масловой
Минимальный	0.6 – 0.7	0.8 – 0.9
Неустойчивый	0.8 – 1.2	1.0 – 1.4
Оптимальный	1.3 – 1.8	1.5 – 2.2
Повышенный	> 1.8	> 2.2

симось) от ЕКО и гранулометрического состава почв; поэтому учет данных характеристик при почвенной калийной диагностике является обязательным. Оценка калийного состояния почв с использованием величин их ЕКО в ряде случаев может быть затруднена из-за отсутствия соответствующих данных. Однако каждый агроном определит, как минимум, гранулометрический состав почвы конкретного участка полевым «мокрым» методом по Н.А. Качинскому (смочить на ладони почву до консистенции теста, попытаться раскатать ее в шнур и т.д.). Зная гранулометрический состав почвы и содержание в ней обменного калия, можно достаточно корректно оценить ее калийное состояние, используя табл. 5. Выделяемые в табл. 5 градации, с точки зрения обеспеченности культур почвенным калием, имеют следующий смысл:

Низкая обеспеченность – при таком содержании обменного калия в почве он находится в «первом минимуме» для культур со слабой способностью к его мобилизации (картофель, морковь и др.); «одностороннее» внесение NP-удобрений под них не дает положительного результата и может вызывать угнетение растений; даже небольшие дозы калийных удобрений резко увеличивают урожай.

Неустойчивая – для растений с высокой способностью к усвоению почвенного калия (злаковые культуры и др.) этот элемент не находится в «первом минимуме» даже при «минимальном» уровне обменного калия в почве, однако их продуктивность заметно лимитирована. При данной обеспеченности культур почвенным калием дополнительное его внесение на фоне NP существенно увеличивает урожайность всех культур.

Оптимальная – при таком содержании обменного калия в почве использование рациональных доз NP-удобрений обеспечивает максимальную прибавку урожая, а дополнительное внесение калийных удобрений малоэффективно.

Повышенная – существенное положительное влияние повышенного содержания обменного калия в

Таблица 6. Урожайность клубней картофеля в период последействия калийных удобрений, ц/га.					
Вариант	Годы исследования				
	2008	2009	2010	2011	2012
Без удобрений	52	78	62	81	84
NP	71	125	78	95	80
NPK25%	96	162	101	114	78
NPK50%	146	246	136	143	85
NPK75%	177	263	145	144	86
NPK100%	180	271	152	156	97
NPK125%	204	327	158	157	98
HCP <sub>0.05</sub>	23	32	24	29	22

почве наблюдается только в стрессовых ситуациях (засуха, избыточное увлажнение и т.п.).

Важным свойством удобрений является их способностью оказывать положительное влияние на условия минерального питания культур не только в год внесения, но и в течение ряда последующих лет. Имеющиеся литературные данные по последействию калия относительно немногочисленны и не всегда однозначны, а для западносибирского региона они практически отсутствуют. Проведенные нами исследования показали, что последействие различных доз калийных удобрений, вносимых в предшествующие годы даже из расчета поддержания бездефицитного баланса калия в агроценозе, завершилось на 5-й год (табл. 6).

После прекращения внесения калийных удобрений в вариантах опыта NPK содержание обменного калия в почве этих вариантов закономерно снижалось; скорость и масштабы этого снижения зависели от исходного уровня обменного калия в почве конкретного варианта (табл. 7). В вариантах с длительным предшествующим внесением невысоких доз калия содержание его обменной формы в почве снизилось до минимального уровня или приблизилось к нему уже на второй год последействия. При исходно высоком уровне калия в почве, сформировавшемся при предшествующем бездефицитном калийном балансе (варианты NPK100%-125%), масштабы снижения содержания его обменной формы в течение периода последействия были особенно заметны. Через 5 лет после прекращения внесения калийных удобрений уровень обменного калия в почве этих вариантов снизился в 2.5-3.5 раза, а наиболее значительное падение произошло за первые 2 года последействия.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили, что длительный сильно дефицитный баланс калия в агроценозе, связанный с неиспользованием

Таблица 5. Градации обеспеченности обменным калием зональных почв лесостепи Западной Сибири.						
Обеспеченность	Гранулометрический состав почвы:					
	легкосуглинистый		среднесуглинистый		тяжелосуглинистый	
	Содержание обменного калия, мг K <sub>2</sub> O/100 г почвы					
	по Чирикову	по Масловой	по Чирикову	по Масловой	по Чирикову	по Масловой
Низкая	< 6	< 10	< 10	< 15	< 14	< 20
Неустойчивая	6 – 10	10 – 15	10 – 14	15 – 20	14 – 18	20 – 25
Оптимальная	10 – 14	15 – 20	14 – 18	20 – 25	18 – 22	25 – 30
Повышенная	> 14	> 20	> 18	> 25	> 22	> 30

**Таблица 7.** Изменение содержания обменного калия в почве за период последействия калийных удобрений, мг  $K_2O/100$  г почвы.

Вариант	Годы исследования				
	2008	2009	2010	2011	2012
Без удобрений	8.5	8.2	8.1	8.1	7.8
NP	8.0	7.9	7.9	8.1	7.8
NPK25%	10.0	8.3	8.9	8.0	7.2
NPK50%	12.4	9.0	9.2	8.3	7.2
NPK75%	14.5	10.3	9.7	9.5	9.0
NPK100%	26.3	16.1	15.3	11.7	10.0
NPK125%	35.5	22.8	18.1	14.2	11.7
HCP <sub>0.05</sub>	7.1	6.5	6.7	6.3	6.3

калийных удобрений, обуславливает переход этого элемента в разряд первого минимума, что существенно лимитирует продуктивность выращиваемых культур. Внесение других видов минеральных удобрений при сильном дефиците калия не ведет к повышению урожайности культур, прежде всего, калиелюбивых (картофель, овощи и др.). В то же время сбалансированное минеральное питание обеспечивает стабильное получение высокого урожая. Регулярное использование калийных удобрений позволяет при расчете их доз допускать небольшой (20-25%) дефицит баланса калия в агроценозе, при котором калийное состояние почвы сохраняется на оптимальном уровне. Положительное влияние калийных удобрений на продуктивность культур особенно отчетливо проявляется в неблагоприятные по погодным условиям вегетационные сезоны.

Длительность периода последействия внесенных калийных удобрений зависит от их доз, используемых в предшествующие годы. Даже при многолетнем при-

менении невысоких (30-60 кг  $K_2O/га$ ) доз калийных удобрений период их последействия на среднесуглинистой почве не превышает 1-2 лет. Запасы калия в почве агроценоза, сформировавшиеся при длительном применении повышенных доз калийных удобрений (120-150 кг  $K_2O/га$ ), оказывают существенное положительное влияние на урожайность картофеля в течение 4-5 лет после прекращения их использования.

Якименко В.Н. – заведующий лабораторией агрохимии, доктор биологических наук, доцент; e-mail: yakimenko@issa.nsc.ru.

Нечаева Т.В. – научный сотрудник лаборатории агрохимии, кандидат биологических наук.

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск).

## Литература

- Якименко В.Н. 2003. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд. СО РАН, 231 с.
- Якименко В.Н. и Носов В.В. 2012. Питание растений. Вестник Международного института питания растений, 1: 2-5.
- Прокошев В.В. и Дерюгин И.П. 2000. Калий и калийные удобрения. М.: «Ледум», 185 с.
- Никитина Л.В. 2012. Агрохимия, 12:15-23.
- Носов В.В., Соколова Т.А., Прокошев В.В. и Исаенко М.А. 1997. Агрохимия, 5: 13-19.
- Якименко В.Н. 2009. Плодородие, 4: 8-10.
- Важенин И.Г. и Карасева Г.И. 1959. Почвоведение, 3: 11-21.

## Исследования по калийной тематике в Уругвае

Ф. Гарсия и М. Барбазан

Восточная Республика Уругвай расположена в юго-восточной части Южной Америки. Она граничит на западе с Аргентиной, а на севере и востоке – с Бразилией. Уругвай омывается водами залива Ла-Плата («Серебряная река») на юге и Атлантического океана – на юго-востоке. Население страны – 3.3 млн человек, а площадь – около 176 тыс. км<sup>2</sup>. Доля сельского хозяйства в ВВП страны составляет 11.8% примерно при равном вкладе животноводства и растениеводства (DIEA-MGAP, 2015). Сельское хозяйство страны по большей части ориентировано на экспорт. Так, продукция сельского и лесного хозяйства составляет 75% экспорта. В основном это соя, крупный рогатый скот, молочные продукты, лесоматериалы и рис.

Сельское хозяйство Уругвая исторически развивалось на почвах с высокой обеспеченностью обменным калием при традиционной системе обработки почвы и использовании пастбищных севооборотов, что и объясняло отсутствие рекомендаций по применению калийных удобрений (Hernández, 1997; Hernández и др., 1988). Однако почвы Уругвая характеризуются

широким диапазоном содержания обменного калия (рис. 1). Согласно результатам проведенного в стране почвенного обследования (Soil Survey Guide of Uruguay), почвенные разности с низкой обеспеченностью доступным для растений калием занимали приблизительно 5 млн га. В исторически сложившейся земледельческой зоне на западе Уругвая содержание обменного калия в почвах находилось в диапазоне от среднего до высокого.

В Уругвае предпринимались немногочисленные попытки изучения динамики калия в почвах по сравнению с усилиями по изучению динамики азота и фосфора, которая была исследована в разных почвенно-климатических условиях при использовании разных систем земледелия. Наиболее ранние исследования по изучению отзывчивости растений на применение калийных удобрений проводились с сельскохозяйственными культурами, имеющими высокую потребность в калии, – сахарным тростником, сахарной свеклой, картофелем, луком и хлопчатником. Для разных типов почв был предложен ряд рекомендаций по применению минеральных удобрений под указанные культуры. В 1960-х гг.