



УДК 631.41:631.416.4

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ АГРОТЕХНОЛОГИИ НА КАЛИЙНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ В ДЛИТЕЛЬНЫХ ОПЫТАХ**THE INFLUENCE OF ELEMENTS OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY ON POTASH REGIME OF THE SOIL IN LONG-TERM EXPERIMENTS****А.П. Карабутов¹, Г.И. Уваров²****A.P. Karabutov¹, G. I. Uvarov²**¹ ГНУ Белгородский НИИСХ Россельхозакадемии, Россия, 308001, г. Белгород, ул. Октябрьская, 58² Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85*1 Belgorod Research Institute of Agriculture of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 58 Oktyabr'skaya St, Belgorod, 308001, Russia**2 Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia**E-mail: karabut.ap@mail.ru; uvarov@bsu.edu.ru*

Ключевые слова: чернозём типичный, севооборот, удобрения, основная обработка почвы, длительное применение, продуктивность, интенсивность баланса, коэффициент использования, формы калия.

Key words: chernozem typical, crop rotation, fertilizers, main processing of the soil, long application, efficiency, intensity of balance, efficiency, potassium forms.

Аннотация. При длительном (25 лет) испытании на чернозёме типичном видов севооборотов, приёмов основной обработки, минеральных удобрений и навоза установлено и смоделировано изменение содержания подвижного калия, рассчитан его баланс и коэффициенты использования. Значительных изменений в содержании подвижного калия в слое 0–30 см без удобрений за пять ротаций севооборотов не произошло, оно сохранялось на уровне повышенной обеспеченности и в среднем составило 88.9 мг/кг почвы. Минеральные удобрения в дозах N84-124P124K124 на фоне 8 и 16 т/га навоза повышали содержание подвижного калия до 128.8 мг/кг почвы, что соответствовало высокому уровню обеспеченности. Насыщение севооборотов пропашными культурами, а также использование вспашки увеличивало содержание подвижного калия в меньшей степени, однако зернопаропропашной севооборот увеличивает содержание подвижного калия до 114.1 мг/кг, а вспашка до 112.5 мг/кг почвы, что на 16% и 7% выше, чем в зернотравнопропашном севообороте и при мелкой обработке почвы соответственно. Положительный баланс калия обеспечивается только при двойных дозах минеральных удобрений. Соотношение количества поступившего калия в почву к количеству его выноса, выраженное в процентах (интенсивность баланса) при внесении навоза равнялось 39%, что в 2.6 раза меньше, по сравнению с минеральными удобрениями. Внесение N42-62P62K62 на фоне 16 т/га навоза приводит к увеличению интенсивности баланса более 80%. Зернопаропропашной севооборот обеспечивал интенсивность баланса на 75%, что в 1.2 раза меньше, по сравнению с зернопропашным, который обеспечивал баланс на 90%. Применение минеральных удобрений обеспечивает коэффициент использования калия на уровне 32%, навоза – 50%. При совместном внесении минеральных удобрений и навоза наибольшее значение показателя (46%) отмечали в варианте N42-62P62K62 + 16 т/га навоза, а зернопаропропашной севооборот обеспечивал его повышение в 1.2 раза, по сравнению с зернотравнопропашным. Основным фактором оптимизации калийного режима чернозёмов и получения наибольшей продуктивности сельскохозяйственных культур – внесение минеральных удобрений совместно с навозом. Насыщение севооборотов пропашными культурами увеличивает коэффициент использования калия на 17% и сбор зерновых единиц на 16%, а многолетними травами – интенсивность баланса калия на 7% и сбор переваримого протеина на 34%. Наряду с этим в качестве приема основной обработки почвы необходима вспашка под пропашные культуры.

Resume. At long (25 years) test on the chernozem of typical types of crop rotations, methods of the main processing, mineral fertilizers and manure it is established and simulated change of the maintenance of mobile and not exchange forms of potassium, the balance and potassium efficiency is calculated. For five rotations of crop rotations without fertilizing there were no considerable changes in the content of mobile potassium in a layer of 0...30 cm, it remained at the level of the increased security. Mineral fertilizers in double doses along manure applying raised the content of mobile potassium to the level of high security. Saturation of crop rotations with tilling crops, and also use of plowing, increase the content of mobile potassium to a low extent. The positive balance of potassium is provided only while double doses of mineral fertilizing. Manure creates intensity of balance only for 39% that is 2.6 times less in comparison with mineral fertilizing. Applying of N42-62P62K62 along with 16 t/ha of manure leads to more than 80% increase in intensity of balance. Cereal, tilling and fallow crop rotation reduces the intensity of balance of potassium by 1, 2 times in relation to cereal and tilling. Applying of mineral fertilizers provides the increase coefficient of potassium use up to 32%, manure – up to 50%. While joint applying of mineral fertilizers and manure the greatest efficiency of potassium (46%) was in variant with N42-62P62K62 option + 16 t/ha of manure. Cereal, tilling and fallow crop rotation increased coefficient of potassium use in 1.2 times in comparison with cereal, tilling and grasses crop rotation. Important factor of optimization of potassium balance in black soil and obtaining the greatest efficiency of crops, is applying mineral fertilizers along with manure. Saturation of crop rotations with tilling crops increases the efficiency of potassium use and collecting grain units, long-term grasses – the intensity of balance of potassium and collecting protein. Along with it it is necessary to use plowing as the main soil treatment while tilling crops cultivation.



Введение

Калий является одним из основных, наряду с азотом и фосфором, необходимым элементом минерального питания растений. Нахождение калия в почве связано с её гранулометрическим составом – чем он тяжелее, тем больше содержится в ней валового и подвижного калия. При поступлении калия в почву с удобрениями, в том числе и черноземе, происходит обменное и частично необменное его поглощение. Особенностью калийного режима почв является наличие постоянного динамического равновесия между различными формами калия [Панников, Минеев, 1987; Муха, 2004; Кирюшин, 2010; Брехов, Мязин, 2012].

Пахотные черноземы Центрально-Черноземного региона на современном этапе их использования относительно обеспечены подвижными формами калия (в среднем около 110 мг/кг почвы). Тем не менее, для стабилизации калийного режима чернозёмов как считают авторы [Чекмарёв, Лукин, 2011] необходимо увеличить поступление этого элемента в агроландшафты и довести интенсивность баланса до 80%.

Калийные удобрения являются основным фактором увеличения содержания доступного растениям калия. При недооценке этой роли на чернозёмных почвах происходит его интенсивная мобилизация из необменных форм [Давлятшин и др., 2013], что в последствие приводит к отрицательному балансу элемента, а в дальнейшем к снижению урожайности культур [Минакова, 2011; Раков, Сирота, 2013]. Мобилизация калия может происходить не только из его необменных форм, но и алюмосиликатов, что снижает буферную способность почвы, разрушает почвенный поглощающий комплекс [Прокошев, 1994; Якименко, 2007]. Следует учитывать, что при внесении удобрений на чернозёме имеет место и переход внесённого калия в необменную форму, и как результат содержание его подвижных форм в почве увеличивается незначительно [Кураков, 1992].

Данные обстоятельства обуславливают необходимость поиска приёмов, способствующих повышению содержания различных форм элемента, оптимизации калийного режима, обеспечению интенсивности баланса и продуктивности возделываемых сельскохозяйственных культур.

В стабилизации калийного режима чернозёмов главное место отводится применению минеральных и органических удобрений, которые способствуют повышению содержания различных форм калия в почве [Минакова и др., 2009; Носко и др., 2012; Донских и др., 2012; Уваров, Карабутов, 2012].

В свою очередь режим калия в агроландшафтах также зависит и от насыщенности севооборотов пропашными культурами, которые выносят основную часть запаса элемента и снижают содержание его подвижных форм. В таком случае требуется дополнительное внесение удобрений [Немченко, Суркова, 2010; Баршадская и др., 2011]. Активно повлиять на калийный режим можно приёмами основной обработки почвы [Синешёков и др., 2010; Воронцов, 2013].

Цель данной работы – установить влияние элементов агротехнологии возделывания культур на калийный режим чернозёма типичного в длительном стационарном опыте.

В задачи исследования входило изучение содержания обменных и необменных форм калия, установление связи между формами калия и показателями плодородия почвы, видами севооборотов, приемами обработки и удобрениями, выявление интенсивности баланса и коэффициента использования калия.

Объекты и методы исследований

Исследования проведены в многолетнем стационарном полевом опыте лаборатории плодородия почв и мониторинга Белгородского НИИСХ, заложенного в 1987 году. Калийный режим изучали под влиянием 3-х факторов: севооборотов, обработок и удобрений. Виды севооборотов (фактор А) включали: зерноотравнопропашной, в котором пропашные культуры составляли 20% (озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень + многолетние травы – эспарцет первого года пользования (1 г.п.) – эспарцет второго года пользования (2 г.п.); зернопропашной, где пропашные культуры составляли 40% (озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень – кукуруза на силос – горох) и зернопарпропашной – с 60% пропашных культур (озимая пшеница – сахарная свёкла – кукуруза на силос – кукуруза на зерно – черный пар). Севообороты в 2012 году прошли пятую ротацию.

Испытывали три приёма основной обработки почвы (фактор В): вспашку, безотвальную обработку и мелкую обработку. Вспашку (отвальным плугом) и безотвальную обработку (плугом типа «Параплау») проводили под горох и ячмень на глубину 20–22 см, под кукурузу на 25–27 см, под сахарную свёклу – 30–32 см. Мелкая обработка (дисковой бороной) проводилась под озимую пшеницу, горох и ячмень на глубину 10–12 см, а под кукурузу и сахарную свёклу на 13–15 см.



Удобрения (фактор С) вносили по схеме: без удобрений, минеральные удобрения в одинарных дозах, рассчитанных на простое воспроизводство плодородия, и в двойных – на расширенное. Одинарные дозы минеральных элементов в зернотравянопропашном севообороте в среднем составляли N42P62K62 кг/га, N62P62K62 – в зернопропашном и N52P62K62 – в зернопаропропашном. В качестве органического удобрения применяли навоз, который вносили один раз за ротацию севооборотов под сахарную свеклу в дозах, рассчитанных на простое и расширенное воспроизводство плодородия почвы (40 и 80 т/га, что соответствовало 8 и 16 т на 1 га севооборотной площади).

Почва опытного участка – чернозём типичный среднemosный малогумусный тяжело-суглинистый на лессовидном суглинке. Содержание гумуса (по Тюрину) на время закладки опыта составляло в слое 0–30 см 5.27–5.36%, общего азота (по Кьельдалю) – 0.29–0.31%, щёлочногидролизуемого азота (по Корнфилду) – 151–163 мг/кг почвы, подвижного фосфора и калия (по Чирикову), соответственно – 45–71 и 90–106 мг/кг почвы, рН_{KCl} – 5.6–5.8, степень насыщенности основаниями около 90%, нитрификационная способность почвы (по Кравкову) – 27.4–29.9 мг/кг почвы.

Содержание подвижного калия определяли по Чирикову (ГОСТ 26204-91), обменного – по Масловой и необменного по Пчёлкину. Интенсивность баланса рассчитывали по разности между поступлением калия с удобрениями и выносом его с урожаем. Коэффициент использования определяли по отношению разности выноса калия при внесении удобрений и без них. Продуктивность севооборотов выражали сбором зерновых единиц и переваримого протеина каждой культуры с 1 га.

Результаты и их обсуждение

Содержание подвижного калия в слое почвы 0-30 см перед закладкой опыта было повышенным, в тоже время оно не изменилось и спустя пять ротаций севооборотов без внесения удобрений. Раздельное или совместное внесение минеральных удобрений и навоза увеличивало содержание доступного калия, а двойные дозы создавали высокую степень обеспеченности (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Изменение содержания подвижного калия (по Чирикову) в почве в зависимости от видов севооборотов, приемов обработки и удобрений, мг/кг
Changing the content of mobile potassium (by Chirikov) in the soil, depending on the types of crop rotations, methods of processing and fertilizer mg/kg

Факторы	Содержание подвижного калия по слоям почвы и его изменение (+/-) по отношению к 1987 г.					
	0–30 см			30–50 см		
	1987 г	2012 г	+/-	1987 г	2012 г	+/-
Севообороты						
Зернотравянопропашной	93.1	92.5	-0.6	95.0	59.6	-35.4
Зернопропашной	95.0	118.1	23.1	98.2	60.1	-38.1
Зернопаропропашной	97.8	137.1	39.3	100.1	74.8	-25.3
Приемы обработки						
Вспашка	95.5	123.9	28.4	97.1	72.2	-24.8
Безотвальная	94.1	111.5	17.4	96.5	61.1	-35.4
Мелкая	96.3	112.3	16.0	99.7	61.1	-38.6
Удобрения						
Без удобрений	94.4	89.8	-4.6	100.2	59.8	-40.4
N42-62P62K62	93.3	100.9	7.6	97.7	64.8	-32.9
N84-124P124K124	94.7	118.4	23.7	95.4	69.6	-25.7
Фон 1 – 8 т/га навоза	94.4	106.8	12.4	95.9	60.4	-35.6
Фон 1 + N42-62P62K62	99.1	110.8	11.7	99.9	66.6	-33.3
Фон 1+ N84-124P124K124	99.9	134.9	35.0	99.9	66.0	-33.8
Фон 2 – 16 т/га навоза	92.8	106.9	14.1	95.4	65.8	-29.6
Фон 2+ N42-62P62K62	94.6	127.9	33.3	96.7	65.7	-31.0
Фон 2+ N84-124P124K124	94.7	146.5	51.8	98.9	64.6	-34.3

Виды севооборотов и приемы обработки почвы способствуют увеличению содержания подвижного калия. Среди севооборотов выделяется зернопропашной и зернопаропропашной, а среди приемов обработки – вспашка.

Обеспеченность подвижным калием в слое почвы 30–50 см средняя. Содержание его снизилось за 5 ротаций севооборотов без удобрений в среднем по севооборотам и приемам об-



работки на 33 мг/кг почвы. Однако снижение содержания его было меньше при совместном внесении двойных доз удобрений, а также в зернопаропропашном севообороте и на фоне вспашки.

Изучаемые приемы влияют на содержание в почве не только подвижного калия, но и его обменных и необменных форм. Возделывание культур в зернопаропропашном севообороте повышает содержание подвижного и обменного калия в слое почвы 0–30 см в 1.4–1.5 раза по сравнению с зернотравянопропашным (табл. 2). Зернопаропропашной севооборот увеличивает содержание подвижных форм калия в слое 30–50 см в 1.2–1.3 раза по сравнению с зернотравянопропашным. Возможно, это связано с увеличением кислотности и повышением запасов влаги в севообороте с большим насыщением пропашных культур [Уваров, Карабутов, 2012]. Многолетние травы в зернотравянопропашном севообороте способствуют снижению запасов влаги в почве, что, вероятно, приводит к снижению содержания доступного калия в почве. В тоже время зернотравянопропашной севооборот, улучшая состав поглощённых оснований, структурное состояние и азотный режим почвы, способствует повышению содержания необменных форм калия.

Таблица 2

Table 2

**Влияние севооборотов, обработок и удобрений на содержание форм калия
в почве после пятой ротации, мг/кг почвы**
**Effect of crop rotation and fertilizer treatments on the content of the forms
of potassium in the soil after the fifth rotation, mg/kg soil**

Факторы	Подвижный по Чирикову		Обменный по Масловой		Необменный по Пчелкину	
	0–30 см	30–50 см	0–30 см	30–50 см	0–30 см	30–50 см
Севообороты						
Зернотравянопропашной	92	60	217	165	580	625
Зернопаропропашной	137	75	298	183	535	612
Приемы обработки						
Вспашка	124	72	261	182	552	601
Мелкая	112	61	254	166	563	636
Удобрения						
Без удобрений	90	60	219	164	555	617
N84-124P124K124	118	70	255	175	540	605
Фон – 16 т/га навоза	107	66	250	173	555	609
Фон + N84-124P124K124	147	65	305	184	580	643
<i>НСР₀₅ по факторам:</i>	<i>A</i>	<i>11</i>	<i>7</i>	<i>14</i>	<i>9</i>	<i>21</i>
	<i>B</i>	<i>7</i>	<i>5</i>	<i>7</i>	<i>9</i>	<i>16</i>
	<i>C</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>14</i>

Как показали результаты исследований, вспашка в отличие от мелкой обработки почвы способствует повышению содержания подвижного калия за счет мобилизации его из необменных форм, в тоже время она снижает содержание неподвижных форм.

Удобрения повышают содержание различных форм калия не только потому, что являются источником доступных растениям элементов питания, но и благодаря их влиянию на состав почвенно-поглощающего комплекса, структурно-агрегатный состав и азотный фонд почвы. Минеральные удобрения и навоз увеличивают содержание подвижных форм калия в 1.2–1.3 раза по отношению к варианту без удобрений. Совместное их внесение увеличивает содержание подвижных форм калия в 1.4–1.6 раза и незначительно неподвижных. Возможно, часть внесенного с удобрениями калия переходит в необменное состояние.

Внесение двойных доз навоза и минеральных удобрений незначительно увеличивает содержание подвижных форм калия.

Содержание в почве анализируемых форм калия зависит от показателей её плодородия и продуктивности севооборотов. Для выяснения этого мы провели корреляционный анализ зависимости содержания доступных форм калия от ряда показателей плодородия почвы, которые были получены ранее в этом же опыте [Уваров, Карабутов, 2012].

Корреляционный анализ показал, что содержание доступных формы калия (после 5-ой ротации севооборотов) зависит в средней и сильной степени от таких показателей чернозема типичного как обменная кислотность, содержание подвижного фосфора, запасы продуктивной влаги, сбор зерновых единиц за севооборот. Содержание же необменного калия имеет высокую связь с такими показателями плодородия почвы, как сумма поглощённых оснований, содержание щёлочногидролизующего и нитратного азота и коэффициент структурности почвы (табл. 3).



Таблица 3
Table 3

Коэффициенты парной корреляции (r) между формами калия, показателями плодородия почвы в слое 0–30 см и продуктивностью севооборотов
Pair correlation coefficients (r) between forms of potassium, indicators of soil fertility in the 0–30 cm layer and crop rotation productivity

Показатели плодородия почвы	Формы калия		
	подвижный	обменный	необменный
Общий гумус	-0.118	-0.163	0.455
pH	-0.536	-0.479	0.433
Сумма поглощенных оснований	-0.277	-0.319	0.619
Щелочногидролизуемый азот	-0.196	-0.262	0.716
Нитратный азот	-0.195	-0.242	0.692
Нитрификационная способность	0.027	0.008	0.477
Подвижный фосфор	0.728	0.662	-0.096
Общая биологическая активность	0.123	0.089	0.469
Коэффициент структурности почвы	-0.386	-0.432	0.635
Запасы влаги	0.732	0.777	-0.487
Сбор зерновых единиц	0.789	0.752	-0.060
Сбор переваримого протеина	0.195	0.121	0.382

Полученные зависимости позволяют провести корреляционно-регрессионный анализ и получить множественные регрессионные модели для определения содержания подвижного калия по Чирикову и необменного по Пчёлкину:

$$Y = -162.1 + 10.37X_1 + 0.33X_2 + 1.30X_3, R = 0.893, \quad (1)$$

где Y – содержание подвижного калия, мг/кг; X₁ – pH, ед., X₂ – содержание подвижного фосфора, мг/кг; X₃ – запасы влаги, мм; R – коэффициент множественной корреляции;

$$Y = -549.3 + 16.91X_1 + 5.12X_2 - 29.78X_3, R = 0.859, \quad (2)$$

где Y – содержание необменного калия, мг/кг; X₁ – сумма поглощённых оснований, ммоль/кг почвы, X₂ – содержание щёлочногидролизуемого азота, мг/кг; X₃ – коэффициент структурности почвы.

Данные позволяют разработать множественные регрессионные модели для определения содержания подвижного калия в зависимости от вида севооборота, приёмов основной обработки почвы, доз применяемых удобрений и длительности их применения:

$$Y = 58.94 + 0.40X_1 + 0.45X_2 + 0.20X_3 + 1.18X_4, R = 0.898, \quad (3)$$

где Y – содержание подвижного калия, мг/кг; X₁ – насыщенность севооборота пропашными культурами, %; X₂ – глубина обработки почвы, см; X₃ – доза минерального калия, кг/га; X₄ – доза навоза, т/га.

$$Y = 52.69 + 0.43X_0 + 0.41X_1 + 0.48X_2 + 0.26X_3 + 1.45X_4, R = 0.756, \quad (4)$$

где X₀ – количество лет применения агроприёмов.

Севообороты, приемы обработки почвы и удобрения оказывают влияние на интенсивность баланса калия, а также продуктивность севооборотов. Баланс калия в большей степени зависит от внесенных удобрений (табл. 4). Положительный баланс обеспечивался только при двойных дозах минеральных удобрений. Внесение минеральных удобрений обеспечивает интенсивность баланса в среднем порядка 101%, тогда как внесение навоза всего лишь 39%, т.е. в 2.6 раза меньше, чем минеральных удобрений. Наибольший положительный баланс калия наблюдался при совместном внесении двойных доз минеральных удобрений и навоза, где интенсивность в среднем ровнялась 142%.

Таблица 4
Table 4

Влияние видов севооборотов, обработок почвы и удобрений на интенсивность баланса, коэффициент использования калия и продуктивность севооборотов
(в среднем за 1988–2012 гг.)

Effect of crop rotation species, soil and fertilizer treatments on the intensity of the balance, the utilization rate of potassium and productivity of crop rotation (average for 1988–2012)

Факторы	Интенсивность баланса, %	Коэффициент использования, %	Продуктивность севооборотов (сбор, т/га)	
			зерновых единиц	переваримого протеина
1	2	3	4	5
Севообороты				
Зернотравянопропашной	80	31.9	22.2	2.59

Окончание таблицы 4
End of Table 4

1	2	3	4	5	
Зернопропашной	90	33.0	24.2	2.12	
Зернопаропропашной	75	37.2	25.8	1.93	
Приемы обработки					
Вспашка	80	34.7	24.3	2.22	
Безотвальная	81	32.2	24.2	2.22	
Мелкая	83	35.2	23.7	2.20	
Удобрения					
Без удобрений	2	-	16.8	1.62	
N42-62P62K62	73	37.2	23.1	2.12	
N84-124P124K124	128	27.6	26.0	2.37	
Фон 1 – 8 т/га навоза	28	55.1	19.8	1.86	
Фон 1 + N42-62P62K62	88	37.2	25.1	2.29	
Фон 1 + N84-124P124K124	138	28.1	27.6	2.52	
Фон 2 – 16 т/га навоза	50	44.9	21.6	2.01	
Фон 2 + N42-62P62K62	81	46.3	27.0	2.45	
Фон 2 + N84-124P124K124	146	29.9	29.8	2.69	
НСР ₀₅ по факторам:	A	4.9	4.2	0.8	0.16
	B	1.2	2.2	0.4	0.03
	C	2.2	3.3	0.5	0.05

Интенсивность баланса снижается в зернопаропропашном севообороте по отношению к зернопропашному в 1.2 раза.

Отмечается, что среди испытанных приемов обработки почвы вспашка способствует снижению интенсивности баланса калия.

В практике регулирования баланса калия очень важен показатель использования его из вносимых удобрений. Данные свидетельствуют, что зернопаропропашной севооборот повышает коэффициент использования калия в 1.2 раза по сравнению с зерноотравянопропашным севооборотом.

Коэффициент использования калия снижается при увеличении доз минеральных удобрений в 1.4 раза. В среднем применение минеральных удобрений обеспечивает использование калия на уровне 32%, тогда как коэффициент использования калия при внесении органических удобрений ровнялся 50%, что в 1.6 раза больше. При совместном внесении минеральных удобрений и навоза коэффициент использования калия был наибольшим при сочетании минеральных удобрений в дозах N42-62P62K62 + 16 т/га навоза. В этом случае он был больше в 1.25 раза, чем при внесении данных минеральных удобрений на фоне 8 т/га навоза.

Баланс и коэффициент использования калия связаны с продуктивностью культур севооборотов. Результаты исследований свидетельствуют, что наибольший сбор зерновых единиц обеспечивает зернопаропропашной севооборот, не смотря на то, что в нем одно поле севооборота ежегодно не даёт продукции. Сбор зерновых ед. здесь был в 1.2 раза выше, чем в зерноотравянопропашном севообороте. В тоже время по сбору переваримого протеина зерноотравянопропашной севооборот продуктивнее зернопаропропашного в 1.3 раза за счет участия в севообороте эспарцета.

Минеральные удобрения увеличили сбор зерновых единиц и переваримого протеина в среднем в 1.5 раза по отношению к контролю, а навоз в 1.2 раза. Внесение двойных доз минеральных удобрений и навоза приводит к максимальному увеличению продуктивности культур. Так сбор зерновых единиц и переваримого протеина увеличился в 1.7–1.8 раза по отношению к контролю.

Заключение

За пять ротаций севооборотов без удобрений не произошло значительных изменений в содержании подвижного калия в слое 0–30 см, оно сохранялось на уровне повышенной обеспеченности. Минеральные удобрения в двойных дозах на фоне навоза повышали содержание подвижного калия до уровня высокой обеспеченности. Насыщение севооборотов пропашными культурами, а также использование вспашки увеличивает содержание подвижного калия, но в меньшей степени. В слое почвы 30–50 см обеспеченность калием средняя. Содержание доступного калия снижается меньше при совместном внесении двойных доз удобрений в зернопаропропашном севообороте на фоне вспашки.



Влияние агроприёмов на содержание форм калия связано с их влиянием на другие показатели плодородия почвы. Так увеличение кислотности и запасов влаги в почве, способствует повышению содержания подвижного калия за счёт его мобилизации из недоступных форм. Улучшение структуры, состава поглощённых оснований и азотного состояния почвы способствует сохранению калия в необменной форме. Только совместное внесение минеральных удобрений и навоза приводит к увеличению различных форм калия: подвижных в 1.4–1.6 раза по сравнению с вариантом без удобрений. Насыщение севооборотов пропашными культурами и вспашка способствуют мобилизации калия из необменных форм.

Положительный баланс калия обеспечивается только при двойных дозах минеральных удобрений. Навоз создает интенсивность баланса всего лишь на 39%, что в 2.6 раза меньше, чем минеральные удобрения. Внесение N42-62P62K62 на фоне 16 т/га навоза приводит к увеличению интенсивности баланса более 80%. Зернопаропропашной севооборот снижает интенсивность баланса калия в 1.2 раза по отношению к зернопропашному.

Применение минеральных удобрений обеспечивает использование калия на уровне 32%, тогда как коэффициент использования калия при внесении навоза достигает 50%. При совместном внесении минеральных удобрений и навоза наибольший коэффициент использования калия (46%) был на варианте N42-62P62K62 + 16 т/га навоза. Зернопаропропашной севооборот повышал коэффициент использования калия по сравнению с зернопропашным севооборотом в 1.2 раза.

Основным фактором оптимизации калийного режима чернозёмов и получения наибольшей продуктивности сельскохозяйственных культур, является внесение минеральных удобрений совместно с навозом. Насыщение севооборотов пропашными культурами увеличивает коэффициент использования калия и сбор зерновых единиц, а насыщение многолетними травами – интенсивность баланса калия и сбор переваримого протеина. Наряду с этим среди приёмов основной обработки почвы необходима вспашка, хотя бы под пропашные культуры.

Список литературы References

1. Баршадская С.И., Квашин А.А., Дерка Ф.И. 2011. Плодородие чернозёма обыкновенного и продуктивность основных сельскохозяйственных культур. Плодородие, (2): 36–39.
Barshadskaja S.I., Kvashin A.A., Dereka F.I. 2011. Fertility chernozem ordinary and efficiency of major crops. Plodorodie, (2): 36–39. (in Russian)
2. Брехов П.Т., Мязин Н.Г. 2012. Формы калия в чернозёме типичном при многолетнем внесении удобрений. Агротехнический вестник, (4): 5–7.
Brehov P.T., Mjazin N.G. 2012. Forms of potassium in typical chernozem under long-term fertilization. Agrohimičeskij vestnik, (4): 5–7. (in Russian)
3. Воронцов В.А. 2013. Влияние способов основной обработки почвы на её водный и питательный режимы при возделывании сахарной свёклы. Земледелие, (4): 23–26.
Vorontsov V.A. 2013. Influence of ways of the basic soil cultivation on its water and nutrient regimes in the cultivation of sugar beet. Zemledelie, (4): 23–26. (in Russian)
4. Давлятшин И.Д., Лукманов А.А., Бадиков А.Н. 2013. Калий в пахотных почвах лесостепи. Плодородие, (2): 27–28.
Davljatshin I.D., Lukmanov A.A., Badikov A.N. 2013. Potassium in arable soils of forest-steppe. Plodorodie, (2): 27–28. (in Russian)
5. Донских И.Н., Мустафа Исра, Мязин Н.Г. 2012. Формы соединений калия в выщелоченном чернозёме при длительном применении различных систем удобрения в условиях ЦЧР. Плодородие, (6): 9–12.
Donskih I.N., Mustafa Isra, Mjazin N.G. 2012. Forms of the compounds of potassium in leached chernozem at long application of various fertilizer systems in the conditions of Central Black Earth region. Plodorodie, (6): 9–12. (in Russian)
6. Кирюшин В.И. 2010. Агротехническое почвоведение. М., КолосС, 687. (in Russian)
Kirjushin V.I. 2010. Agronomičeskoe pochvovedenie [Agronomic soil science]. Moscow, KolosS, 687. (in Russian)
7. Кураков В.И. 1992. Влияние удобрений на воспроизводство плодородия, урожайность и качество сахарной свёклы в севообороте. Дисс. ... док. с.-х. наук. Москва, 447.
Kurakov V.I. 1992. Vlijanie udobrenij na vosproizvodstvo plodorodija, urozhajnost' i kachestvo saharnoj svekly v sevooborote [Effect of fertilizers on the reproduction of fertility, yield and quality of sugar beet in the rotation]. Diss. ... doc. agricult. sciences. Moscow, 447. (in Russian)
8. Минакова О.А. 2011. Агротехнологические аспекты применения удобрений в зернопаропропашном севообороте лесостепи ЦЧР. Автореф. дисс. ... док. с.-х. наук. Воронеж, 49.
Minakova O.A. 2011. Agrojekologičeskije aspekty primeneniya udobrenij v zernoparopropashnom sevooborote lesostepi CChR [Agro-ecological aspects of the use of fertilizers in cereal, tilling and fallow crop rotation of forest-steppe of Central Black Earth region]. Abstract. dis. ... doc. agricult. sciences. Voronezh, 49. (in Russian)



9. Минакова О.А., Александрова Л.В., Тамбовцева Л.В. 2009. Влияние 70-летнего применения удобрений на плодородие чернозёма выщелоченного Лесостепи ЦЧР и урожайность культур зерно-свекловичного севооборота. *Агрохимия*, (4): 31–37.

Minakova O.A., Aleksandrova L.V., Tambovceva L.V. 2009. Effect of 70-year-old use of fertilizers on fertility of leached chernozem forest-steppe of Central Black Earth region and crop yield grain-beet crop rotation. *Agrohimija*, (4): 31–37. (in Russian)

10. Муха В.Д. 2004. Естественно-антропогенная эволюция почв (общие закономерности и зональные особенности). М., КолосС, 366.

Muha V.D. 2004. Estestvenno-antropogennaja jevoljucija pochv (obshhie zakonomernosti i zonal'nye osobennosti) [Natural evolution of anthropogenic soils (general patterns and area features)]. Moscow, KolosS, 366. (in Russian)

11. Немченко В.В., Суркова Ю.В. 2010. Продуктивность севооборотов и агрохимические показатели почвы при длительном использовании пашни. *Земледелие*, (7): 9–11.

Nemchenko V.V., Surkova Ju.V. 2010. Productivity of crop rotations and agrochemical parameters of soil with prolonged use of arable land. *Zemledelie*, (7): 9–11. (in Russian)

12. Носко Б.С., Бабынин В.И., Гладких Е.Ю. 2012. Последствие удобрений на физико-химические и агрохимические свойства чернозёма типичного. *Агрохимия*, (4): 3–13.

Nosko B.S., Babynin V.I., Gladkih E.Ju. 2012. Aftereffect of fertilizers on the physico-chemical and agrochemical properties of typical chernozem. *Agrohimija*, (4): 3–13. (in Russian)

13. Панников В.Д., Минеев В.Г. 1987. Почва, климат, удобрения и урожай. М., Колос, 414.

Pannikov V.D., Mmineev V.G. 1987. Pochva, klimat, udobrenija i urozhaj [Soil, climate, fertilizer and crop]. Moscow, Kolos, 414. (in Russian)

14. Прокопьев В.В. 1994. Калийные удобрения. Значение, производство, применение, экология. Международный институт калия, 67.

Prokoshev V.V. 1994. Kalijnye udobrenija. Znachenie, proizvodstvo, primenenie, jekologija [Potash fertilizers. Value, production, use, ecology]. Mezhdunarodnyj institut kalija [International Potash Institute], 67. (in Russian)

15. Раков А.Ю., Сирота М.А. 2013. Обменный калий как лимитирующий фактор урожайности. *Земледелие*, (7): 31–32.

Rakov A.Ju., Sirota M.A. 2013. Exchangeable potassium as a limiting factor of productivity. *Zemledelie*, (7): 31–32. (in Russian)

16. Синешёков В.Е., Васильева Н.В., Ткаченко Г.И., Аверкина С.С. 2010. Влияние минимизации основной обработки на агроэкологические свойства чернозёмов выщелоченных лесостепи Приобья. В кн.: Состояние и перспективы агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями. Материалы международной научно-методической конференции учреждений-участников Геосети России и стран СНГ (г. Москва, 10–11 июня 2010 г.). М.: 115–118.

Smeshh'okov V.E., Vasil'eva N.V., Tkachenko G.I., Averkina S.S. 2010. Minimize the impact of treatment on the main agro-ecological properties of leached chernozem steppe of Priob'e. In: Sostojanie i perspektivy agrohimicheskikh issledovanij v Geograficheskoj seti opytov s udobrenijami. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoj konferencii uchrezhdenij-uchastnikov Geoseti Rossii i stran SNG (g. Moskva, 10–11 ijunja 2010 g.) [Status and prospects of agrochemical research in geographic network experiments with fertilizers. Proceedings of the International Scientific Conference participating institutions GeoNetwork Russia and the CIS (Moscow, 10–11 June 2010)]. Moscow: 115–118. (in Russian)

17. Уваров Г.И., Карабутов А.П. 2012. Изменение свойств в черноземе типичном при применении удобрений в длительном полевом опыте. *Агрохимия*, (4): 14–20.

Uvarov G.I., Karabutov A.P. 2012. Changing the properties of typical chernozem in the application of fertilizers in the long-term field experiment. *Agrohimija*, (4): 14–20.

18. Чекмарев П.А., Лукин С.В. 2011. Мониторинг калийного режима чернозёмов ЦЧР. Достижения науки и техники АПК, (8): 3–5.

Chekmarev P.A., Lukin S.V. 2011. Monitoring of potassium regime chernozem Central Black Earth region. *Dostizhenija nauki i tehniki APK*, (8): 3–5. (in Russian)

19. Якименко В.Н. 2007. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах. *Агрохимия*, (3): 5–11.

Jakimenko V.N. 2007. Changing forms of potassium content in the soil profile at various potash balance in agrocenoses. *Agrohimija*, (3): 5–11. (in Russian)