

КАЛИЙНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ

© 2023 г. В. М. Назарюк¹, Ф. Р. Калимуллина^{1,*}

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090 Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 8/2, Россия

*E-mail: kalimullina@issa-siberia.ru

Поступила в редакцию 04.04.2023 г.

После доработки 12.05.2023 г.

Принята к публикации 15.08.2023 г.

В микрополевых опытах, проведенных на серой лесной почве, изучены изменения форм калия под влиянием внесения минеральных удобрений и растительных остатков. Показано, что почвенный калий, содержащийся в водорастворимой и легкообменной форме, изменялся в широких пределах. В условиях 2012 г. при внесении K60 на фоне азота и фосфора по сравнению с контролем возросло содержание водорастворимого калия примерно в 2, легкообменного — в 4 раза. В случае заделки растительных остатков в почву содержание калия в водорастворимой форме повысилось в 2 раза, легкообменной — в 2,5 раза соответственно. Содержание обменного калия изменялось в вариантах мало, изменения затрагивали в большей степени необменную форму. В частности, содержание необменного калия в 2018 г. по сравнению с 2012 г. снизилось в 1,5–2,0 раза, что потребовало создания более надежной основы для получения объективной информации о состоянии калийного фонда почв лесостепной зоны. Под влиянием K-удобрений в сочетании с растительными остатками стабилизировалась продуктивность растений, и при этом складывался положительный баланс калия в почве.

Ключевые слова: почва, формы калия, севооборот, злаки, урожайность, растительные остатки, баланс.

DOI: 10.31857/S0002188123110108, **EDN:** PQVHGS

ВВЕДЕНИЕ

Получение устойчиво высокой продуктивности сельскохозяйственных культур невозможно добиться без надежного обеспечения растений калийным питанием [1, 2]. Особенно остро такая ситуация возникает на почвах легкого гранулометрического состава [3, 4], подверженных водной и ветровой эрозии [5, 6], при размещении культур в системе севооборотов без достаточного обоснования специфики конкретных почвенно-климатических условий [7, 8]. Все это отражается на экологической устойчивости агроценозов к неблагоприятным условиям окружающей среды [9] и, как следствие, нередко вызывает снижение продуктивности культур. Решение данной проблемы затрагивает особенности заделки соломы в пахотный слой [10, 11], поиск оптимальных доз минеральных удобрений, изученность которых в настоящее время сильно отличается между собой как в географическом, так и почвенно-экологическом аспектах [12, 13].

Обоснована специфика калийного питания растений [14, 15], основанная на изучении влияния длительного применения удобрений на разных типах почв, выявлении показателей, характеризующих их калийное состояние в агроценозах. Установлено [16], что урожайность озимой пшеницы >30 ц/га можно получить во всех почвенно-климатических зонах страны только на высококультурных почвах. Внесение полного минерального удобрения N90P90K90 способствовало повышению содержания всех форм калия в почве на 20–50% [17]. В минеральном питании растений значительно лучше изучена проблема, связанная с изучением роли растительных остатков в азотном режиме почв и продуктивности растений. Однако крайне недостаточно проведено исследований, направленных на выяснение роли растительных остатков и их сочетания с минеральными удобрениями в формировании калийного фонда почв.

Цель работы — изучить состояние форм калия в серой лесной почве и обосновать эффективность применения минеральных удобрений при

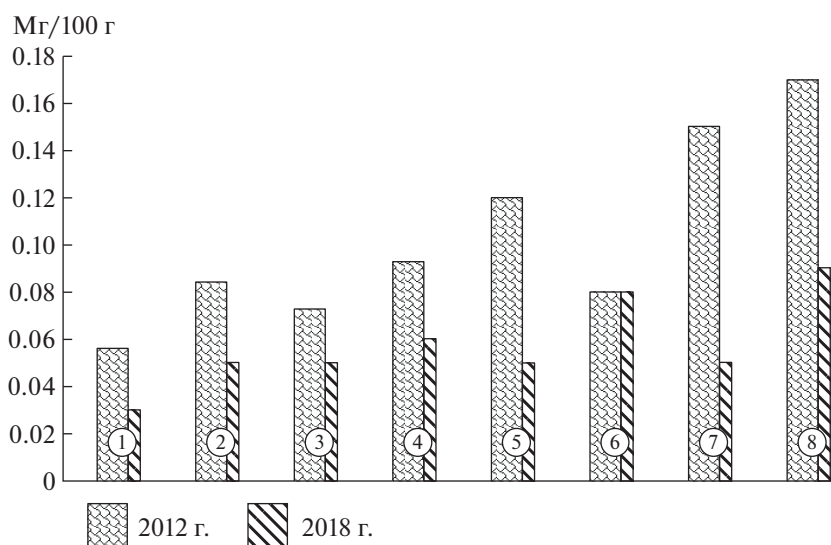


Рис. 1. Влияние минеральных удобрений и растительных остатков (PO) на аккумуляцию водорастворимого калия в почве, варианты: 1 – контроль без удобрений, 2 – запахка PO, 3 – N30P20K30, 4 – N30P20K30 + PO, 5 – N60P40K60, 6 – N60P40K60 + PO, 7 – N90P60K90, 8 – N90P60K90 + PO.

запахивании растительных остатков в системе севооборота.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение эффективности внесения минеральных удобрений и заделки в почву соломы проводили в модельном полевом севообороте с чередованием культур: овес сорта Ровесник–ячмень сорта Ача–пшеница сорта Новосибирская 22 с 2014 по 2016 г. Учетная площадь делянки составляла 1 м². Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистого гранулометрического состава, слабо обогащена гумусом (3.94%), имела низкое содержание обменного калия, pH 7.2. Почву каждой делянки оборачивали полиэтиленовой пленкой на глубину пахотного слоя. Почвенные образцы отбирали весной и осенью, растительные – в фазах кущения и уборки урожая.

Потребность растений в макроэлементах рассчитывали, исходя из эффективных доз минеральных удобрений, установленных ранее в полевых опытах [18, 19]. В качестве органического удобрения использовали пожнивные и корневые остатки, надземную вегетативную массу зерновых культур (солому), которые измельчали после уборки урожая и затем осенью заделывали в почву.

Аналитическую работу выполняли в трехкратной повторности следующими методами: содержание водорастворимого калия определяли при взаимодействии воды с почвой в соотношении 1:5, легкообменного калия – в 0.005 н. CaCl₂, обменного – в 1 н. CH₃COONH₄ (по Масловой), не-

обменного – в 2 н. HCl (по Пчелкину). Запасы почвенного калия рассчитывали, исходя из содержания элемента (данные получены нами) и плотности сложения для серой лесной почвы [20]. Доступный для растений калийный пул в почве определяли как суммарную величину водорастворимой, легкообменной, обменной и необменной форм. Полагали, что структурный и матричный калий при применении минеральных удобрений вряд ли может иметь существенное значение в калийном питании растений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование показало, что в начальный период освоения севооборота (2012 г.) минимальное содержание водорастворимого калия в почве было отмечено в контрольном варианте (рис. 1).

Заделка в почву растительных остатков заметно повысила содержание калиевых соединений, что связано с активизацией перехода легкорастворимых солей в почвенный раствор. Внесение минимальной дозы удобрений N30P20K30 без растительных остатков практически не отразилось на дальнейшем повышении содержания водорастворимого калия в почве, что свидетельствовало о примерно одинаковом воздействии растительных остатков и минеральных удобрений на почву при усвоении элемента из почвенного раствора. И только при увеличении дозы азота, фосфора и калия в 2 раза возросло количество водорастворимого калия, причем внесение минеральных удобрений иногда могло иметь не-

которое преимущество перед органическими. Внесение максимальной дозы NPK в начальный период вегетации культур обеспечило самое высокое содержание водорастворимых солей калия в почве.

В результате обменных процессов содержание водорастворимых форм K^+ стабилизировалось на определенном уровне содержания калия в почве. Содержание водорастворимого калия за длительный период (с 2012 по 2018 гг.) снизилось во всех вариантах опыта примерно в 1.5–2.0 раза. Исключение составил лишь вариант N60P40K60, в котором содержание водорастворимого калия в почве в разные периоды было одинаковым и составило 0.5 мг/100 г. Полагаем, что это связано с различным усвоением калия растениями из водорастворимой формы в начальный период и в конце ротации, что привело к выравниванию почвенных процессов. Энергетические затраты, связанные с поглощением ионов K^+ корневыми волосками будут, очевидно, существенно меньше в начальный период севооборота, чем в заключительный, что и сказалось на распределении элемента в этой форме. Наиболее высокое содержание водорастворимого калия было в варианте N90P60K90 + растительные остатки (PO) в 2018 г. и минимальное — в контрольном варианте.

Изучение состояния легкообменной формы почвенного калия показало, что ее содержание во многом зависело от длительности использования минеральных удобрений и запахивания растительных остатков (табл. 1).

В контрольном варианте исходное содержание легкообменного калия в почве было весьма низким (≈ 1 мг/100 г). Оно постепенно снижалось и за 18 лет возделывания зерновых культур уменьшилось почти в 5 раз. Заделка в почву растительных остатков привела к существенному увеличению содержания легкообменного калия. В условиях 2012 г. его величина была восстановлена, однако в дальнейшем она вновь стабилизировалась на уровне 0.4 мг/100 г. Отсюда видно, что содержание легкообменного калия, связанное с процессами минерализации органического вещества, варьировало в довольно широких пределах. Однако в раннее проведенных исследованиях показано [21], что при длительном отрицательном балансе элемента всегда сохраняется определенный уровень легкообменного калия в почве, что дало возможность автору использовать содержание элемента в этой форме в качестве показателя обеспеченности почв калием.

Внесение минеральных удобрений в возрастающих дозах обычно повышало содержание легко-

Таблица 1. Содержание и запасы легкообменного калия в почве при многолетнем внесении минеральных удобрений и растительных остатков (PO)

Вариант	1998 г.		2012 г.		2018 г.	
	1	2	1	2	1	2
Контроль	0.9	18	0.4	9	0.2	4
PO	—	—	0.9	16	0.4	7
N30P20K30	0.8	17	0.8	17	0.5	11
N30P20K30 + PO	—	—	1.1	20	1.1	20
N60P40K60	0.9	18	1.6	35	0.7	15
N60P40K60 + PO	—	—	1.8	32	1.1	20
N90P60K90	0.8	17	2.4	53	1.1	24
N90P60K90 + PO	—	—	2.2	40	1.5	27
HCP ₀₅	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	1

Примечание. В графе 1 — содержание калия, мг/100 г, в графе 2 — запасы элемента, кг/га.

обменного калия в почве независимо от условий года. Наибольшее его содержание отмечали в почве в середине ротации зернового севооборота и существенно меньшее — в конце вегетационного периода в 2018 г. Изменения в содержании легкообменного калия в почве, вероятно, были связаны с различной интенсивностью минерализации органического вещества, что влияло на темпы высвобождения катиона в пахотном горизонте. Применение минеральных удобрений в дозах K60–90 заметно увеличивало содержание калия в этой форме. Заделка в почву растительных остатков на фоне минеральных удобрений стимулировало повышение содержания легкообменного калия. Учитывая высокую усвояемость этой формы корневой системой растений, она имеет важное значение в калийном режиме почвы в течение всего периода вегетации. Под влиянием минеральных удобрений возрастали запасы легкообменного калия в почве, которые во многом отражали определенную закономерность ее содержания. В условиях 2012 г. максимальные запасы наблюдали при внесении минеральных удобрений в дозе N90P60K90, в 2018 г. — при их сочетании с растительными остатками.

Содержание обменного калия мало изменялось под влиянием минеральных удобрений, использованных в минимальной дозе (табл. 2). При их внесении в повышенной дозе, особенно максимальной, отмечали заметное увеличение содержания обменного калия в почве. Хотя в некоторых случаях выявили лишь тенденцию к возрастанию содержания этой формы, что, по-видимому, было связано с гранулометрическим составом исследованной почвы. Она обладала значительной емкостью катионного обмена (ЕКО) [22], что в опреде-

Таблица 2. Роль минеральных удобрений и растительных остатков (*PO*) в формировании запасов обменного калия в почве

Вариант	1998 г.	2012 г.	2018 г.	В среднем за 18 лет	Lim изменений
Контроль	10.6	8.9	9.0	9.5	7.9–10.4
<i>PO</i>	—	10.1	10.9	10.5	9.2–11.6
N30P20K30	10.2	9.7	11.1	10.3	8.1–12.6
N30P20K30 + <i>PO</i>	—	13.4	14.6	14.0	9.8–17.9
N60P40K60	10.9	12.8	12.5	12.1	10.4–15.2
N60P40K60 + <i>PO</i>	—	13.9	17.9	15.9	10.8–20.0
N90P60K90	10.0	14.1	12.9	12.9	9.8–16.0
N90P60K90 + <i>PO</i>	—	15.9	19.3	17.6	10.0–19.2
<i>HCP</i> ₀₅	0.6	0.8	0.9		

ленной степени нивелировало незначительные изменения в физико-химических процессах в серой лесной почве и ее поглотительной системе. Заделка в почву растительных остатков влияла существенно на содержание обменного калия в почве, что наблюдали как при минимальной дозе удобрений, так и максимальной. За 18 лет выращивания зерновых культур на фоне достаточного минерального питания, что обеспечивалось внесением дозы N90P60K90, в случае запахивания растительных остатков содержание обменного калия в почве возросло в 2 раза. Пределы изменений оказались значительными, во всех удобренных вариантах опыта наблюдали существенные отклонения в содержании обменного калия.

В системе применения удобрений важно оценить возможности обеспечения растений почвенным калийным питанием [23]. Экспериментально найдено, что для большинства культур при их возделывании на серой лесной почве среднесуглинистого гранулометрического состава содержание обменного калия должно быть на уровне 16–18 мг/100 г. Оказалось, что в проведенных нами опытах содержание обменного калия в почве при систематическом внесении повышенных доз удобрений изменялось в довольно близких пределах — 15–20 мг/100 г, в других ситуациях оно было заметно меньше рекомендуемого уровня. Следовательно, зерновые культуры, возделываемые на серой лесной почве, нуждаются в усиленном калийном питании для получения высокой продуктивности и требуют наряду с внесением азота и фосфора заделку в пахотный слой растительных остатков, содержащих в своем составе значительное количество калия.

Необменный поглощенный калий играет важную роль в снабжении растений этим элементом в течение всего периода вегетации. Показано [24], что такая форма калия связана с трехслойными

глинистыми минералами с расширяющимся типом кристаллической решетки, от химического состава которых зависят процессы фиксации—мобилизации. В серой лесной почве среднесуглинистого гранулометрического состава обычно содержится в пределах 55–65 мг/100 г. В проведенных нами опытах содержание необменного калия в контрольном варианте исходной почвы составило 47 мг и в конце опыта снизилось примерно до 40 мг/100 г (табл. 3). Наиболее высокое содержание необменного калия отмечали в условиях 2012 г. во всех вариантах опыта, затем оно начало снижаться, что, вероятно, было связано с различной калийной нагрузкой на агроценоз и неодинаковой потребностью культур в этом элементе в разных фазах их развития.

Внесение калийных удобрений зачастую повышало содержание необменного калия в почве по сравнению с контролем, иногда оставалось

Таблица 3. Влияние растительных остатков (*PO*) и минеральных удобрений на содержание необменного калия в почве (мг/100 г, графа 1) и соотношение между этой формой K_2O и обменной (графа 2)

Вариант	1998 г.		2012 г.		2018 г.	
	1	2	1	2	1	2
Контроль	47.5	4.5	52.3	5.9	39.9	4.4
<i>PO</i>	—		67.2	6.6	44.5	4.1
N30P20K30	43.7	4.3	65.3	6.7	47.7	4.3
N30P20K30 + <i>PO</i>	—		66.5	5.0	49.8	3.4
N60P40K60	43.1	3.9	59.0	4.6	48.6	3.9
N60P40K60 + <i>PO</i>	—		70.4	5.1	52.8	2.9
N90P60K90	46.0	4.6	61.6	4.4	53.0	4.1
N90P60K90 + <i>PO</i>	—		65.1	4.1	54.4	2.8
<i>HCP</i> ₀₅	2.6		3.9		2.8	

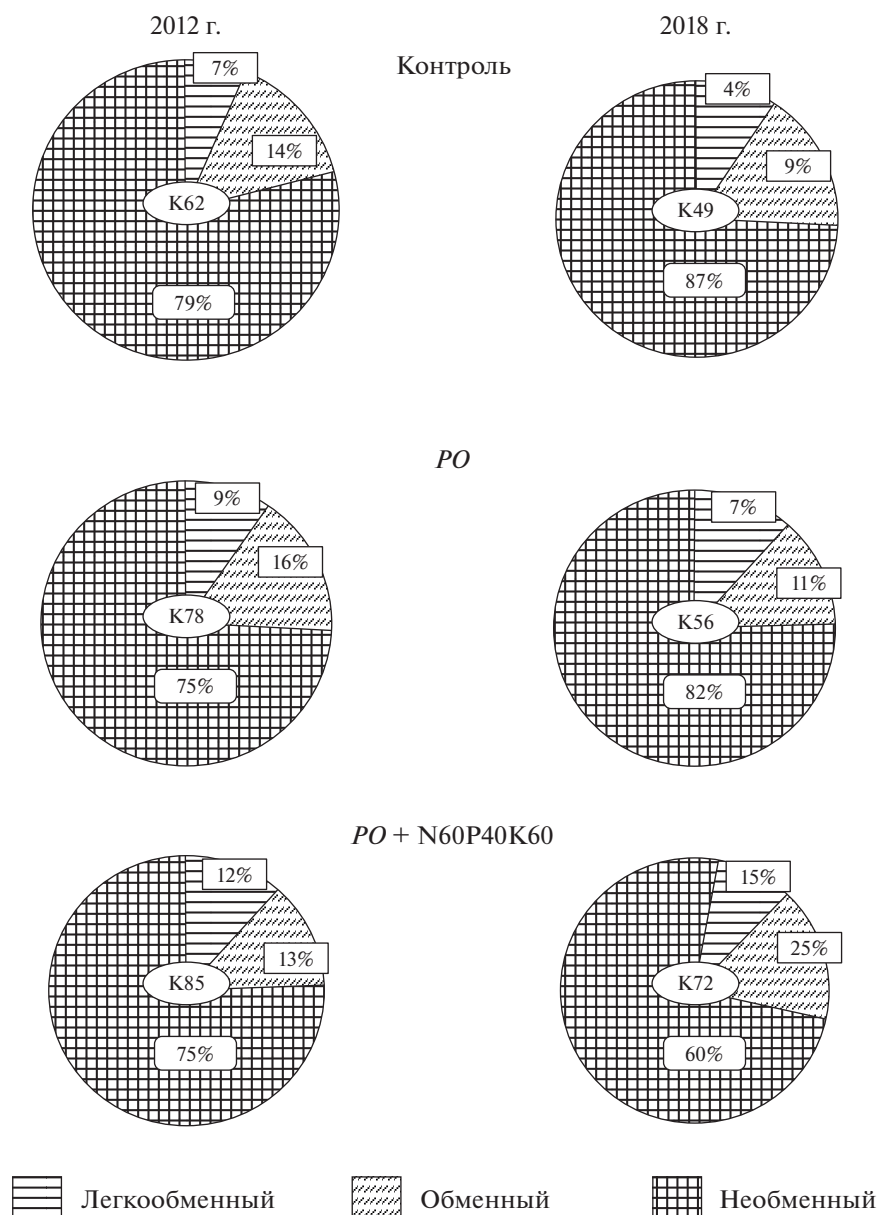


Рис. 2. Доля участия калийных форм в формировании калийного пула почвы, %. Число внутри эллипса — суммарное содержание форм калия в почве, мг/100 г почвы.

практически без изменения вместо ожидаемого увеличения в результате калийного воздействия. Использование дозы K90 на фоне NP мало повлияло на содержание необменного калия, что могло сказаться на поглощении элемента. Внесение растительных остатков при использовании минимальных доз калия K30 практически не вызвало увеличения содержания его необменной формы. В условиях 2012 г. в результате использования доз K60–90 можно отметить повышение содержания необменного калия. В 2018 г. существенных различий в изменении этой формы нами не обнаружено, хотя соотношение между не-

обменной формой и обменной четко фиксировали в пользу вариантов внесения минеральных удобрений. В другие годы такой ясной закономерности выявить не удалось.

Под влиянием минерального питания изменилось долевое участие и распределение основных форм калия в формировании калийного фонда серой лесной почвы (рис. 2). Доля легкообменного калия в контрольном варианте снизилась с 7 до 4%, тенденцию к снижению отмечали и в варианте с внесением растительных остатков. Доля легкообменного калия при внесении минеральных удобрений, напротив, заметно возросла, что было

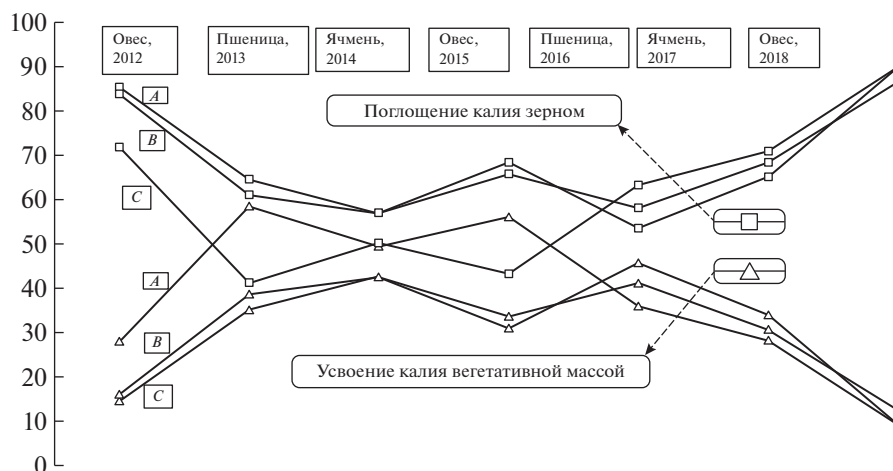


Рис. 3. Влияние уровня минерального питания на поглощение калия культурами севооборота и органами растений, %. Варианты: А — контроль без удобрений, В — растительные остатки, С — N40P40K40.

связано с улучшением калийного питания растений в течение ряда лет. Подобную закономерность в распределении легкообменного калия в почве отметили и в варианте N60P40K60.

Доля обменного калия в условиях 2012 г. мало изменялась в вариантах опыта (от 13 до 16%). В конце ротации севооборота доля этой формы калия существенно снизилась примерно до 10%, в то время как в варианте, где вносили минеральные удобрения и заделывали в почву растительные остатки, она возросла до 25%. Поскольку растительные остатки в сочетании с минеральными удобрениями оказывали значительное влияние на содержание обменного калия в почве при возделывании зерновых культур, очень важное значение имеет прием утилизации вегетативной массы при эксплуатации пахотных угодий.

Самую большую долю в калийном фонде среди усвояемых форм занимал необменный калий. Его доля в условиях 2012 г. в варианте с внесением растительных остатков и удобрением калийным удобрением составляла 75%, в контроле его было несколько больше. В конце последней ротации севооборота доля необменного калия в контрольном варианте и с внесением растительных остатков возросла, а в варианте с внесением удобрений и растительных остатков — напротив, снизилась. Доля необменного калия в контрольном варианте в опыте 2018 г. была максимальной; в остальных вариантах она была значительно меньше, особенно при внесении минеральных удобрений и запахивании растительных остатков.

Зерновые культуры, возделываемые в системе севооборота, на фоне применения минеральных удобрений и растительных остатков по-разному относились к поглощению калия зерном и вегета-

тивной массой (рис. 3). В период освоения зернового севооборота генеративные органы лучше усваивали калий из почвенных запасов и внесенного источника калия, затем начинался некоторый спад, который стабилизировался на уровне 50–70%. В конце последней ротации зернового севооборота началось усиление поглощения калия зерном, которое достигло максимума в 2018 г. Четкой закономерности в отношении поглощения этого элемента из минеральных удобрений и растительных остатков нами не обнаружено. Усвоение калия вегетативной массой в начале освоения севооборота было на минимальном уровне (15–30%), затем начало постепенно возрастать и достигло максимума при выращивании пшеницы в 2013 г. Стабилизация процессов поглощения калия вегетативной массой отмечена в течение ряда лет и только в конце последней ротации достигло минимума в результате такого взаимодействия. Циклический характер в поступлении калия в растения, вероятно, был связан с особенностями калийного режима почвы и аналогичными процессами физиологического развития зерновых культур в период их вегетации.

Разнообразие в минеральном калийном питании отразилось на формировании биомассы растений и поглощении калия зерновыми культурами (табл. 4). В среднем за последние 7 лет растения в контрольном варианте и с внесением растительных остатков мало отличались между собой и только внесение минеральных удобрений существенно повысило выход зерновой продукции и вегетативной массы. Рост урожайности зерновых культур продолжался и при внесении удобрений в более высоких дозах. Накопление нетоварной продукции заметно возрастало при использовании

Таблица 4. Продуктивность растений и баланс калия в почве при внесении минеральных удобрений и растительных остатков (PO), кг/га

Вариант	Биомасса растений	Поступило в почву в виде			Вынос растениями	Баланс
		удобрений	PO	всего		
Контроль	<u>18.4</u> 28.7	—	—	—	22.0	—22.0
PO	<u>19.6</u> 28.2	—	5.8	5.8	28.3	—22.5
N30P20K30	<u>28.7</u> 44.6	30.0	—	30.0	30.3	—0.3
N30P20K30 + PO	<u>29.7</u> 45.3	30.0	5.4	35.4	36.7	—1.3
N60P40K60	<u>34.8</u> 50.1	60.0	—	60.0	35.9	+24.1
N60P40K60 + PO	<u>35.2</u> 52.6	60.0	5.5	65.5	45.6	+19.9
N90P60K90	<u>41.3</u> 69.0	90.0	—	90.0	52.0	+38.0
N90P60K90 + PO	<u>45.4</u> 65.4	90.0	6.2	96.2	58.4	+37.8

Примечание. Над чертой — зерно, под чертой — вегетативная масса.

азота, фосфора, и калия в сочетании с заделкой в почву растительных остатков во всех вариантах опыта.

Расчет баланса калия показал, что суммарное поступление элемента в почву происходило в основном за счет минеральных удобрений, доля калия растительных остатков существенно уступала первому источнику. Вынос калия растениями был минимальным в контрольном варианте, а также при малой калийной нагрузке и утилизации вегетативной массы. Однако внесение калия в возрастающих дозах (при одновременном внесении азота и фосфора) повышало его вынос растениями. Это несомненно сказалось на его балансе, он был отрицательный в контрольном варианте и при утилизации растительных остатков. Практически бездефицитным баланс калия складывался при внесении минеральных удобрений в дозе K30 в сочетании с азотом и фосфором. При внесении более высоких доз удобрений он был положительным, особенно в вариантах с максимальным их насыщением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изучение калийного состояния серой лесной почвы показало, что под влиянием минеральных удобрений и растительных остатков изменение содержания калия происходило во всех его формах. Наибольшее варьирова-

ние его содержания отмечено в водорастворимой и легкообменной формах и значительно меньше — в необменной и особенно обменной. При этом содержание обменного калия при внесении калийных удобрений и растительных остатков обычно возрастало, в то время как легкообменного калия — снижалось. В целях диагностирования источников калийного питания (почва, удобрение, растительные остатки) состояние их вполне удовлетворительно отражала величина содержания обменного калия. К тому же эту форму широко использует современная агрохимическая служба, что позволяет получать необходимую информацию с минимальными экономическими и экологически оправданными затратами.

Длительная заделка растительных остатков (в течение 18 лет) мало отражалась как на величинах зерновой продукции, так и вегетативной массы. Эффективность калия возрастала при внесении полного минерального удобрения либо в сочетании с растительными остатками. Баланс калия в почве при использовании как минимальных доз удобрений так и в контрольных вариантах складывался отрицательным. В случае внесения минеральных удобрений в экологически безопасных дозах и запахивания растительных остатков баланс калия в почве во всех изученных вариантах опыта был бездефицитным, что способствовало повышению уровня почвенного плодородия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минеев В.Г.* Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999. 332 с.
2. *Прокошев В.В., Дерюгин И.П.* Калий и калийные удобрения. Практ. рук-во. М.: Ледум, 2000. 185 с.
3. *Никитина Л.В.* Исследование калийного режима разных типов почв в длительных опытах Геосети // Агрохимия. 2018. № 1. С. 39–51.
4. *Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р.* Распределение форм калия в почвенном профиле эродированных лугово-черноземных почв и их трансформация в агроценозах // Агрохимия. 2021. № 11. С. 16–24.
5. *Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Болонев Л.Н., Лаврентьева И.Н.* Содержание, запасы и формы калия в каштановых почвах Забайкалья в зависимости от орошения и возрастающих доз калийных удобрений (на фоне NPS) под картофель // Агрохимия. 2020. № 3. С. 3–10.
6. *Бараев А.И.* Почвозащитное земледелие. Избр. тр. М.: Агропромиздат, 1988. 383 с.
7. *Никитишин В.И.* Эколого-агрохимические основы сбалансированного применения удобрений в адаптивном земледелии. М.: Наука, 2003. 183 с.
8. *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.
9. *Русакова И.В.* Влияние длительного применения соломы и минеральных удобрений на биологические свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2017. № 8. С. 16–24.
10. *Турусов В.И., Богатых О.А., Дронова Н.В., Балуюнова Е.А.* Роль пожнивно-корневых остатков в восстановлении плодородия почвы // Плодородие. 2020. № 4. С. 10–12.
11. *Артемова З.С., Фрид А.С., Титова В.И.* Миграционная доступность калия растениям на суглинистых почвах // Агрохимия. 2019. № 7. С. 16–26.
12. *Анисимова Т.Ю.* Влияние соломы на продукционную способность люпина узколистного на дерново-подзолистых супесчаных почвах // Агрохимия. 2020. № 7. С. 83–89.
13. *Волынкина О.В.* Баланс питательных веществ в посевах сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2020. № 4. С. 13–16.
14. *Прокошев В.В., Дерюгин И.П., Ефремов Е.Н.* О методах определения доступных форм калия в почве // Плодородие. 2005. № 5. С. 15–18.
15. *Якименко В.Н.* Баланс калия, урожайность культур и калийное состояние почвы в длительном полевом опыте в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2019. № 10. С. 16–24.
16. *Шафран С.А., Кирпичников Н.А.* Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // Агрохимия. 2019. № 4. С. 3–10.
17. *Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Шишков Д.Г., Дир Е.С.* Калийное состояние дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта в условиях Предуралья // Плодородие. 2021. № 4. С. 43–46.
18. *Середина В.П.* Калий в автоморфных почвах на лесовидных суглинках. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1984. 216 с.
19. *Пивоварова Е.Г.* Влияние калийных удобрений на содержание форм калия в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 1993. № 2. С. 44–49.
20. *Ковалев Р.В., Ильин В.Б., Трофимов С.С.* Почвы Новосибирской области. Новосибирск: Наука, 1966. 422 с.
21. *Якименко В.Н.* Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 227 с.
22. *Пчелкин В.У.* Почвенный калий и калийные удобрения. М.: Колос, 1966. 336 с.
23. *Сычев В.Г., Никитина Л.В.* Трансформация калия в почвах агроценозов без применения удобрений // Плодородие. 2017. № 6. С. 5–7.
24. *Горбунов Н.И.* Минералогия и физическая химия почв. М., Наука, 1978. 293 с.

Potash State of the Soil and Crop Productivity when Applying Mineral Fertilizers and Plant Residues

V. M. Nazariuk^a and F. R. Kalimullina^{a, #}

^a*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS
prosp. acad. Lavrentieva 8/2, Novosibirsk 630090, Russia*

[#]*E-mail: kalimullina@issa-siberia.ru*

In micro-field experiments conducted on gray forest soil, changes in the forms of potassium under the influence of mineral fertilizers and plant residues were studied. It is shown that the soil potassium contained in a water-soluble and easily exchangeable form varied widely. In the conditions of 2012, when applying K60 on the background of nitrogen and phosphorus, the content of water-soluble potassium increased by about 2 times compared with the control, and the content of light-exchange potassium increased by 4 times. In the case of embedding plant residues in the soil, the potassium content in the water-soluble form increased by 2 times, light-exchange — by 2.5 times, respectively. The content of exchangeable potassium changed little in the variants, the changes affected the non-exchangeable form to a greater extent. In particular, the content of non-exchangeable potassium in 2018 decreased by 1.5–2.0 times compared to 2012, which required the creation of a more reliable basis for obtaining objective information about the state of the potash fund of the soils of the forest-steppe zone. Under the influence of K-fertilizers in combination with plant residues, plant productivity stabilized, and at the same time a positive balance of potassium in the soil was formed.

Keywords: soil, potassium forms, crop rotation, cereals, yield, plant residues, balance.