



ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ ОРОШАЕМЫХ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ИНТЕНСИВНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

Храмцов И.Ф., (✉) Бойко В.С.

Омский аграрный научный центр

Омск, Россия

(✉) e-mail: boicko.vasily2011@yandex.ru

Изучены закономерности фосфорного и калийного режима почв при совершенствовании агротехнологий орошаемого земледелия. Длительные исследования проходили в экспериментальном зернотравяном севообороте на орошаемой лугово-черноземной почве. Опытный участок расположен в южной лесостепи Омской области. Интенсивное использование орошаемой пашни при рациональном сочетании режимов влажности и минерального питания способствует получению максимальных урожаев кормовых и зерновых культур. Создание различных условий минерального питания за счет фонов с повышенной и высокой обеспеченностью подвижным фосфором с наложением на них разных вариантов агротехнологий позволило смоделировать возможные агроэкологические условия, формирующие контрастные показатели продуктивности культур. Сравнительная оценка эффективности различных агроприемов по выращиванию культур на орошаемом фоне свидетельствует, что приемы обработки почвы и предшественники не оказывали существенного влияния на содержание доступного фосфора в почве. Равновесное содержание подвижного фосфора при многолетнем отрицательном балансе изменилось незначительно. Систематическое внесение фосфорсодержащих удобрений заметно повысило фосфатный статус почвы. Однако адекватная оценка фосфатного состояния пахотных почв возможна при использовании нескольких диагностических индексов (методов). Длительное интенсивное использование орошаемой пашни снизило запасы легкообменного калия от 4 до 1–2 мг/100 г почвы в пахотном слое. Содержание обменного калия также снизилось почти в 2 раза, но почва остается в высоком и очень высоком классе обеспеченности им. Однако ряд показателей свидетельствует о нарастающем истощении ее наиболее подвижными фракциями почвенного калия. Более устойчивы запасы необменного калия, которые снизились за 40 лет примерно на 19%, и почва перешла в разряд с неустойчивой обеспеченностью.

Ключевые слова: чернозем, орошение, минеральное питание, фосфор, калий, удобрения

NUTRIENT REGIME OF IRRIGATED MEADOW-CHERNOZEM SOILS UNDER LONG-TERM INTENSIVE USE

Khramtsov I.F., (✉) Boyko V.S.

Omsk Agrarian Scientific Center

Omsk, Russia

(✉) e-mail: boicko.vasily2011@yandex.ru

The patterns of phosphorus and potassium status of soils were studied given the improvement of agricultural technologies of irrigated agriculture. Long-term studies were carried out in an experimental grain-grass crop rotation on irrigated meadow-chnozem soil. The experimental plot is located in the southern forest-steppe of Omsk region. Intensive use of irrigated arable land with a

rational combination of moisture and mineral nutrition regimes contributes to obtaining maximum yields of forage and grain crops. The creation of various conditions for mineral nutrition due to an increased and high supply of mobile phosphorus and with the application of different options of agricultural technologies made it possible to simulate possible agro-ecological conditions that form contrasting indices of crop productivity. A comparative assessment of the effectiveness of various agricultural approaches to growing crops under irrigation conditions indicates that soil cultivation techniques and forecrops did not significantly affect the content of available phosphorus in the soil. The equilibrium content of mobile phosphorus given a long-term negative balance changed insignificantly. The systematic application of phosphorus-containing fertilizers significantly increased the phosphate status of the soil. However, an adequate assessment of the phosphate status of arable soils is possible using several diagnostic indices (methods). Long-term intensive use of irrigated arable land has reduced the reserves of easily exchangeable potassium from 4 to 1–2 mg/100 g of soil in the arable layer. The content of exchangeable potassium has also decreased by almost 2 times, but the soil remains in a high and very high class of its availability. However, a number of indicators show its increasing depletion in the most mobile fractions of soil potassium. The reserves of non-exchangeable potassium are more stable, which have decreased by about 19% over 40 years, and the soil has passed into the category with an unstable supply.

Keywords: chernozem, irrigation, mineral nutrition, phosphorus, potassium, fertilizers

Для цитирования: Храмцов И.Ф., Бойко В.С. Питательный режим орошаемых лугово-черноземных почв при длительном интенсивном использовании // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 2. С. 5–12. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-2-1>

For citation: Khramtsov I.F., Boyko V.S. Nutrient regime of irrigated meadow-chnozem soils under long-term intensive use // *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 2, pp. 5–12. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-2-1>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Многолетний научный и практический опыт показывает, что эффективность орошаемого земледелия возрастает при внесении органических и минеральных удобрений, а также микроэлементов. При орошении создаются предпосылки для наиболее эффективного использования удобрений под все культуры и на всех почвах. Основное условие получения максимального эффекта применения удобрений – правильное сочетание поливного режима и удобрений.

Важным признаком плодородия является режим фосфора в почвах. Целенаправленное регулирование его агротехническими и мелиоративными приемами воздействует на запасы природных соединений фосфора в почвах с целью повышения их подвижности и усвояемости¹ [1–5].

Общеизвестно, что оптимальная доза фосфорных удобрений слабо зависит от типа почвы. Припосевное внесение P_{10-15} практически одинаково эффективно как на малоплодородных дерново-подзолистых почвах, так и на черноземах типичных и обыкновенных. Почв, богатых фосфором, в природе практически нет, уровень динамического равновесия фосфатных систем экстенсивно используемых почв находится на границе низких и средних значений обеспеченности фосфором [6, 7].

Калий как питательный элемент менее изучен, чем фосфор, в связи с тем, что в засушливых условиях при невысокой урожайности и высокой обеспеченности им почвы вопрос о применении калийных удобрений не так актуален, как фосфорных. Потреб-

¹Колбин С.А., Самохвалова Л.М., Прозоров А.С. Влияние условий увлажнения вегетационного периода на вынос фосфора яровой пшеницей в лесостепи Приобья // Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века: материалы Всерос. науч. конф., посвященной 110-летию Р.В. Ковалева. Новосибирск, 2017. С. 209–212.

ность в калии возрастает в связи с более интенсивным использованием пашни при высокой урожайности и насыщенности севооборотов культурами с высоким выносом его из почвы [8–10].

Цель работы – изучить закономерности питательного режима почв при совершенствовании агротехнологий орошаемого земледелия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть работы выполнена в стационарных опытах, заложенных в 1977–1978 гг. в двух четырехпольных севооборотах – зернотравяном и кормовом, объединенных с 1996 г. в один восьмипольный зернотравяной севооборот. Опытный участок расположен в южной лесостепи Омской области.

Климат местности типично континентальный. Сумма среднемесячных температур за период $>10^{\circ}\text{C}$ изменяется в пределах зоны орошения в среднем от 1900 до 2200°. Сумма осадков за вегетационный период составляет около 200 мм.

Почва лугово-черноземная среднесиловая, среднегумусная, тяжелосуглинистая с содержанием гумуса в слое 0–0,4 м 6,0–6,5%, мощность гумусового горизонта «А» – 0,45 м. Реакция почвенной среды в пахотном слое нейтральная: $\text{pH}_{\text{вод}} - 7,0-7,2$.

Режим влажности почвы (фоновый) поддерживали поливами в узких пределах (ВРК – 0,9–1,0 НВ) в слоях 0,5–1,0 м в зависимости от фазы развития и биологии культур. Норма полива преимущественно 300 м³/га.

Опыты двух- и трехфакторные. На начальном этапе (с 1978 по 1985 г.) они включали четыре фона питания: контроль (без удобрений) и с внесением удобрений в расчете на прибавку урожая (фоны I – III) и 4–5 вариантов обработки почвы под кормовые и зерновые культуры. За счет положительного баланса фосфора созданы фоны с его повышенным и высоким содержанием. На втором этапе (1986–1995 гг.) четыре фона по содер-

жанию подвижного фосфора в почве сочетались с различными нормами высева культур и азотных удобрений (1986–1990 гг.). Далее (1991–1995 гг.) проводили наложение на данные фоны азотных удобрений ($\text{N}_{0, 30, 60, 90}$), микроудобрений (Zn, Mo, Cu). Кроме этого осуществляли запасное внесение навоза 40 т/га (и без него), а также осуществляли компенсацию выноса фосфора в течение 10 лет внесением 60 кг д.в./га на фонах I–III.

С 1996 по 2020 г. принципиальным отличием схем опытов стал отказ от компенсации выноса фосфора и его положительного баланса фоновым внесением P_{60} с дальнейшей их детализацией наложением поперек имеющих фонов вариантов с внесением фосфора (P_{60}) и без него в сочетании с азотными ($\text{N}_{0, 30, 60, 90}$) удобрениями в зависимости от биологии культур.

Культуры, включенные в различные периоды лет в севооборот: люцерна, козлятник восточный, кострец безостый в одновидовых и смешанных посевах, донник двулетний белый и желтый, однолетние бобово-мятликовые смеси на зеленый корм основного и промежуточного посевов, на зерносеянец – весеннего посева, озимые (рожь, тритикале), суданская трава основного и поукосного посевов, в том числе в смеси с викой, бобами кормовыми, просо поукосного посева, сорго сахарное, капуста, зерновые и зернобобовые.

Размещение делянок систематическое, площадь их 360 м² (18 × 20 м). Повторность трех- и четырехкратная. Полив проводили ДКШ-64 «Волжанка». В полевых опытах применяли соответствующую серийную почвообрабатывающую, посевную и уборочную технику.

Организацию полевых опытов, наблюдений, учетов и лабораторных анализов осуществляли в соответствии с общепринятыми в земледелии и агрохимии методическими пособиями и указаниями. Это руководства для постановки полевых опытов и проведения полевых наблюдений², методики по химическому анализу почв³.

²Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.

³Агрохимические методы исследования почв: монография. М.: Наука, 1975. 656 с.

Анализ содержания подвижного фосфора различными методами и форм калия проведен единовременно в исходных (архивных) образцах и современной почве в 2018 и 2019 гг. соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Опыт ведения интенсивного сельскохозяйственного производства показал, что получение высоких урожаев невозможно без коренного улучшения фосфатного режима почв.

Сравнительная оценка эффективности различных агроприемов по выращиванию культур на орошаемом фоне свидетельствует, что приемы обработки почвы и предшественники не оказывали существенного влияния на содержание доступного фосфора в почве.

Уровень питания фосфором определялся созданием за счет положительного баланса фонов с повышенной, высокой и очень высокой обеспеченностью P_2O_5 и компенсацией выноса внесением фосфорсодержащих удобрений.

Уровень подвижного фосфора в контрольных вариантах опытов на лугово-черноземной почве изменился незначительно, несмотря на длительное отчуждение элемента из почвы. В то же время при систематическом

внесении фосфорных удобрений содержание подвижного фосфора существенно возросло (см. табл. 1).

Можно предположить, что величина этого показателя как диагностического параметра при мониторинге фосфатного состояния почв агроценозов довольно хорошо отражает режим накопления данного элемента и заметно хуже – масштабы его потребления (выноса) культурами. Это свидетельствует о целесообразности комплексного использования нескольких диагностических индексов для адекватной оценки фосфатного состояния пахотных почв.

За весь период исследований, учитывая трансформацию схем опытов при сохранении контрольных и в различной степени удобренных вариантов, внесено различное количество минеральных удобрений, в том числе фосфорсодержащих, в кормовом и зернотравяном севооборотах. Так, в кормовом севообороте с учетом биологии культур за 40 лет в удобренном варианте внесено 2739 кг д.в./га азота и 3288 кг д.в./га фосфора, в зернотравяном – 3138 и 2796 кг д.в./га соответственно. Ежегодная доза фосфора в кормовом севообороте составила примерно 82 кг д.в./га, в зернотравяном – около 70 кг д.в./га. Однако существенный ежегодный вынос фосфора при двух- и трехукосном использовании многолетних трав и двух

Табл. 1. Содержание фосфатов в почве при длительных полевых опытах (1978–2019 гг.)

Table 1. The content of phosphates in the soil of long-term field experiments (1978-2-2019)

Вариант	Слой почвы, м	Содержание фосфора, мг/кг почвы		
		по Чирикову	по Францесону	по Карпинскому
Целина (исходное)	0–0,2	143	9,5	2,2
	0,2–0,4	119	5,3	0,4
<i>Кормовой севооборот</i>				
Без удобрений	0–0,2	137	9,5	2,1
	0,2–0,4	114	6,1	0,7
NP	0–0,2	193	22,1	4,1
	0,2–0,4	129	8,6	1,6
<i>Зернотравяной севооборот</i>				
Без удобрений	0–0,2	132	10,1	2,9
	0,2–0,4	127	6,5	1,4
NP	0–0,2	271	26,6	8,3
	0,2–0,4	225	13,9	5,5
HCP ₀₅		20	2,8	1,6

урожаях однолетних кормовых культур снижали содержание подвижных форм фосфора в сравнении с зернотравяным севооборотом.

По мнению А.Е. Кочергина⁴, наиболее чувствительную оценку фосфатного состояния западносибирских почв обеспечивает метод Францесона. Очевидны стабильное содержание легкообменного фосфора в верхнем слое контрольных вариантов лугово-черноземной почвы в сравнении с исходным содержанием и явная тенденция соответствующего его увеличения в нижележащих почвенных слоях (см. табл. 1). Причиной такого явления может быть как относительно низкая подвижность соединений фосфора в этой почве, так и их определенная биогенная аккумуляция в верхних почвенных горизонтах при многолетнем выращивании трав, сопровождавшемся, возможно, некоторым повышением степени мобильности имевшихся почвенных фракций фосфатов. При систематическом применении фосфорных удобрений уровень легкоподвижного фосфора в лугово-черноземной почве достоверно возрастал, свидетельствуя о высокой обеспеченности культур доступными формами этого минерального элемента.

Высокая буферность лугово-черноземной почвы и ее повышенное естественное плодородие способствовали сохранению определенного уровня ионов фосфора в почвенном растворе даже при длительном сельскохозяйственном использовании. Однако значительное снижение продуктивности культур в экстенсивных агроценозах свидетельствует, что почвенные возможности в целом не безграничны.

Калий – также важный элемент минерального питания растений. Он занимает лидирующую позицию среди других элементов-биофилов по выносу с урожаем многих сельскохозяйственных культур, особенно кормовых. Однако оптимизации калийного состояния почв агроценозов уделяется меньшее внимание в сравнении с азотом и фосфором. Использование калийных удобрений

в современном земледелии Сибири находится на минимальном уровне. В обоснование такого подхода обычно приводят тот факт, что основные пахотные почвы содержат довольно высокие запасы валового калия и его подвижных форм. Однако часто не учитывается, что длительное интенсивное сельскохозяйственное использование почвы может отразиться на почвенных запасах калия, повлияв на урожайность и качество растениеводческой продукции [11].

Оптимизация азотно-фосфорного питания растений в опытах на лугово-черноземной почве способствовала значительному росту урожайности кормовых и зерновых культур относительно неудобренных вариантов. При этом отмечен значительный дополнительный вынос калия с урожаем. Высокие исходные запасы доступного растениям калия не лимитировали калийное питание культур, обеспечивая повышенный вынос элемента, отчуждаемого растениями, и возможность длительного отрицательного баланса калия в агроценозах.

Калийный фонд почвы подразделяют на четыре взаимосвязанных компонента (формы), основываясь на прочности связи тех или иных групп катионов калия с твердой фазой почвы: калий легкообменный (почвенного раствора), обменный, необменный, калий минерального скелета (структурный). Первые три формы определяют эффективное плодородие почвы в отношении калия, что обуславливает необходимость их количественной и качественной оценки при мониторинге почвенного калийного состояния почвы [11, 12].

Легкообменный калий ввиду его малых абсолютных величин редко применяется для характеристики калийного состояния пахотных почв, хотя имеющиеся данные свидетельствуют о достаточно тесной связи этого показателя с урожайностью и его хороших диагностических возможностях [12, 13]. Уровень легкообменного калия дает представление о степени истощенности почвы,

⁴Кочергин А.Е. Фосфатный фонд почв и его доступность растениям // Почвы Западной Сибири и повышение их плодородия. Омск: ОмСХИ. 1984. С. 12–19.

ее способности десорбировать ионы данного элемента в почвенный раствор.

Содержание легкообменного калия в почве – довольно универсальный индекс 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 ранее [12].

Содержание легкообменного калия в исходной почве было очень высоким – 4,0 мг/100 г в слое 0–0,2 м и 2,7 мг/100 г в слое 0,2–0,4 м (см. табл. 2).

Длительное сельскохозяйственное использование почвы в контрольном варианте вызвало существенное снижение 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 содержания легкообменного калия в почве. Повышенный калийный фонд лугово-черноземной почвы и высокая буферность его калийной системы позволяли в течение многих лет поддержи-

вать интенсивность процессов десорбции калия в почвенный раствор на достаточно высоком уровне. Однако за 40 лет проведения опытов обеспеченность исследуемой почвы легкообменным калием снизилась с очень высокой (4 мг/100 г почвы) до неустойчивой (1–2 мг) в пахотном слое всех вариантов и низкой (<1 мг/100 г) в подпахотном слое. Данное обстоятельство свидетельствует о нарастающей потребности выращиваемых культур в дополнительном калийном питании.

В пахотном и подпахотном слоях содержание обменного калия уменьшилось за 40 лет практически в 2 раза от исходного (от 52–60 до 20–32 мг/100 г), оставаясь, тем не менее, в высоком и очень высоком классе обеспеченности по стандартным градациям (см. табл. 2). Однако вектор изменения калийного состояния данной почвы очевиден, что позволяет прогнозировать ее переход в будущем в класс обеспеченности с проблемным 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 интенсификации этого процесса в зернотравяном севообороте в сравнении с кормовым.

В пахотном слое почвы за 40 лет проведения опыта содержание необменного калия

Табл. 2. Калийное состояние лугово-черноземной почвы в длительном полевом опыте (1978–2018 гг.)

Table 2. Potassium state of meadow-chnozem soil in the long-term field experiment (1978–2018)

Вариант	Слой почвы, м	Содержание форм калия, мг/100 г почвы		
		Легкообменный	Обменный	Необменный
Целина (исходное)	0–0,2	4,0	60,0	215
	0,2–0,4	2,7	51,9	193
<i>Кормовой севооборот</i>				
Без удобрений	0–0,2	1,8	32,5	179
	0,2–0,4	0,8	24,2	168
NP	0–0,2	1,2	32,1	174
	0,2–0,4	0,6	25,4	170
<i>Зернотравяной севооборот</i>				
Без удобрений	0–0,2	1,6	30,3	170
	0,2–0,4	0,7	20,1	165
NP	0–0,2	1,1	30,7	169
	0,2–0,4	0,6	20,4	168
НСР ₀₅		0,3	4,4	15

снизилось на 36–46 мг/100 г почвы, что составило примерно 19% от исходных запасов. В зернотравяном севообороте запасы калия в пахотном и подпахотном слоях почвы использовались более интенсивно, чем в кормовом (см. табл. 2). По предложенным грациям [13] исследуемая тяжелосуглинистая почва исходно относилась к оптимально обеспеченным необменной формой калия (180–250 мг/100 г). За время проведения опытов она перешла в разряд с неустойчивой обеспеченностью (< 180 мг).

ВЫВОДЫ

1. Содержание подвижного фосфора в контрольных вариантах при длительном отчуждении из почвы изменяется незначительно. Компенсация выноса фосфора из интенсивно используемых лугово-черноземных почв и его положительный баланс надежно поддерживают созданный оптимальный уровень его содержания, не снижая ни урожайности культур, ни почвенного плодородия, что равноценно полному использованию фосфатов.

2. Длительное сельскохозяйственное использование почвы в контрольных вариантах существенно снизило запасы легкообменного калия. Содержание обменного калия уменьшилось за 40 лет почти вдвое, оставаясь в высоком классе обеспеченности. Высоко обеспеченная доступным калием лугово-черноземная почва и через 40 лет использования формально относится к этой категории. Однако ряд дополнительных показателей свидетельствует о нарастающем истощении ее наиболее подвижными фракциями почвенного калия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. Динамика подвижных форм фосфора и калия в почвах длительных опытов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 3. С. 30–33.
2. Давлятишин И.Д., Лукманов А.А., Маметов М.И. Источники фосфора и оценка их вклада в подвижный фонд этого элемента в пахотных почвах в лесостепной зоне // До-

стижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 4. С. 21–24.

3. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: Издательство РАН, 2019. 328 с.
4. Цвей Я.П., Иванова В.В., Петрова Е.Т., Дубовый Ю.П. Влияние севооборота и системы удобрения на фосфатный режим чернозема выщелоченного // Земледелие. 2014. № 2. С. 17–20.
5. Шафран С.А., Кирпичников Н.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10.
6. Христенко А.А. Уровень динамического равновесия фосфатных систем пахотных почв // Агрохимия. 2004. № 5. С. 78–84.
7. Данилова А.А. Оптимальные дозы фосфорных удобрений (к почвенно-биохимическим аспектам проблемы) // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 3. С. 5–15.
8. Середа Н.А., Лукьянов С.А., Богданов Ф.М., Халимуллин К.З. Изменение фонда обменного калия в черноземах Южного Урала при их длительном сельскохозяйственном использовании // Агрохимия. 2000. № 1. С. 13–22.
9. Якименко В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах // Агрохимия. 2007. № 3. С. 5–11.
10. Лазарев В.И., Лазарева Р.И., Ильин Б.С., Боева Н.Н. Калийный режим чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании в различных агроэкосистемах // Агрохимия. 2020. № 2. С. 14–19.
11. Носко Б.С. Изменение калийного фонда черноземов при распахке многолетней залежи // Почвоведение. 1999. № 12. С. 1474–1480.
12. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири: монография. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. 231 с.
13. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения: монография. М.: Ледум, 2000. 185 с.

REFERENCES

1. Afanasyev R.A., Merzlaya G.E. Dynamics of mobile forms of phosphorus and potassium in soils of long-term experiments. *Doklady Rossi-*

- iskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk = Russian Agricultural Sciences, 2013, no. 3, pp. 30–33. (In Russian).
2. Davlyatshin I.D., Lukmanov A.A., Mamev M.I. Sources of phosphorus and their contribution to its reserves in arable soils in the forest-steppe zone. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2018, vol. 32, no. 4, pp. 21–24. (In Russian).
 3. Sychev V.G. *The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation*. Moscow, SO RAN Publ., 2019, 328 p. (In Russian).
 4. Tsvey Ya.P., Ivanina V.V., Petrova E.T., Dubovy Yu.P. Influence of crop rotation and systems of fertilizers on the phosphoric regime of leached black soil. *Zemledelie*, 2014, no. 2, pp. 17–20. (In Russian).
 5. Shafran S.A., Kirpichnikov N.A. Scientific bases for predicting the content of mobile forms of phosphorus and potassium in soils. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2019, no. 4, pp. 3–10. (In Russian).
 6. Khristenko A.A. The level of dynamic equilibrium of phosphate systems of arable soils. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2004, no. 5, pp. 78–84. (In Russian).
 7. Danilova A.A. Optimal doses of phosphorus fertilizers (soil-biochemical aspects of the problem) *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2019, vol. 49, no. 3, pp. 5–15. (In Russian).
 8. Sereda N.A., Lukyanov S.A., Bogdanov F.M., Halimullin K.Z. Changes in the stocks of exchangeable potassium in the chernozems of the Southern Urals during their long-term agricultural use. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2000, no. 1, pp. 13–22. (In Russian).
 9. Yakimenko V.N. Changes in the content of potassium forms depending on the soil profile with different potassium balance in agroecosystems. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2007, no. 3, pp. 5–11. (In Russian).
 10. Lazarev V.I., Lazareva R.I., Ilyin B.S., Boveva N.N. Potash regime in typical chernozem under its long-term agricultural use in different agroecosystems. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2020, no. 2, pp. 14–19. (In Russian).
 11. Nosko B.S. Changes in the potash fund of chernozems during plowing of a multi-year layland. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 1999, no. 12, pp. 1474–1480. (In Russian).
 12. Yakimenko V.N. *Potassium in the agroecosystems of Western Siberia*. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2003, 231 p. (In Russian).
 13. Prokoshev V.V., Deryugin I.P. *Potassium and potash fertilizers*. Moscow, Ledum Publ., 2000, 185 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Храмцов И.Ф., академик РАН, главный научный сотрудник

✉ **Бойко В.С.**, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе; **адрес для переписки:** Россия, 644012, г. Омск, пр. Королева, 26; e-mail: boicko.vasily2011@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

Ivan F. Khramtsov, RAS Academician, Head Researcher

✉ **Vasily S. Boyko**, Doctor of Science in Agriculture, Deputy Director of Research, **address:** 26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russia; e-mail: boicko.vasily2011@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 13.01.2021
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 12.03.2021
Дата публикации / Published 25.05.2021