



ДИАГНОСТИКА КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2019 В. Н. Якименко¹, В. С. Бойко²

Адрес: ¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: yakimenko@issa-siberia.ru

² ФГБНУ Омский аграрный научный центр, пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Россия.
E-mail: boicko.vasily2011@yandex.ru

Цель исследования. Целью было рассмотреть полученные в ряде опытов показатели и предложить градации обеспеченности почв калием. Обоснована необходимость проведения оценки калийного состояния почв на основе комплексного использования нескольких диагностических показателей, характеризующих калийный фонд почвы, как с количественной, так и с качественной стороны; при этом обязателен учет свойств конкретной почвы – гранулометрического состава и емкости катионного обмена. Проведена диагностика калийного состояния почв длительных полевых опытов, проводимых в лесостепной зоне Западной Сибири.

Заключение. Установлено, что за 40 лет опытов на лугово-черноземной почве с исходно очень высокой калийной обеспеченностью, содержание обменного калия уменьшилось с 60 до 30 мг/100 г почвы; при этом уровень легкообменного калия снизился с 4 до 1,1-1,2 мг/100 г, свидетельствуя о существенном ухудшении десорбционной способности почвы в отношении калия. В серой лесной почве, исходно среднеобеспеченной доступным растениям калием, содержание его обменной и легкообменной формы снизилось за 5-7 лет проведения опытов до критического, минимального уровня (соответственно, с 12 и 2 до 6-7 и 0,4-0,5 мг/100 г), на котором и оставалось все последующие годы (25 лет); систематическое внесение калия на фоне NP обеспечивало оптимизацию калийного состояния почвы.

Ключевые слова: калий; почва; агроценоз; диагностика; показатели и градации оценки калийного состояния почвы

Цитирование: Якименко В.Н., Бойко В.Н. Диагностика калийного состояния почв лесостепи Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2019. Том 2. № 2. е74. doi: [10.31251/pos.v2i2.74](https://doi.org/10.31251/pos.v2i2.74)

Оптимальная обеспеченность пахотных почв калием является одним из обязательных условий высокой продуктивности выращиваемых на них культур и устойчивого функционирования агроэкосистем. Тем не менее, использование калийных удобрений в земледелии России, а, особенно, Сибири, находится на минимальном уровне; даже при получаемых невысоких урожаях ежегодный дефицит баланса калия в среднем превышает 30 кг/га (Прокошев, Дерюгин, 2000). Очевидно, что перманентное истощение плодородия почв в отношении калия неизбежно приведет к лимитированию калийного питания выращиваемых культур, существенному снижению количества и качества растениеводческой продукции.

Эффективное 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. Ранее неоднократно отмечалась недостаточная информативность стандартных градаций обеспеченности почв калием и целесообразность перехода к совокупности региональных шкал, необходимость комплексного использования нескольких диагностических показателей. Применяемые в Агрохимслужбе при определении содержания обменного калия в почвах кислотные (соляно- и уксуснокислые) вытяжки часто дают завышенные результаты, создавая иллюзию относительно благополучной калийной обеспеченности пахотных угодий. Существенным недостатком используемых при этом градаций является их полная усредненность, безотносительность к важным в отношении калия почвенным свойствам – емкости катионного обмена и гранулометрическому составу, что также не всегда делает трактовку полученных результатов адекватной (Авакян, 1981; Носов и др., 1997; Прокошев, Дерюгин, 2000; Шаймухаметов, Травникова, 2000; Якименко, 2003, 2009). В этой связи, учитывая нарастающее истощение пахотных почв в отношении калия, изучение их калийного состояния, корректировка методов и градаций оценки обеспеченности почв этим элементом весьма актуальны.

Целью данного сообщения было рассмотреть методы и предлагаемые градации оценки обеспеченности почв калием и с их помощью диагностировать калийное состояние почв длительных полевых опытов, проведенных в лесостепной зоне Западной Сибири.

Калийный фонд почвы обусловлен системой позиций в почвенной минеральной основе, удерживающих катионы калия с различной степенью интенсивности. Обычно эту систему подразделяют на четыре компонента: калий почвенного раствора – К обменный – К необменный – К минерального скелета; первые три из них в значительной мере взаимосвязаны и определяют эффективное плодородие почвы в отношении этого элемента. Их количественное определение с помощью химических методов и является наиболее целесообразным при мониторинге калийного состояния пахотных почв (Никитина и др., 2011; Носов и др., 1997; Прокошев, Дерюгин, 2000; Якименко, 2003, 2018).

Анализ литературных данных и собственное сравнительное изучение ряда методов почвенной калийной диагностики (Никитина и др., 2011; Носов и др., 1997; Прокошев, Дерюгин, 2000; Якименко, 2003, 2009, 2018) позволили нам в своих исследованиях отдать предпочтение следующим из них: при определении калия почвенного раствора (легкообменного) – экстракция 0,0025 М CaCl_2 , обменного – 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (метод Масловой), необменного – 1 М HNO_3 . Следует сказать, что многие методы определения форм калия в почве отражают, в принципе, общее направление изменения почвенного калийного состояния – при сильнодефицитном балансе содержание калия снижается, а при положительном – возрастает. Однако адекватность трактовки полученных результатов с точки зрения обеспеченности растений калием, особенно в среднем диапазоне значений, зависит от используемых методов и градаций диагностики.

Отдельно отметим, что основные массивы пахотных почв Западной Сибири расположены в лесостепи и северной степи, а стандартным методом для определения обменного калия в почвах этой зоны в системе Агрохимслужбы является метод Чирикова (экстрагент 0,5 М уксусная кислота), соответственно, широко использующийся в регионе. Учитывая важность проводимых работ по массовому агрохимическому обследованию сельскохозяйственных угодий для практического земледелия и насущную необходимость создания реальной картины калийного состояния пахотных почв, в ряде ранее выполненных нами исследований (Якименко, 2003, 2009) осуществляли параллельное определение обменного калия в почвах методами Масловой и Чирикова, а полученные результаты были использованы при разработке градаций калийной обеспеченности почв.

В проведенных многолетних полевых и вегетационных опытах определяли продуктивность выращиваемых культур при различных уровнях их калийного питания с параллельным мониторингом содержания форм калия в почвах. Сопоставление данных по урожайности растений с результатами химических анализов соответствующих почвенных образцов позволило уточнить показатели и параметры оценки калийного состояния изученных почв и определить степень нуждаемости культур в дополнительном внесении калия.

Исследования показали, что уровень концентрации калия в почвенном растворе (легкообменный калий) хорошо демонстрирует текущие условия калийной обеспеченности культур, дает представление о степени истощенности почвы, ее способности десорбировать ионы этого элемента в раствор. Данный показатель является довольно универсальным, не зависящим от свойств почв, т.к. сходные условия калийного питания растений на различных почвенных разновидностях отмечаются при близких значениях содержания в этих почвах легкообменного калия, тогда как уровни других калийных форм в них могут значительно различаться. На основании проведенных длительных опытов (Якименко, 2003) нами разработаны градации обеспеченности калием основных пахотных почв Западной Сибири по содержанию в них легкообменного калия (извлекаемого 0,0025 М раствором CaCl_2 ; табл. 1). Как правило, содержание легкообменного калия в почве менее 1 мг/100 г свидетельствует о сильном истощении в ней легко подвижных фракций этого элемента и явно дефицитном питании культур. При уровне концентрации калия почвенного раствора в интервале 1-2 мг/100 г обеспеченность им растений неустойчивая. Наиболее благоприятные условия калийного питания выращиваемых культур складываются при значениях этого показателя в пределах 2-3 мг/100 г почвы. Дальнейший рост концентрации катионов калия в почвенном растворе может приводить к большим непроизводительным потерям этого элемента за счет избыточного, непродуктивного потребления растениями и возможного вымывания за пределы корнеобитаемого слоя.

Таблица 1

Градации обеспеченности легкообменным калием (0,0025 М CaCl₂)
пахотных почв Западной Сибири

Обеспеченность	Содержание калия, мг К/100 г почвы
Низкая	< 1
Неустойчивая	1-2
Оптимальная	2-3
Повышенная	> 3

Основным донором для восстановления в почвенном растворе уровня калия, снижающегося при потреблении культурами, является фонд его обменной формы (калий почвенного поглощающего комплекса). Опыты по пролонгированному вытеснению из почв форм калия показали, что общее количество мобилизованного почвами легкообменного калия (или калия почвенного раствора) очень близко величине запаса обменной формы элемента (Якименко, 2005). Содержание обменного калия является основным, а, зачастую, и единственным показателем, используемым при мониторинге калийного состояния почв и изучении режима калия в агроценозах.

Известно, что подвижность обменного калия в почвах, а, следовательно, и его доступность растениям, тесно зависит (обратная пропорция) от емкости катионного обмена (ЕКО) и гранулометрического состава почв; поэтому учет данных характеристик при почвенной калийной диагностике является обязательным. Результаты проведенных исследований на различных разновидностях почв позволили разработать градации обеспеченности выращиваемых культур калием по содержанию его обменной формы в зависимости от почвенного гранулометрического состава (табл. 2).

Таблица 2

Градации обеспеченности обменным калием почв лесостепи Западной Сибири, мг К/ 100 г почвы

Обеспеченность	Гранулометрический состав почвы:					
	легкосуглинистый		среднесуглинистый		тяжелосуглинистый	
	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

Выделяемые в табл. 2 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 обеспечивает максимальную прибавку урожая, а дополнительное внесение калийных удобрений малоэффективно.

Повышенная – существенное положительное влияние на продуктивность выращиваемых культур наблюдается только в стрессовых ситуациях (засуха, избыточное увлажнение и т.п.); в благоприятных условиях урожайность мало отличается от предыдущей градации. У культур со слабыми адаптационными способностями к уровню калийного питания отмечается большой непродуктивный вынос калия с урожаем.

Исследования показали (Якименко, 2003), что содержание обменного калия в почвах при интенсивном (или длительном) некомпенсируемом выносе элемента в агроценозах постепенно достигает определенного «минимального» уровня, который впоследствии практически не изменяется, несмотря на продолжающееся потребление культурами почвенного калия.

Нужно подчеркнуть, что этот «минимальный» уровень обменного калия, при определении по рутинным методам и градациям, часто, особенно на относительно тяжелых почвах (средне-, тяжелосуглинистых), оценивается как средняя или даже повышенная обеспеченность почв элементом; стабильность же данного показателя ошибочно трактуется как устойчивое и благополучное почвенное калийное состояние с соответствующими выводами о целесообразности применения калийных удобрений.

Реально оценить уровень обменного калия в почве можно только при сопоставлении его (выразив в мг-экв/100 г) с почвенной ЕКО (Авакян, 1981; Носов и др., 1997; Прокошев, Дерюгин, 2000; Шаймухаметов, Травникова, 2000; Якименко, 2003). В наших исследованиях (Якименко, 2003), при длительном сильнодефицитном балансе калия в агроценозах его доля в ЕКО почв не опускалась ниже 1,0-1,2 % в супесчаных и 0,8-0,9 % в суглинистых почвенных разновидностях (табл. 3). Этот уровень, по-видимому, и является «минимальным», соответствующим предельному истощению в почвах обменной формы калия. Оптимальные условия калийного питания растений складывались при насыщении обменным калием 2,0-3,0 % ЕКО супесчаных и 1,5-2,2 % суглинистых почв. При длительном, положительном балансе калия в агроценозе доля этого элемента в ЕКО почвы могла достигать 5-7 % и более.

Таблица 3

Классификация уровня содержания обменного калия в пахотных почвах Западной Сибири по насыщенности им почвенной емкости катионного обмена (ЕКО)

Уровень	Содержание обменного калия, в % от ЕКО	
	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

Стабилизация содержания обменного калия в почве на «минимальном» уровне при сильнодефицитном балансе свидетельствует о существенном участии в питании растений других его форм, не извлекающихся солевыми растворами, т.е. более прочно связанных с минеральным скелетом почв. Поэтому для оценки потенциальных почвенных ресурсов доступного растениям калия целесообразно определение содержания в почве необменной формы этого элемента. От имеющихся в почве запасов необменного калия прямо зависят темпы и масштабы возобновления в ней убывающего уровня более подвижных калийных форм (Якименко, 2003б, 2005).

Необменный калий в почвах приурочен в основном к межслоевому пространству слюдоподобных минералов и достаточно хорошо извлекается 1 М раствором HNO_3 (Якименко, 2018). Однако, как и в случае с обменным калием, абсолютные значения содержания его необменной формы не отражают реальную обеспеченность растений элементом. Одинаково экстрагируемые из почвы раствором азотной кислоты необменные катионы не так «солидарны» при поглощении растениями. Для значительной части ионов калия, содержащихся в трехслойных глинистых минералах, энергия связи с твердой фазой почв выше, чем поглотительная способность растений. Эта часть катионов, подобно «минимальному» уровню обменного калия, сохраняет свои позиции и при длительном интенсивном выращивании культур. Абсолютные значения содержания этой фракции необменного калия отличаются на разных почвах, но их относительные величины – в связи с количеством в почвах физической глины – вполне сравнимы между собой. Поэтому и оценка уровня необменного калия должна осуществляться с обязательным учетом гранулометрического состава почв.

На основании длительных исследований нами разработаны градации обеспеченности пахотных почв калием по содержанию его необменной формы (табл. 4). Следует сказать, что запасы необменного калия в пахотном слое зональных почв довольно значительны и для снижения их до критически низкого уровня, даже в интенсивных агроценозах, требуются долгие годы. Во всяком случае, нам не удалось установить предельный уровень («минимально» низкий) содержания в почвах

необменной формы калия, при котором бы существенно ограничивались или, тем более, прекратились рост и развитие растений. Но и при содержании обменного калия в почвах, соответствующем градации «неустойчивая обеспеченность» в табл. 4, у выращиваемых культур отмечалась явная потребность во внесении калийных удобрений (на фоне NP). Для культур, подобных картофелю по способности к усвоению почвенного калия, это было выражено в большей степени, для пшеницы – в меньшей. Содержание же в почвах обменного калия в пределах «оптимальной обеспеченности» характеризует благоприятный режим калийного питания для всех выращиваемых культур.

Таблица 4

Градации обеспеченности калием пахотных почв лесостепи Западной Сибири по содержанию обменной формы, мг К/100 г почвы

Обеспеченность	Гранулометрический состав почвы		
	легкосуглинистый	среднесуглинистый	тяжелосуглинистый
Неустойчивая	< 60	< 110	< 180
Оптимальная	60-110	110-180	180-250
Повышенная	> 110	> 180	> 250

Используя указанные выше подходы, проведем диагностику калийного состояния почв длительных полевых опытов (табл. 5 и 6).

Стационарный полевой опыт на лугово-черноземной тяжелосуглинистой почве был заложен в 1978 году в Омском районе Омской обл. (южная лесостепь). На одном участке почвы в севообороте выращивали, преимущественно, многолетние и однолетние травы, параллельно на другом – зерновые культуры и травосмеси. В опытах разрабатывались приемы повышения продуктивности выращиваемых культур при орошении (Бойко, 2019; Бойко, Сницарь, 2002; Бойко и др., 2015). В данном сообщении рассматриваются два наиболее контрастных варианта опытов – без удобрений и NP; в связи с очень высоким исходным содержанием калия в исследуемой почве калийные удобрения не применяли.

Таблица 5

Изменение калийного состояния лугово-черноземной почвы в длительном полевом опыте (1978 -2018 гг.)

Вариант	Слой почвы, см	Содержание форм калия, мг К/100 г почвы		
		легкообменный	обменный	необменный
Целина (исходное)	0-20	4,0	60,0	215
	20-40	2,7	51,9	193
Многолетние и однолетние травы				
Без удобрений	0-20	1,8	32,5	179
	20-40	0,8	24,2	168
NP	0-20	1,2	32,1	174
	20-40	0,6	25,4	170
Зерновые культуры и травосмеси				
Без удобрений	0-20	1,6	30,3	170
	20-40	0,7	20,1	165
NP	0-20	1,1	30,7	169
	20-40	0,6	20,4	168
<i>НСР05</i>		<i>0,3</i>	<i>4,4</i>	<i>15</i>

Стационарный полевой опыт на исходно целинной серой лесной среднесуглинистой почве был заложен в 1988 году в Искитимском районе Новосибирской обл. (северная лесостепь). На одном участке почвы выращивали зерновые культуры в севообороте и кукурузу на зеленую массу, рядом на другом – овощные культуры в севообороте и картофель. В опытах изучали влияние интенсивности калийного баланса на эколого-агрохимическое состояние агроценозов (Якименко, 2003). В данном сообщении рассматриваются наиболее контрастные варианты опытов: без удобрений, NP и NPK.

Длительное сельскохозяйственное использование исследуемых почв существенно отразилось на их калийном состоянии. Содержание легкообменного калия в целинной лугово-черноземной почве было очень высоким – 4,0 мг/100 г в слое 0-20 см и 2,7 – в 20-40 см слое

(табл. 5). Экстенсивная эксплуатация почвы в течение 40 лет (контрольный вариант опыта) привела к значительному снижению запасов этой формы калия как в пахотном, так и особенно в подпахотном слоях. Систематическое применение минеральных удобрений в варианте NP способствовало повышению продуктивности культур и, соответственно, дальнейшему снижению почвенного содержания легкообменного калия. Повышенный калийный фонд данной почвы и высокая буферность ее калийной системы позволяла в течение многих лет поддерживать интенсивность процессов десорбции калия в почвенный раствор на достаточно высоком уровне. Тем не менее, за время проведения опыта обеспеченность исследуемой почвы легкообменным калием снизилась с очень высокой (4 мг) до неустойчивой (1-2 мг) в пахотном слое всех вариантов и низкой (<1 мг/100 г) – в подпахотном. Данное обстоятельство свидетельствует о значимом снижении способности почвы десорбировать ионы калия в почвенный раствор и, соответственно, нарастающей потребности выращиваемых культур в дополнительном калийном питании.

Таблица 6

Изменение калийного состояния серой лесной почвы в многолетних полевых опытах

Вариант	Слой почвы, см	Содержание форм калия, мг К/100 г почвы		
		легкообменный	обменный	необменный
Целина (исходное)	0-20	2,0	12,0	120
	20-40	0,7	9,5	100
Овощные культуры и картофель (1988-2018 гг.)				
Без удобрений	0-20	0,4	6,5	92
	20-40	0,4	6,8	95
NP	0-20	0,5	6,9	90
	20-40	0,4	8,5	95
NPK	0-20	1,7	17,6	135
	20-40	0,6	9,5	108
Зерновые культуры и кукуруза на зеленую массу (1988-2010 гг.)				
Без удобрений	0-20	0,4	7,8	97
	20-40	0,5	8,3	95
NP	0-20	0,6	7,5	97
	20-40	0,5	7,9	95
NPK	0-20	1,5	15,5	126
	20-40	0,5	9,8	105
<i>HCP05</i>		0,2	3,2	12

Уровень легкообменного калия в слое 0-20 см целинной серой лесной почвы (2 мг/100 г, табл. 6) был сопоставим с черноземом. Однако невысокий калийный фонд данной почвы в условиях длительного дефицитного баланса этого элемента был не в состоянии поддерживать исходную или близкую к нему концентрацию катиона в почвенном растворе. В результате содержание легкообменного калия в почве всех вариантов опыта с сильнодефицитным калийным балансом снизилось до критического уровня; в истощенной по калию почве интенсивность процессов трансформации не могла обеспечить полноценный уровень калийного питания растений. Систематическое применение калийных удобрений в вариантах NPK позволило поддерживать приемлемый уровень (1,5-1,7 мг) легкообменного калия в пахотном слое почвы и овощного, и зернового участков.

Содержание обменного калия в рассматриваемых почвах отличалось в несколько раз, что не отразилось на общей закономерности существенного снижения почвенных запасов доступного растениям калия при длительном дефиците его баланса (табл. 5-6); величина исходного (целинного) фонда калия в почве ожидаемо повлияла на скорость истощения калийных запасов.

В пахотном и подпахотном слое лугово-черноземной почвы содержание обменного калия (табл. 2) уменьшилось за 40 лет практически в 2 раза от исходного (с 52-60 до 20-32 мг/100 г), оставаясь, тем не менее, в высоком и очень высоком классе обеспеченности по стандартным градациям (Никитина и др., 2011); по нашим градациям (табл. 2) обеспеченность почвы обменным калием была и осталась повышенной. Однако вектор изменения калийного состояния данной почвы очевиден, что позволяет прогнозировать ее переход в недалеком будущем в класс

обеспеченности с проблемным калийным питанием культур. Варианты «без удобрений» и NP не отличались между собой по масштабам снижения содержания обменного калия.

Целинная серая лесная почва (табл. 6) по стандартным грациям должна быть отнесена к среднеобеспеченной обменным калием. За время проведения опытов в вариантах «без удобрений» и NP почва перешла в класс низкообеспеченных. Отметим, что текущий уровень обменного калия в почве этих вариантов (7-8 мг/100 г) сформировался в течение первых 5-7 лет проведения опыта и в дальнейшем не изменялся. Это обстоятельство указывает на наличие в почвах определенного минимального уровня обменного калия, что необходимо учитывать при диагностике калийного состояния почв. В вариантах NPK, с систематическим применением калийных удобрений, содержание обменного калия в пахотном слое почвы заметно повысилось, а в подпахотном – осталось на уровне исходной целинной почвы.

В исследуемой целинной лугово-черноземной почве (содержание физической глины 40-46%, ЕКО около 38 мг-экв/100 г) доля обменного калия в ЕКО составляла примерно 4%, свидетельствуя о высокой насыщенности ППК этим элементом и способности десорбировать катионы в почвенный раствор (табл. 3). При длительном сельскохозяйственном использовании почвы доля калия в ЕКО снизилась до 2,0-2,1%, хотя и оставаясь в благоприятном диапазоне, но обозначая очевидный тренд. Вполне вероятно, что продолжение истощающей нагрузки на почву приведет в обозримом будущем к снижению содержания обменного калия в пахотном слое до минимального уровня 15-20 мг/100 г при насыщенности ЕКО менее 1 %.

Целинная серая лесная почва (содержание физической глины 30-31%, ЕКО около 21 мг-экв/100 г) характеризовалась значительно меньшей долей калия в ППК – 1,5% ЕКО; очевидно, что длительное безлимитное калийное питание выращиваемых на этой почве культур представляется проблематичным. Действительно, за несколько лет экстенсивной эксплуатации участка почвы доля обменного калия в ЕКО снизилась до 0,85%, отражая предельную истощенность калийного фонда ППК. Напротив, при систематическом использовании калийных удобрений на фоне NP, доля калия в ЕКО увеличилась до 2,1-2,2%, свидетельствуя об оптимальной обеспеченности растений.

В наших опытах при длительном дефицитном калийном балансе содержание необменного калия в исследуемых почвах закономерно снизилось (табл. 5 и 6). В абсолютных величинах – мг/100 г почвы – уровень необменного калия в лугово-черноземной почве снизился заметнее, чем в серой лесной; однако относительные значения (% от исходного уровня) свидетельствуют, что запасы необменной формы этого элемента в серой лесной почве были истощены сильнее. В пахотном слое лугово-черноземной почвы за 40 лет проведения опыта содержание необменного калия снизилось на 36-46 мг/100 г, что составило примерно 19% от исходных запасов. По нашим грациям данная почва исходно являлась оптимально обеспеченной необменной формой калия (табл. 4 и 5); за время проведения опытов она перешла в разряд с неустойчивой обеспеченностью.

Обеспеченность обменным калием серой лесной среднесуглинистой почвы исходно была на неустойчивом уровне (табл. 4 и 6), длительное экстенсивное сельскохозяйственное использование способствовало дальнейшему ухудшению ее калийного состояния. В вариантах с дефицитным калийным балансом в опыте на серой лесной почве снижение почвенного содержания необменного калия доходило 30 мг/100 г или на 25% от исходного уровня. В вариантах с систематическим внесением калийных удобрений (NPK) содержание в почве необменного калия заметно возросло – на 6-15 мг/100 г.

Таким образом, в проведенных исследованиях установлено, что для объективной диагностики калийного состояния пахотных почв целесообразно комплексное использование нескольких взаимно дополняющих показателей. Содержание в почве легкообменного калия (калия почвенного раствора) и степень насыщенности ее ЕКО этим катионом дают качественную характеристику почвенного калийного состояния, оценивают способность ППК десорбировать элемент в почвенный раствор, т.е. показывают, в какой степени почва истощена или обеспечена наиболее мобильными формами калия. Индексом, позволяющим провести количественную оценку калийного состояния почвы, является содержание в ней обменного и необменного калия. Уровень обменной формы дает представление о потенциальных возможностях восстановления снижающейся концентрации элемента в почвенном растворе, а содержание необменной, кроме того, показывает ресурсы восстановления для всего обменного комплекса почв. Обязательным условием корректного использования указанных индексов является учет количества почвенной глинистой фракции как природного носителя наиболее подвижных форм калия.

Проведенные длительные стационарные полевые опыты показали, что значимое ухудшение калийного состояния почв при сильном дефиците баланса калия в агроценозах неизбежно и является лишь вопросом времени. При этом, оценка обеспеченности калием почв с исходно невысоким калийным фондом по любому показателю будет однозначной. Однако в ряде случаев, диагностика калийного состояния почвы по одному индексу – обменному калию – и стандартным градациям может формально характеризовать ее как высоко обеспеченную доступным для растений калием, однако ряд дополнительных показателей могут свидетельствовать о нарастающем истощении данной почвы наиболее подвижными фракциями почвенного калия.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян Н.О. О питании растений калием и применении калийных удобрений // *Агрохимия*. 1981. № 7. С. 37–43.
2. Бойко В.С. Полевое кормопроизводство на орошаемых черноземах в лесостепи Западной Сибири. Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2019. 312 с.
3. Бойко В.С., Сницарь А.Е. Агромелиоративные приемы повышения продуктивности орошаемых земель. Омск: Изд-во ОмГАУ, 2002. 160 с.
4. Бойко В.С., Тимохин А.Ю., Морозова Е.Н. Калийный режим зональных почв Омского Прииртышья // *Земледелие*. 2015. № 3. С.10-12.
5. Никитина Л.В., Соколова Т.А., Якименко В.Н., Прокошев В.В. и др. Методические подходы при разработке параметров калийного режима пахотных почв. М.: ВНИИА, 2011. 40 с.
6. Носов В.В., Соколова Т.А., Прокошев В.В., Исаенко М.А. Изменение некоторых показателей калийного состояния дерново-подзолистых почв под влиянием применения калийных удобрений в длительных полевых опытах // *Агрохимия*. 1997. № 5. С. 13–19.
7. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 185 с.
8. Шаймухаметов М.Ш., Травникова Л.С. Калийное состояние пахотных почв Европейской территории России // *Почвоведение*. 2000. № 3. С. 329–339.
9. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
10. Якименко В.Н. Подвижность форм калия в почвах // *Агрохимия*. 2005. № 9. С. 5–12.
11. Якименко В.Н. К вопросу оценки калийного состояния почв агроценозов // *Плодородие*. 2009. № 4. С. 8–10.
12. Якименко В.Н. Формы калия в почве и методы их определения // *Почвы и окружающая среда*. 2018. Т.1. №1. С.26-33. doi: [10.31251/pos.v1i1.5](https://doi.org/10.31251/pos.v1i1.5)

Поступила в редакцию 10.06.2019; принята 26.06.2019; опубликована 03.07.2019

Сведения об авторах:

Якименко Владимир Николаевич – доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией агрохимии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); yakimenko@issa-siberia.ru

Бойко Василий Сергеевич – доктор сельскохозяйственных наук, с.н.с., зам. директора по научной работе ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (г. Омск, Россия); boicko.vasily2011@yandex.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

DIAGNOSTICS OF SOIL POTASSIUM STATUS IN THE FOREST-STEPPE OF WEST SIBERIA

V. N. Yakimenko ¹, V. S. Boiko ²

¹*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

²*Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russia*

The aim of the study was to review indicators and propose grades of soil potassium availability to crops. The need of assessing soil potassium status on the basis of combined use of several diagnostic indicators, characterizing soil potassium pool, both quantitative and qualitative, is substantiated; at the same time, it is

indispensable to take into account some properties of a specific soil, such as particle size distribution and cation exchange capacity. The diagnostics of soil potassium status in the long-term field experiments conducted in the forest-steppe zone of West Siberia was carried out.

Results and conclusions. *It was found that over 40 years of the experiment on the meadow chernozemic soil (Gleyic Chernozem) with initially very high potassium supply the content of exchangeable potassium decreased from 60 to 30 mg/100 g soil; at the same time, the level of easily exchangeable potassium decreased from 4.0 to 1.1-1.2 mg/100 g soil, indicating a significant deterioration in soil desorption capacity in relation to potassium. In the gray forest soil (Phaeozem) that was initially supplied with potassium, the content of its exchangeable and easily exchangeable forms decreased in 5–7 years of experiments to a critical minimum level, i.e. from 12 and 2 to 6–7 and 0.4–0, 5 mg/100 g soil, respectively. During the subsequent years (25 years) this content remained unchanged. It is concluded that systematic application of potassium together combined with nitrogen and phosphorus background fertilization ensured optimization of potassium status of soils.*

Keywords: *potassium; soil; agrocenosis; diagnostics; indicators; grades of potassium status assessment*

How to cite: *Yakimenko V.N., Boiko V.S Diagnostics of soil potassium status in the forest-steppe of West Siberia // The Journal of Soils and Environment. 2018. 2(2). e74. doi: 10.31251/pos.v2i2.74 (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. Avakyan N.O. About plant nutrition and the use of potassium fertilizers, *Agrochimiya*, 1981, No 7, p. 37–43 (in Russian)
2. Boiko V.S. *Fodder production on irrigated Chernozems in the forest-steppe of West Siberia*. Omsk: Maksheeva Pubs., 2019. 312 p. (in Russian)
3. Boiko V.S., Snytsary A.E. *Agromeliorative techniques to improve the productivity of irrigated land*. Omsk: Pubs. Omsk SAU, 2002. 160 p. (in Russian)
4. Boiko V.S., Timokhin A.Yu., Morozova E.N. Potassium nutrition regime in zonal soils of Omsk region near Irtysh, *Zemledelie*, 2015, No3, p.10-12. (in Russian)
5. Nikitina L.V., Sokolova T.A., Yakimenko V.N., Prokoshev V.V. et al. *Methodological approaches in the development of parameters of the potassium regime in arable soils*. Moscow: VNIIA Pubs., 2011. 40 p. (in Russian)
6. Nosov V.V., Sokolova T.A., Prokoshev V.V., Isaenko M.A. Changes in some indicators of the potassium state of Sod-Podzolic soils under the influence of the use of potash fertilizers in long-term field experiments, *Agrochimiya*. 1997, No5, p. 13–19. (in Russian)
7. Prokoshev V.V., Deryugin I.P. *Potassium and potassium fertilizers*. Moscow: Ledum Publ., 2000. 185 p. (in Russian)
8. Shaimukhametov M.Sh., Travnikova L.S. The Potassium Status of Arable Soils in European Russia, *Pochvovedenie*, 2000, No3, p. 329–339. (in Russian)
9. Yakimenko V.N. *Potassium in agrocenoses of Western Siberia*. Novosibirsk: SB RAS Publ., 2003. 231 p. (in Russian)
10. Yakimenko V.N. Potassium mobility in soils, *Agrochimiya*, 2005, No 9, p. 5–12 (in Russian)
11. Yakimenko V.N. Estimation of soil potassium status in agrocenoses, *Plodorodie*, 2009, No4, p. 8–10 (in Russian)
12. Yakimenko V.N. Potassium forms in soil and methods of their determination, *The Journal of Soils and Environment*, 1(1), 25-31. doi: 10.31251/pos.v1i1.5 (in Russian)

Received 10 June 2019; accepted 26 June 2019; published 03 July 2019

About the authors:

Yakimenko Vladimir N. – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Agrochemistry, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); yakimenko@issa-siberia.ru

Boiko Vasily S. – Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Deputy Director of the Omsk Agricultural Scientific Centre (Omsk, Russia); boicko.vasily2011@yandex.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)