



ИЗМЕНЕНИЕ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

В.С. Бойко, В.Н. Якименко, А.Ю. Тимохин

**Омский аграрный научный центр,
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск**

Приведены результаты многолетних стационарных полевых опытов, показывающих, что длительный сильный дефицит баланса калия в агроценозах приводит к существенному ухудшению калийного состояния почвы. Совместное систематическое внесение калийных, азотных и фосфорных удобрений обеспечивало оптимизацию калийного состояния почвы. Показано, что оценка калийного состояния почв должна проводиться на основе комплексного использования нескольких диагностических показателей.

Ключевые слова: калий, почва, агроценоз, формы калия, калийное состояние почвы

The Change in Potassium Status of Soils of Forest-Steppe of Western Siberia in Long-Term Agricultural Use

V.S. Boiko, V.N. Yakimenko, A.Yu. Timokhin

**Omsk Agricultural Research Center, 644012 Omsk, Russia,
Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Division, Russian Academy of Science, 630090
Novosibirsk, Russia**

The results of many years of stationary field experiments showing that a long-term severe deficit of potassium balance in agrocenosis leads to a significant deterioration of the potash condition of the soil. Systematic joint application of potassium, nitrogen and phosphorus fertilizers ensured the optimization of the soil's potash condition. It is shown that the assessment of the potassium state of the soil should be based on the integrated use of several diagnostic indicators.

Keywords: potassium, soil, agrocenosis, potassium forms, potassium state of the soil

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-11-66-71

Калий является важным элементом минерального питания растений, занимающим лидирующие позиции среди других элементов-биофилов по выносу с урожаями сельскохозяйственных культур. Тем не менее оптимизации калийного состояния почв агроценозов уделяется мало внимания по сравнению с азотом и фосфором, а использование калийных удобрений находится на минимальном уровне. В обоснование такого подхода обычно приводят тот факт, что основные пахотные почвы содержат довольно высокие запасы валового ка-

лия и его подвижных форм. Однако зачастую не учитывается, что длительная интенсивная сельскохозяйственная эксплуатация почвы может отразиться на почвенных запасах калия, влияя на урожайность и качество растениеводческой продукции.

Изучению изменений запасов калия в пахотных почвах посвящено значительное количество работ, однако опубликованные данные довольно противоречивы. Так, в работах [1, 2] отмечается, что длительная экстенсивная эксплуатация почвы привела к достоверному

снижению в ней содержания обменного калия, тогда как в контрольном варианте опыта [3] за 17 лет заметных изменений в содержании подвижного калия не произошло. Внесение калийных удобрений с различным дефицитом баланса калия в работах [4, 5] увеличивало почвенное содержание его подвижных форм. В то же время в опытах, приведенных в работах [6, 7], применение калийных удобрений, в т.ч. с положительным балансом, не приводило к увеличению количества обменного калия в почве. В многолетних опытах [8] ис-

пользование калийных удобрений вызывало увеличение содержания форм калия в почве, а в длительных опытах [9] при внесении калийных туков уровень подвижных форм калия в почве заметно уменьшился.

Неоднозначность имеющихся литературных данных по изменению содержания форм калия в почвах агроценозов, вероятно, связана с различиями в минералогическом и гранулометрическом составе изучаемых почв, варьированием доз вносимых удобрений, урожайностью культур и продолжительностью опытов. Ясность в этом вопросе необходима для рационального регулирования калийного состояния почв.

Особую значимость этот вопрос имеет для земледельческой зоны Западной Сибири, где калийные удобрения практически не применяются. Учитывая нарастающее истощение пахотных почв в отношении калия, мониторинг их калийного состояния и корректировка методов оценки обеспеченности почв этим элементом весьма актуальны.

Главные массивы пахотных земель Западной Сибири расположены в лесостепной зоне, где широкое распространение имеют различные черноземные и серые лесные почвы [10]. Результаты, полученные на определенных разновидностях этих почв, можно с большой долей уверенности экстраполировать на другие, генетически сопряженные почвы региона.

В этой связи цель исследований авторов — изучить изменение калийного состояния почв в стационарных полевых опытах в лесостепи Западной Сибири при их длительном сельскохозяйственном использовании.

Методика исследования

Объектами исследования служили почвы лесостепной зоны Западной Сибири — лугово-черноземная (южная лесостепь) и серая лесная (северная лесостепь).

Полевой опыт на лугово-черноземной тяжелосуглинистой почве был заложен в 1978 г. на научно-исследовательском стационаре СибНИИСХоза (Омская обл., Омский р-он). Следует отметить, что в результате многолетнего орошения в опыте и общей тенденции подъема уровня грунтовых вод в регионе в исследуемой почве со временем стали проявляться определенные признаки гидроморфизма [11]. На одном участке почвы в севообороте выращивали преимущественно многолетние и однолетние травы и травосмеси (далее — кормовой севооборот), на другом — зерновые культуры и травосмеси (зернотравяной севооборот). В опытах разрабатывались приемы повышения продуктивности выращиваемых культур при орошении [12]. В данной работе рассматриваются два наиболее контрастных варианта опытов — без удобрений и с внесением азота и фосфора. В связи с очень высоким содержанием калия (К) в исследуемой почве калийные удобрения не применялись. Побочная продукция зерновых и зернобобовых культур — солома — разбрасывалась при уборке по полю.

Стационарный полевой опыт на исходно целинной серой лесной среднесуглинистой почве был заложен в 1988 г. на научной станции ИПА СО РАН (Новосибирская обл., Искитимский р-он). На одном участке почвы выращивали

зерновые культуры в севообороте и кукурузу на силос (зерновой участок), рядом на другом — овощные культуры в севообороте и картофель (овощной участок) [13]. В опытах изучали влияние интенсивности калийного баланса на эколого-агрохимическое состояние агроценозов [14]. В данной статье рассматриваются наиболее контрастные варианты опытов: без удобрений, с внесением азота и фосфора (NP) и азота, фосфора и калия (NPK). Удобрения в форме Naa, Рсд и Кх вносили ежегодно весной перед посевом семян или высадкой рассады. В опытах учитывали и отчуждали с делянок как основную, так и побочную продукцию выращиваемых культур.

Закладку и проведение опытов осуществляли по общепринятой методике, повторность в опытах — четырехкратная. Анализ почвенных образцов проводили стандартными методами. Формы калия в почве определяли: легкообменный — в вытяжке 0,0025 М раствора CaCl₂, обменный — в 1 М CH₃COOH₄, необменный — в 1 М HNO₃.

Результаты и их обсуждение

Уровень минерального питания культур в опытах оказал существенное влияние на их продуктивность (табл. 1). Оптимизация азотно-фосфорного питания растений в опытах на лугово-черноземной почве способствовала значительному росту

Таблица 1. Общая урожайность культур, вынос и баланс К в длительных полевых опытах в лесостепи Западной Сибири

Table 1. The total crop yield, removal and balance K in long field experiments in the forest-steppe of Western Siberia

Варианты	Урожайность, ц к.е./га	К, кг/га	
		вынос	баланс
Чернозем*			
Без удобрений	1555/1373	6356/3905	-6356/-3905
NP	2091/2112	9394/5962	-9394/-5962
Серая лесная почва**			
Без удобрений	1960/1180	1950/2140	-1950/-2140
NP	2290/1370	2030/2350	-2030/-2350
NPK	3380/1650	3960/3180	+480/+250

*Кормовой севооборот — числитель, зернотравяной севооборот — знаменатель (1978–2018 гг.).

**Овощной участок — числитель, зерновой участок — знаменатель (1988–2010 гг.).

Таблица 2. Содержание калия различных форм в лугово-черноземной почве в длительном полевом опыте (1978–2018 гг.)

Table 2. Potassium content of various forms in meadow chernozems soil in a long field experiment (1978–2018)

Вариант	Содержание калия, мг/100 г почвы*		
	легкообменный	обменный	необменный
Целина (исходное)	4,0/2,7	60,0/51,9	215/193
Кормовой севооборот			
Без удобрений	1,8/0,8	32,5/24,2	179/168
NP	1,2/0,6	32,1/25,4	174/170
Зернотравяной севооборот			
Без удобрений	1,6/0,7	30,3/20,1	170/165
NP	1,1/0,6	30,7/20,4	169/168
НСР05	0,3	4,4	15

*Числитель – слой почвы 0–20 см, знаменатель – 20–40 см.

урожайности кормовых и зерновых культур относительно вариантов без удобрений. При этом отмечался и значительный дополнительный вынос калия урожаем. Высокие исходные запасы доступного растениям калия в данной почве не лимитировали калийное питание культур, обеспечивая повышенный вынос элемента отчуждаемой растительной продукцией и возможность длительного отрицательного калийного баланса в агроценозах.

Относительно невысокие запасы калия в серой лесной почве оказались не в состоянии обеспечивать безлимитное калийное питание выращиваемых растений в течение продолжительного времени. Дефицит почвенного калия стал ограничивать урожайность культур в вариантах NP до уровня, близкого к контрольному варианту, через 5–7 лет после начала опыта. Следует сказать, что в первые годы освоения исходно достаточно плодородной серой лесной почвы разница в урожайности культур между различными вариантами опытов была небольшой, а в дальнейшем она нарастала. Отметим, что безлимитное азотно-фосфорное питание культур в фоновом варианте не способствовало значительной дополнительной мобилизации почвенных запасов калия по сравнению с контролем, баланс калия на этих вариантах опыта был близким. Сбалансированное применение минеральных удобрений в ва-

риантах НРК обеспечивало существенный рост продуктивности выращиваемых культур по сравнению с контрольным и фоновым вариантами при бездефицитном калийном балансе.

Калийный фонд почвы обычно подразделяют на четыре взаимосвязанных компонента (формы), основываясь, прежде всего, на прочности связи тех или иных групп катионов калия с твердой фазой почвы: калий легкообменный (почвенного раствора) — обменный — необменный — минерального скелета (структурный). Первые три из них определяют эффективное плодородие почвы в отношении калия, что обуславливает необходимость их количественной и качественной оценки при мониторинге почвенного калийного состояния [14, 15].

Легкообменный калий, ввиду его малых абсолютных величин, не часто применяется для характеристики калийного состояния пахотных почв, хотя имеющиеся данные свидетельствуют о достаточно тесной связи этого показателя с урожаем и его хороших диагностических возможностей [8, 14, 15]. Уровень легкообменного калия дает представление о степени истощенности почвы, ее способности десорбировать ионы этого элемента в почвенный раствор. Заметим, что содержание легкообменного калия в почве является довольно универсальным индексом обеспеченности культур почвенным калием. При

сходных условиях калийного питания растений на разных почвах уровень легкообменного калия в них примерно одинаков, независимо от абсолютных значений содержания в этих почвах других калийных форм. Градации обеспеченности калием основных пахотных почв Западной Сибири по содержанию в них его легкообменной формы опубликованы нами ранее [14].

Содержание легкообменного калия в целинном черноземе было очень высоким — 4,0 мг/100 г в слое 0–20 см и 2,7 — в слое 20–40 см (табл. 2). Длительное сельскохозяйственное использование почвы в контрольном варианте вызвало существенное снижение запасов этой формы калия и в пахотном, и, особенно, в подпахотном слоях. Систематическое применение минеральных удобрений при варианте NP способствовало повышению продуктивности культур и, соответственно, дальнейшему снижению почвенного содержания легкообменного калия. Повышенный калийный фонд чернозема и высокая буферность его калийной системы позволяли в течение многих лет поддерживать интенсивность процессов десорбции калия в почвенный раствор на достаточно высоком уровне. Тем не менее за 40 лет проведения опыта обеспеченность исследуемого чернозема 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 нарастающей потребности выращиваемых культур в дополнительном калийном питании.

Уровень легкообменного калия в слое 0–20 см целинной серой лесной почвы (2 мг/100 г) был сопоставим с лугово-черноземной почвой. Однако невысокий калийный фонд данной почвы в условиях длительного дефицитного баланса этого элемента был не в состоянии поддерживать исходную или близ-

кую к нему концентрацию катиона в почвенном растворе (табл. 3). 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 овощного и зернового участков.

Обменный калий традиционно является самым распространенным показателем при мониторинге калийного состояния почв, используемым и в научных исследованиях, и в практическом земледелии. Изучению изменений запасов обменного калия в пахотных почвах посвящено значительное количество работ [1–9 и др.], однако опубликованные данные нередко довольно противоречивы.

В опытах авторов содержание обменного калия в исследуемых почвах отличалось в несколько раз, что не отразилось на общей закономерности существенного снижения почвенных запасов доступного растениям калия при длительном дефиците его баланса (см. табл. 1–3). Величина исходного (целинного) фонда калия в почве ожидаемо повлияла на скорость истощения калийных запасов.

В пахотном и подпахотном слое чернозема содержание обменного калия (см. 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. Однако вектор изменения калийного состояния данной почвы очевиден, что позволяет прогнозировать ее переход в недалеком будущем в класс обеспеченности с про-

Таблица 3. Калийное состояние серой лесной почвы в многолетних полевых опытах

Table 3. Potassium state of gray forest soil in long-term field experiments

Вариант	Содержание форм калия, мг/100 г почвы*		
	легкообменный	обменный	необменный
Целина (исходное)	2,0/0,7	12,0/9,5	120/100
Овощной участок (1988–2018 гг.)			
Без удобрений	0,4/0,4	6,5/6,8	92/95
NP	0,5/0,4	6,9/8,5	90/95
NPK	1,7/0,6	17,6/9,5	135/108
Зерновой участок (1988–2010 гг.)			
Без удобрений	0,4/0,5	7,8/8,3	97/95
NP	0,6/0,5	7,5/7,9	97/95
NPK	1,5/0,5	14,5/9,8	126/105
НСР05	0,2	3,2	12

*Числитель – слой почвы 0–20 см, знаменатель – 20–40 см.

блемным калийным питанием культур. Варианты без удобрений и NP не отличались между собой по масштабам снижения содержания обменного калия. В то же время, можно отметить тенденцию к интенсификации этого процесса в зернотравном севообороте по сравнению с кормовым.

Целинная серая лесная почва по стандартным градациям должна быть отнесена к среднеобеспеченной обменным калием (см. табл. 3). 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 варианте NPK, с систематическим применением калийных удобрений, содержание обменного калия в пахотном слое почвы несколько повысилось, а в подпахотном — осталось на уровне исходной целинной почвы (см. табл. 3).

Следует подчеркнуть, что содержание обменной формы калия в качестве показателя обеспеченности почвы и условий питания растений этим

элементом является несостоятельным при рассмотрении его без учета свойств конкретной почвы и, прежде всего, ее гранулометрического состава и емкости катионного обмена (ЕКО) [8, 14, 15]. Оценить реальный уровень обменного калия в почве можно только при сопоставлении его (выразив в мг-экв./100 г) с почвенной ЕКО. В исследованиях авторов [14] 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. 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 или в богатых элементом целинных почвах доля этого элемента в почвенной ЕКО могла достигать 5–7 % и более.

В исследуемой исходной 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 поч-

венный раствор. 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.

Целинная серая лесная почва (содержание физической глины 31–32 %, 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.

Результаты исследований авторов [14] показали, что обменный калий как диагностический показатель при мониторинге калийного состояния почв агроценозов довольно хорошо отражает режим накопления этого элемента и значительно хуже — масштабы его потребления культурами. При низкой насыщенности ЕКО почв калием содержание обменной формы не отражает действительные потери элемента с выносом урожая.

Содержание в почве обменного калия позволяет оценить ресурсы пополнения обменной формы этого элемента. Чем больше исходные запасы обменного калия, тем выше буферность почвенной калийной системы и тем дольше может поддерживаться приемлемый уровень наиболее подвижных фракций калия в почве агроценоза. В ряде упоминавшихся выше работ [1, 5–9, 13–15 и др.] наряду с изучением динамики обменного калия рассматривалось и изменение содержания его необ-

менной формы. Однако полученные результаты не всегда однозначны: в исследованиях одних авторов изменения содержания обменного и обменного калия в почве агроценоза проходили однонаправлено, тогда как в других — эти тренды не совпадали.

В опытах авторов при длительном дефицитном калийном балансе содержание обменного калия в исследуемых почвах закономерно снижалось (см. табл. 2 и 3). В абсолютных величинах — мг/100 г почвы — уровень обменного калия в черноземе снизился заметнее, чем в серой лесной почве, однако относительные значения (% исходного уровня) свидетельствуют, что запасы обменной формы этого элемента в серой лесной почве были истощены сильнее. В пахотном слое чернозема за 40 лет проведения опыта содержание обменного калия снизилось на 36–46 мг/100 г почвы, что составило примерно 19 % исходных запасов. В зернотравяном севообороте калийные запасы пахотного и подпахотного слоев почвы использовались более интенсивно, чем в кормовом (см. табл. 2). По грациям авторов [14] исследуемая тяжелосуглинистая почва исходно относилась к оптимально обеспеченным обменной формой калия (180–250 мг/100 г), а за время проведения опытов она перешла в разряд с неустойчивой обеспеченностью (< 180 мг).

Обеспеченность обменным калием серой лесной среднесуглинистой почвы исходно была на неустойчивом уровне [14], 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 обменного калия доходило 30 мг/100 г или на 25 % исходного уровня. Запасы обменного калия в поч-

ве овощного участка были истощены в большей степени, чем зернового. В вариантах с систематическим внесением калийных удобрений (NPK) содержание в почве обменного калия заметно возросло — на 6–15 мг/100 г (см. табл. 3).

Заключение

Проведенные длительные стационарные полевые опыты показали, что значимое ухудшение калийного состояния почвы при сильном дефиците баланса калия в агроценозах неизбежно и является лишь вопросом времени. В исходно среднеобеспеченной доступным для растений калием серой лесной почве его запасы стали лимитировать продуктивность культур уже через 5–7 лет после начала сельскохозяйственного использования почвы. Исходно очень высокообеспеченная доступным калием лугово-черноземная почва и через 40 лет эксплуатации формально относилась к этой категории, однако ряд дополнительных показателей свидетельствовал о нарастающем истощении данной почвы наиболее подвижными фракциями почвенного калия.

В результате исследований установлено, что для объективной оценки калийного состояния почвы 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 калийного состояния почвы, оценивают способность ППК десорбировать элемент в почвенный раствор, т.е. показывают, в какой степени почва истощена или обеспечена наиболее мобильными формами калия.

Показателем, позволяющим провести количественную оценку калийного состояния почвы, является содержание в ней обменного и обменного калия. Уровень обменной формы дает пред-

ставление 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 ука-

занных индексов является учет количества почвенной глинистой фракции как природного носителя наиболее подвижных форм калия.

Результаты проведенных исследований демонстрируют очевидный, по мнению авторов, факт — почвенные ресурсы доступного растениям ка-

лия вполне конкретны и исчерпаемы, их снижение до критического уровня, относительно быстрое на ограниченных опытных участках почв, неизбежно и на больших площадях при сохранении пренебрежительного отношения к почвенному калийному составу.

Литература

1. Носко Б.С. Изменение калийного фонда черноземов при распашке многолетней залежи. Почвоведение. 1999. № 12. С. 1474–1480.
2. Серeda Н.А., Лукьянов С.А., Богданов Ф.М., Халиуллин К.З. Изменение фонда обменного калия в черноземах Южного Урала при их длительном сельскохозяйственном использовании. Агрохимия. 2000. № 1. С. 13–22.
3. Кобзаренко В.И. Ресурсы фосфора и калия дерново-подзолистой почвы и возможности их мобилизации. Агрохимия. 1999. № 10. с. 12–23.
4. Прокошев В.В. Агрохимия калийных удобрений: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., МГУ, 1984. 40 с.
5. Демин В.А., Свиридов Д.А. Влияние различных систем удобрения на содержание форм калия в серой лесной почве. Известия ТСХА. 1997. Вып. 2. С. 95–99.
6. Соколова Т.А., Куйбышева И.П. Факторы, определяющие формы соединений и валовое содержание калия в серых лесных почвах. Почвоведение. 1989. № 2. С. 23–34.
7. Литвак Ш.И., Бабарина Э.А., Никитина Л.В. Баланс фосфора и калия в длительных опытах на черноземных почвах. Агрохимия. 1991. № 11. С. 8–17.
8. 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.
9. Забавская К.М., Собачкин А.А., Панков Н.К., Кореньков А.Д. Динамика форм калия в дерново-подзолистой почве под различными культурами. Химия в сельском хозяйстве. 1982. № 2. С. 9–14.
10. Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Западной Сибири. М., Наука, 1968. 383 с.
11. Бойко В.С., Снитсарь А.Е. Агромелиоративные приемы повышения продуктивности орошаемых земель. Омск, Изд-во ОмГАУ, 2002. 160 с.
12. Бойко В.С. Полевое кормопроизводство на орошаемых черноземах в лесостепи Западной Сибири. Омск, Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2019. 312 с.
13. Якименко В.Н. Влияние баланса калия в агроценозе на продуктивность культур и калийное состояние серой лесной почвы. Агрохимия. 2006. № 5. С. 3–11.
14. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
15. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М., Ледум, 2000. 185 с.

References

1. Nosko B.S. Izmenenie kaliinogo fonda chernozemov pri raspashke mnogoletnei zalezhi. Pochvovedenie. 1999. № 12. S. 1474–1480.
2. Sereda N.A., Luk'yanov S.A., Bogdanov F.M., Khal-iullin K.Z. Izmenenie fonda obmennogo kaliya v chernozemakh Yuzhnogo Urala pri ikh dlitel'nom sel'skokhozyaistvennom ispol'zovanii. Agrokhimiya. 2000. № 1. S. 13–22.
3. Kobzarenko V.I. Resursy fosfora i kaliya dernovo-podzolistoi pochvy i vozmozhnosti ikh mobilizatsii. Agrokhimiya. 1999. № 10. s. 12–23.
4. Prokoshev V.V. Agrokhimiya kaliinykh udobrenii: Avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. M., MGU, 1984. 40 s.
5. Demin V.A., Sviridov D.A. Vliyanie razlichnykh sistem udobreniya na soderzhanie form kaliya v seroi lesnoi pochve. Izvestiya TSKhA. 1997. Vyp. 2. S. 95–99.
6. Sokolova T.A., Kuibysheva I.P. Faktory, opredelyayushchie formy soedinenii i valovoe soderzhanie kaliya v serykh lesnykh pochvakh. Pochvovedenie. 1989. № 2. S. 23–34.
7. Litvak Sh.I., Babarina E.A., Nikitina L.V. Balans fosfora i kaliya v dlitel'nykh opytakh na chernozemnykh pochvakh. Agrokhimiya. 1991. № 11. S. 8–17.
8. Nosov V.V., Sokolova T.A., Prokoshev V.V., Isaenko M.A. Izmenenie nekotorykh pokazatelei kaliinogo sostoyaniya dernovo-podzolistykh pochv pod vliyaniem primeneniya kaliinykh udobrenii v dlitel'nykh polevykh opytakh. Agrokhimiya. 1997. № 5. S. 13–19.
9. Zabavskaya K.M., Sobachkin A.A., Pankov N.K., Koren'kov A.D. Dinamika form kaliya v dernovo-podzolistoi pochve pod razlichnymi kul'turami. Khimiya v sel'skom khozyaistve. 1982. № 2. S. 9–14.
10. Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv SSSR. Raiony Zapadnoi Sibiri. M., Nauka, 1968. 383 s.
11. Boiko V.S., Snitsar' A.E. Agromeliiorativnye priemy povysheniya produktivnosti oroshaemykh zemel'. Омск, Изд-во ОмГАУ, 2002. 160 с.
12. Boiko V.S. Polevoe kormoproizvodstvo na oroshaemykh chernozemakh v lesostepi Zapadnoi Sibiri. Омск, Изд-во ИП Makshevoi E.A., 2019. 312 s.
13. Yakimenko V.N. Vliyanie balansa kaliya v agrot-senoze na produktivnost' kul'tur i kaliinoe sostoyanie seroi lesnoi pochvy. Agrokhimiya. 2006. № 5. S. 3–11.
14. Yakimenko V.N. Kalii v agrotsenozakh Zapadnoi Sibiri. Novosibirsk, Изд-во SO RAN, 2003. 231 s.
15. Prokoshev V.V., Deryugin I.P. Kalii i kaliinye udobreniya. M., Ledum, 2000. 185 s.

В.С. Бойко – д-р с.-х. наук, заместитель директора по научной работе, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, г. Омск, пр. Королева 26, e-mail: boisko.vasily2011@yandex.ru • В.Н. Якименко – д-р биол. наук, зав. лабораторией, Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090 Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 8/2, e-mail: yakimenko@issa.nsc.ru • А.Ю. Тимохин – канд. с.-х. наук, зав. отделом, Омский аграрный научный центр, 644012 Россия, г. Омск, пр. Королева 26, e-mail: timoxin514@mail.ru

V.S. Boiko – Dr. Sci. (Agriculture), Deputy Director of Science, Omsk Agricultural Research Center, 644012 Russia, Omsk, Korolev Ave. 26, e-mail: boisko.vasily2011@yandex.ru • V.N. Yakimenko – Dr. Sci. (Biol.), Head of Laboratory, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Division, Russian Academy of Science, 630090 Russia, Novosibirsk, pr. Lavrentyeva, 8/2, e-mail: yakimenko@issa.nsc.ru • A.Yu. Timokhin – Cand. Sci. (Agriculture), Head of Department, Omsk Agricultural Research Center, 644012 Russia, Omsk, Korolev Ave. 26, e-mail: timoxin514@mail.ru