

**Калийный режим суглинистых дерново-подзолистых почв**

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова»

**Реферат.** Калий является одним из важнейших элементов питания растений. Несмотря на многочисленные исследования, некоторые вопросы, касающиеся трансформации калия в почвах, требуют дополнительного изучения. Цель исследований – изучение в длительных полевых опытах разной продолжительности трансформации калия в суглинистых дерново-подзолистых почвах и поступление его в растения под действием различных приёмов земледелия. Опыты проводили на опытной станции Всероссийского НИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, расположенной в п. Барыбино Домодедовского района. Для исследований калийного режима был использован созданный в Географической сети опытов с удобрениями архив почвенных образцов, отобранных в длительных полевых опытах после их закрытия (опыт СШ-8, год закладки 1971–1973, длительность 14 лет) или модификации (опыт СШ-5, 1964–1966, длительность 28 лет). В схемах опытов предусматривалось систематическое внесение различных систем удобрения (органическая, минеральная, органоминеральная) и определение их влияния на продуктивность севооборотов и плодородие почв. Исследования, проведенные ранее, показали, что без внесения удобрений при длительном дефицитном балансе калия в агроценозах формирование урожая в значительной степени происходило за счёт потребления растениями необменного калия. Установленное за 14 лет ежегодное использование необменного калия в вариантах абсолютного контроля и *NP* составило 62,0–63,0 кг  $K_2O/га$ . По мере истощения запасов калия в почве контрольного варианта с течением времени (более длительный опыт) усвоение его из необменной формы снижалось в 1,6 раза и составило 39,5 кг  $K_2O/га$ . Применение минеральной системы удобрения с дозой калия < 90 кг/га в течение 14 лет усиливало ежегодную мобилизацию необменной формы элемента свыше 100 кг/га  $K_2O$ . Изменения форм почвенного калия, различающихся степенью их доступности для растений, определялись системами удобрения сельскохозяйственных культур, дозами калийных удобрений в составе систем, длительностью опытов.

**Ключевые слова:** длительные полевые опыты, дерново-подзолистая почва, калий обменный, необменный, системы удобрения.

**Для цитирования:** Сычев В. Г., Никитина Л. В. Калийный режим суглинистых дерново-подзолистых почв // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 233–243. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-233-243.

**For citation:** Sychev V. G., Nikitina L. V. Potassium status of sod-podzolic loamy soils // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 2(26). P. 233–243. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-233-243.

**Введение**

Калий является одним из важнейших элементов питания растений, участвуя в процессах метаболизма растений, существенно повышает морозоустойчивость и засухоустойчивость культур, устойчивость растений к грибковым и бактериальным заболеваниям, усиливает азотфиксацию и способствует формированию клубеньков на корнях бобовых культур, снижает поступление радионуклидов в растения [1].

Основное количество калия растения получают из почв, в которых элемент представлен соединениями разной степени доступности. Существует модель калийного состояния почв [2] в соответствии с которой разработана и общепринята система показателей, характеризующая плодородие почв в отношении калия [3–5].

Калийный режим пахотных почв и его динамику целесообразно оценивать по материалам многолетних стационарных экспериментов, ценность которых пропорциональна их длительности. За длительный период проведения полевых стационарных опытов накоплен обширный материал по влиянию различных систем удобрения на показатели калийного режима пахотных почв, ценность которых заключается в том, чтобы анализировать изменения калийного фонда во времени, выявлять темпы и скорость этих изменений, устанавливать взаимосвязь между разными агротехническими приёмами, определяющими трансформацию почвенного калия.

Несмотря на имеющуюся многолетнюю информацию, у исследователей и практиков сельского хозяйства возникает ряд вопросов: какой минимальный и оптимальный уровень содержания калия может быть в пахотных почвах, какова их устойчивость, какие системы удобрения не обеспечивают сохранение запасов калия в почве, а какие способствуют его формированию, какова скорость потерь или накопления калия в разных по доступности формах и многие другие. Это особенно актуально в последнее время, когда исследовательский интерес к режиму калия в агроценозах в целом остаётся невысоким, а использование калийных удобрений в отечественном земледелии в настоящее время значительно ниже необходимого уровня.

В работе рассмотрена ретроинформация аналитических данных за разные периоды проведения длительных опытов, позволяющая дать некоторые ответы на перечисленные выше вопросы.

**Цель исследований** – изучение в длительных полевых опытах трансформации калия в суглинистых дерново-подзолистых почвах и поступления его в растения под действием различных приёмов земледелия.

#### **Материалы и методы исследований**

Калийный режим суглинистых дерново-подзолистых почв и его изменения в зависимости от применения удобрений впервые изучали в двух стационарных полевых опытах (СШ-8 и СШ-5) на опытной станции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова» (Московская область, Домодедовский район, п. Барыбино).

Для исследований калийного режима был использован созданный в Географической сети опытов с удобрениями архив почвенных образцов, отобранных в длительных полевых опытах с разноудобренными вариантами, не только в период проведения опытов, но и после их закрытия (опыт СШ-8, поле № 2, год закладки 1973) или модификации (опыт СШ-5, поле № 3, год закладки 1966). Опыт СШ-8 длительностью 14 лет был закрыт в 1986 г., а опыт СШ-5 (длительность 28 лет) модифицирован в 1994 г. – прекращено внесение удобрений и изменен севооборот, поэтому в течение последующих 12 лет изучали последствие длительного внесения удобрений на калийный режим почвы.

Изучение режима калия в почвах этих опытов и его изменений при систематическом применении органических, минеральных, органоминеральных удобрений проводили впервые. Ценность исследований заключается в том, что представленные опыты различались между собой длительностью проведения, степенью насыщенности севооборотов удобрениями, структурой севооборотов, дозами внесения калия с минеральными и органическими удобрениями.

В стационарном полевом опыте СШ-8 в период с 1973 по 1986 г. (длительность 14 лет) изучение систематического внесения удобрений на калийный режим тяжелосуглинистой почвы проводили в полевом севообороте. Севооборот был

представлен следующими культурами: картофель среднепоздний, ячмень + многолетние травы, травы первого года пользования, травы второго года пользования, озимая пшеница, картофель ранний, озимая пшеница. Почва – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая на покровном суглинке. Перед закладкой опыта почва известкована – 8 т/га под первую культуру севооборота.

Схема опыта предусматривала 18 вариантов с внесением минеральных и органоминеральных систем удобрения с тремя уровнями насыщенности удобрениями и опубликована ранее [6]. Повторность опыта четырёхкратная, расположение делянок систематическое.

Для исследований калийного режима были выбраны варианты: контроль (без удобрений), NP, NPK – пониженные дозы, NPK – основные дозы, навоз 10 т/га + NPK (таблица 1).

**Таблица 1 – Применение удобрений в опыте**

Вариант	Среднегодовые дозы удобрений с учетом навоза, кг/га		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль (без удобрений)	-	-	-
NP	90	93	0
NPK	61	64	86
NPK	93	90	123
Навоз 10 т/га + NPK	124	112	160

Агрохимическая характеристика почвы до закладки опыта: рН<sub>сол.</sub> составило 4,3 единицы (после известкования – рН<sub>сол.</sub> = 5,4), V – 69%, содержание гумуса – 1,68 %, подвижного фосфора (по Кирсанову) и обменного калия (по Масловой) 60–80 мг/кг и 100–120 мг/кг почвы соответственно. Согласно грациям метода Масловой, исходное содержание обменного калия соответствовало средней степени обеспеченности.

В стационарном полевом опыте СШ-5 за период 1966–1994 гг. (поле № 3, длительность 28 лет) исследования проводили в зернопропашном севообороте: картофель ранний, озимая пшеница, свекла кормовая, ячмень яровой. Почва – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая на покровном суглинке.

Органические и минеральные удобрения вносили в эквивалентных количествах по дозам питательных веществ, со ступенчатым повышением доз удобрений от минимальной (NPK) до максимальной (4NPK) в органоминеральной и минеральной системах удобрения. Дозы удобрений рассчитывали по содержанию NPK в навозе, среднегодовая доза составляла N<sub>58</sub>P<sub>34</sub>K<sub>82</sub>. Действие удобрений изучали на фоне периодического известкования, перед закладкой опыта вносили известняковую муку 2 т/га, под озимую пшеницу во второй ротации – 8 т/га, по окончании третьей ротации – 4 т/га и по окончании пятой – 4 т/га [7, 8].

До закладки опыта почва имела следующие агрохимические показатели (0–20 см): рН<sub>сол.</sub> = 4,2 ед., Нг – 5,4 мг-экв/100 г почвы, содержание гумуса – 1,53 %, подвижного фосфора (по Кирсанову) – 63,0 мг/кг почвы, обменного калия (по Масловой) – 120 мг/кг почвы. По грациям метода Масловой исходное содержание обменного калия соответствовало средней степени обеспеченности.

Почвенные образцы отбирали перед закладкой опытов и в конце каждой ротации севооборотов с двух несмежных повторностей после уборки урожая не только из пахотных горизонтов (0–20 см), но и в более глубоких слоях почвы до глубины 1 м.

Программа изучения калийного режима дерново-подзолистых почв при систематическом применении удобрений включала разные методы исследования соединений калия в почвах. Метод Масловой (1M CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>) использовали для

определения содержания в почве обменного калия. Диагностирование резерва обменного калия осуществляли с использованием солянокислых вытяжек: 2 М НСl (метод Пчёлкина) для определения необменного гидролизующего калия, и 10%-ная НСl при кипячении (метод Гедройца) – для определения необменнофиксированного калия.

Определение потенциальной буферной способности в отношении калия проводили методом адсорбционно-десорбционных изотерм по Бекетту [9].

Калий во всех аналитических исследованиях определяли методом пламенной фотометрии при помощи атомно-абсорбционного спектрофотометра ААС 30 (Carl Zeiss).

Полученные данные статистически обработаны методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [10] с использованием пакетов прикладных программ STATISTICA 6.0.

### Результаты и их обсуждение

Исследования режима калия в длительных стационарных опытах показали, что трансформация почвенного калия как без применения удобрений, так и под действием разных систем удобрения определяется процессами потребления калия растениями и мобилизации, а именно переходом этого элемента из необменного состояния в обменное [11].

Исследования, проведенные ранее, доказали, что часто вынос калия с урожаем может существенно превосходить его содержание в почве в виде обменных соединений и значительная часть калия в общем выносе приходится на долю необменной формы этого элемента, которая может достигать 60–100 % [12].

Расчет калийного баланса и изменения содержания обменного калия за время проведения опыта СШ-8 показали, что в почве вариантов «абсолютный контроль» и «NP» после завершения второй ротации полевого севооборота при дефицитном балансе наблюдали превышение выноса калия культурами севооборота над убылью обменной формы элемента из почвы.

Ежегодно на формирование продуктивности севооборота в вариантах «абсолютный контроль» и «NP» при длительном дефицитном балансе из почвенных запасов дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы дополнительно использовалось 62–63 кг К<sub>2</sub>O/га (таблица 2).

**Таблица 2 – Баланс калия, потребление растениями и изменение содержания в почве форм калия (1973-1986г.) [12]**

Вариант	Баланс калия, ± кг К <sub>2</sub> O/га	Продуктивность севооборота, ц з. ед/га (в среднем за ротацию)	Общий вынос калия, кг К <sub>2</sub> O/га	Изменение содержания К <sub>2</sub> O <sub>обм.</sub> в почве, кг/га	Использовано из необменных форм, кг/га	
					всего	в среднем в год
дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва, 14 лет						
Абсолютный контроль	-881	28,6	881	-18,0	863/98,0*	62
N <sub>93</sub> P <sub>90</sub>	-896	37,3	896	-9,0	887/99,0	63
N <sub>93</sub> P <sub>90</sub> K <sub>86</sub>	-228	41,6	1428	+84	1512/106	108

*Примечание.* \* Потребление растениями необменного калия, % от общего его выноса.

Систематическое внесение калийных удобрений в низких дозах (86 кг/га) совместно с NP-удобрениями увеличивало продуктивность севооборота, вынос калия с урожаем, но не обеспечивало его положительного баланса. С внесением полного минерального удобрения вынос вырос на 547 кг/га, что на 62 % выше, чем в варианте без удобрений, и на 532 кг/га (59 %) в сравнении с вариантом, где вносили только азотные и фосфорные удобрения. Содержание обменного калия в пахотном слое

почвы, несмотря на некоторое повышение его количества, сохранялось практически на исходном среднем уровне (таблица 3).

**Таблица 3 – Баланс калия и содержание обменного калия в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (конец второй ротации, 1986 г.)**

Показатель	Вариант				
	абсолютный контроль	NP	НРК (пониженные дозы)	НРК (основные дозы)	навоз 10 т/га+НРК
Внесено $K_2O$ с удобрениями за две ротации, кг/га	-	-	1200	1720	2248
Среднегодовая доза $K_2O$ , кг/га	-	-	86	123	160
Вынос $K_2O$ за две ротации, кг/га	881	896	1428	1577	1640
Баланс $K_2O$ , «±» кг/га	-881	-896	-228	+143	+608
Содержание $K_2O_{обм.}$ в почве после второй ротации, мг/кг почвы	115	126	138	156	157
Содержание $K_2O$ гидролизованного необменного в почве после второй ротации, мг/кг почвы	420	558	387	499	448
Содержание $K_2O$ необменного в почве после второй ротации, мг/кг почвы	830	700	840	980	1000

Поддержание в пахотном слое почвы исходного уровня  $K_2O_{обм.}$  и питание растений обеспечивалось также за счет мобилизации необменного калия, которая была свыше 100 кг/га в год. Превышение количества мобилизованного необменного калия при внесении НРК над общим выносом его растениями обусловлено влиянием физиологически кислых минеральных удобрений и лучшим развитием выращиваемых растений в удобренном варианте, на мобилизацию почвенных запасов этого элемента не только из пахотного, но, возможно, и из подпахотных горизонтов почв [5].

В вариантах минеральной и органоминеральной систем удобрения, со среднегодовыми дозами калия 120–160 кг/га, при положительном балансе элемента обеспеченность почвы обменным калием повышалась со среднего (120 мг/кг) до нижней границы повышенного (150–160 мг/кг почвы) уровня, но, в основном, находилась в пределах среднего уровня (таблица 3). Это нашло некоторое объяснение при изучении буферных свойств почвы в отношении калия (ПБС<sup>к</sup>) в опыте. Показатель ПБС<sup>к</sup> отражает мобилизующую способность почв в отношении калия и в значительной степени определяется запасами обменного и необменного калия [5].

Определение потенциальной буферной способности почвы в отношении калия (ПБС<sup>к</sup>) в почвенных образцах, отобранных после окончания второй ротации севооборота, показало, что её величина была высокой и составляла 60,0 мг-экв./100 г  $\times$  Моль<sup>-1/2</sup> в контрольном варианте, 60,5–62,5 мг-экв./100 г  $\times$  Моль<sup>-1/2</sup> – в вариантах с внесением калия в среднегодовых дозах 120–160 кг  $K_2O$ /га с минеральной, органоминеральной системами удобрения [5]. Чем выше ПБС<sup>к</sup>, тем устойчивее равновесие между калием твёрдой фазы почвы и калием почвенного раствора, тем больше способность почвы сохранять присущий ей уровень плодородия [13]. По данным [14] почвы, с высокой ПБС<sup>к</sup> обладают способностью в течение более длительного времени пополнять и поддерживать запас доступного калия при выносе его растениями чем почвы с низкой ПБС<sup>к</sup>. Поэтому незначительный сдвиг в

изменении содержания обменного калия под влиянием удобрений в данном опыте можно объяснить высокими значениями потенциальной калийной буферной способности исследуемой почвы.

Внесение калия в дозах 86–120 кг/га в год с минеральными удобрениями практически не влияло на изменение содержания необменных форм калия в данном опыте: количество гидролизуемой формы было на уровне контрольного варианта и не происходило необменной фиксации элемента. И только в варианте совместного внесения навоза и минеральных удобрений, с повышенной дозой калия ( $K_{160}$ ), наблюдали незначительное увеличение его количества, извлекаемого методом Гедройца, – на 170–300 мг/кг почвы или на 20–24 % относительно контроля и варианта NP (см. таблицу 3).

Таким образом, результаты проведенного исследования показали, что изменения содержания форм почвенного калия под влиянием систематического применения удобрений, установленные за короткую длительность опыта, не дают полной картины сохранения и повышения плодородия почвы в отношении калия во времени.

Дальнейшие исследования трансформации форм почвенного калия под влиянием систематического применения удобрений были продолжены в более длительном полевом опыте в условиях внесения более высоких доз удобрений, высокой насыщенности севооборота пропашными культурами, интенсивной обработки почвы. Показано, что по истечении длительного периода времени в почве происходила существенная перестройка калийного фонда, направленность которой определялась количественными изменениями в зависимости от доз калия в составе разных систем удобрения и длительности их применения [8].

Исследование динамики содержания обменного калия в течение 28 лет показало, что при длительном выращивании сельскохозяйственных культур без применения удобрений в первые восемь лет в почве происходило интенсивное снижение количества  $K_2O_{обм.}$  до минимального уровня ( $K_2O_{min}$ ) – 86 мг/кг почвы, показатели которого, несмотря на продолжавшийся вынос калия с урожаем сельскохозяйственных культур, практически не изменялись в последующие годы [15].

Устойчивость минимального уровня обменного калия при дефицитном балансе обеспечивалась дополнительным высвобождением элемента из минеральных компонентов почвы, то есть из необменных форм. В сумме за семь ротаций из необменных форм в обменную перешло 1107 кг/га или почти 40 кг/га калия в год (таблица 4).

**Таблица 4 – Баланс калия и изменение содержания обменного калия в почве контрольного варианта (в сумме за 7 ротаций), кг/га [8]**

Вариант	Баланс калия, «±» кг/га		Убыль $K_2O_{обм.}$ в почве, кг/га		Использовано из необменных форм	
	всего	в среднем в год	всего	в среднем в год	всего	в среднем в год
Абсолютный контроль	1209	-43,1	-102	-3,4	1107	39,5

Влияние различных систем удобрения на калийный режим исследованной почвы было неоднозначным. Низкий уровень внесения калия с навозом (75 кг/га в год) не восполнял его вынос с урожаем, но при этом наблюдались достоверное увеличение количества обменного калия и поддержание содержания необменного гидролизуемого калия на уровне контрольного варианта (430 мг/кг почвы) за счет менее подвижного необменного калия (таблица 5).

При различной интенсивности длительного применения минеральных удобрений в вариантах опыта достоверное увеличение содержания  $K_2O_{обм.}$  относительно контрольного варианта проявлялось во всех вариантах минеральной

системы, наибольшее увеличение (на 152–168 мг/кг почвы) обеспечивали более высокие дозы калия (240–320 кг/га) в составе NPK.

**Таблица 5 – Изменение содержания форм почвенного калия при длительном применении удобрений за 28 лет проведения опыта [8]**

Вариант опыта	Среднегодовая доза калия, К <sub>2</sub> О, кг/га	Форма почвенного калия, мг /кг почвы			Содержание гумуса, %
		К <sub>2</sub> О <sub>обм.</sub> (по Масловой)	К <sub>2</sub> О <sub>гидр.-необм.</sub> (по Пчелкину)	К <sub>2</sub> О <sub>необм.</sub> (по Гедройцу)	
Без удобрений	-	86/-	410/-	1700-	1,19
NPK	80	124/+38*	410/-*	1470/-230*	1,22
2NPK	160	162/+76	440/+30	1470/-230	1,41
3NPK	240	238/+152	520/+110	1580/-120	1,43
4NPK	320	254/+168	540/+130	1550/-150	1,41
Навоз	75	126/+40	430/+20	1570/-40	1,40
Навоз +NPK	155	200/+114	500/+90	1660/-40	1,48
Навоз +2NPK	235	336/+250	550/+140	1970/+270	1,60
Навоз +3NPK	315	342/+256	620/+210	2140/+440	1,62
НСР <sub>05</sub>		17,0	60,0	300,0	0,06

*Примечание.* \* Увеличение или уменьшение форм калия относительно контроля.

Также при минеральной системе с высокими дозами калия достоверно увеличивалось количество наиболее подвижной фракции калия необменного, оно составило 110–130 мг/кг почвы или 27–32 % относительно контроля. Во всех вариантах минеральной системы не наблюдалось накопления необменного калия, определяемого по методу Гедройца, его количество снижалось на 120–230 мг/кг почвы или на 7–14 %, причём наибольшее снижение происходило при меньших дозах калия в составе NPK. Отсутствие необменного поглощения (фиксации) элемента глинистыми минералами объясняется влиянием высоких доз физиологически кислых минеральных удобрений и интенсивной механической обработкой почвы на дезагрегирование пахотного слоя почвы и вынос за пределы пахотного горизонта тонких фракций, в составе которых присутствуют глинистые минералы, способные фиксировать калий [16].

Длительное применение органоминеральной системы удобрения в бóльшей степени, чем минеральной, повышало содержание как К<sub>2</sub>О<sub>обм.</sub>, так и наиболее подвижную фракцию необменного. Их количество увеличивалось в равной степени и составило 114–256 и 90–210 мг/кг почвы соответственно. Проявление калий фиксирующей способности почвы наблюдали только в варианте «навоз + 3NPK» с высоким содержанием гумуса (1,62 %), где достоверное увеличение количества необменно-поглощенного калия составило 440 мг/кг почвы или 26 % относительно контрольного варианта. Проявление фиксирующей способности почвы этого варианта может быть обусловлено влиянием характера взаимодействия органического вещества с минеральной частью почвы. Согласно литературным данным, почвенное органическое вещество способствует образованию агрономически ценной структуры почвы благодаря способности склеивать мелкие минеральные частицы в более крупные агрегаты, предотвращая тем самым переход ила в более мобильное состояние [17], при этом снижая вынос в составе тонких фракций глинистых минералов, способствующих прочной фиксации калия в кристаллической решётке.

### Выводы

Исследования калийного режима суглинистых дерново-подзолистых почв в стационарных полевых опытах разной продолжительности показали, что в агроистощающих условиях (варианты «контроль» и «NP») при дефицитном балансе элемента в агроценозах формирование урожая в значительной степени происходило за счёт потребления растениями необменного калия, причём с увеличением длительности опыта размеры мобилизации калия из труднодоступных форм

снижались. Установленное за 14 лет ежегодное использование необменного калия в вариантах абсолютного контроля и NP составило 62,0–63,0 кг  $K_2O$ /га, а в более длительном опыте – 39,5 кг  $K_2O$ /га. Применение в течение 14 лет минеральной системы удобрения с дозой калия <90 кг/га увеличивало ежегодную мобилизацию необменной формы элемента (свыше 100 кг/га  $K_2O$ ). Внесение калия в дозах 86–120 кг/га в год с минеральными удобрениями сохраняло исходный уровень обеспеченности обменным калием и не обеспечивало необменной фиксации элемента. Только совместное внесение навоза и минеральных удобрений с повышенной дозой калия ( $K_{160}$ ) увеличивало количество  $K_2O$ , извлекаемого методом Гедройца, на 20–24 % относительно контроля и фона NP.

В более длительном опыте (28 лет) по мере истощения запасов калия в контрольном и NP вариантах и длительном дефицитном калийном балансе, через восемь лет от начала проведения опыта устанавливался стабильно низкий («минимальный») уровень содержания обменного калия в почве, практически не изменяющийся в последующие годы, несмотря на продолжавшийся вынос элемента с урожаем. Его устойчивость в значительной мере поддерживалась за счет более прочносвязанных с минеральной частью почвы необменных форм калия, и их ежегодное использование составляло 39,5 кг/га.

При различной интенсивности длительного применения минеральных удобрений достоверное увеличение содержания  $K_2O_{обм.}$  относительно контроля проявлялось во всех вариантах. Наибольшее увеличение (на 152–168 мг/кг почвы) обеспечивали более высокие дозы калия в составе NPK. Также, при минеральной системе с высокими дозами калия достоверно увеличивалось количество наиболее подвижной фракции необменного калия, оно составило 110–130 мг/кг почвы или 27–32 % относительно контроля. Во всех вариантах минеральной системы не наблюдалось накопления необменного калия, определяемого по методу Гедройца, его количество снижалось на 7–14 %. Причем наибольшее снижение этой формы происходило при меньших дозах калия в составе NPK. При низком уровне внесения калия с навозом (среднегодовая доза 75 кг/га) его вынос с урожаем не восполнялся, но при этом достоверное увеличение количества обменного калия и поддержание содержания необменного гидролизуемого калия на уровне контрольного варианта (430 мг/кг почвы) обеспечивались за счет мобилизации менее подвижного, необменного калия. Количество его относительно контрольного варианта снизилось на 8,0 %. Совместное внесение органических и минеральных удобрений в большей степени способствовало существенному повышению содержания как  $K_2O_{обм.}$ , так и наиболее подвижной фракции необменного. Их количество относительно контрольного варианта увеличивалось практически в равной степени и составляло 114–256 и 90–210 мг/кг почвы соответственно. Способность почвы фиксировать калий в труднодоступной форме наблюдалась только в варианте «навоз + 3NPK» с высоким содержанием гумуса (1,62 %), где достоверное увеличение количества необменно-поглощенного калия составило 440 мг/кг почвы, или 26 % относительно контрольного варианта.

Таким образом, сравнение действия различных систем на калийный режим суглинистых почв показало, что его изменения под влиянием систематического внесения удобрений, установленные за короткую длительность опыта, не дают полноценной картины динамики форм калия во времени. В то время как более длительные исследования позволяют определить минимальный уровень обменного калия в агроистощающих условиях опыта (продолжительное выращивание растений без применения удобрений и при внесении NP), характеризующий предельно низкое его содержание в почвах и преимущественное значение органоминеральной системы удобрения в сохранении и повышении плодородия почвы в отношении калия.



### Литература

1. Осипова Д. Н., Иванова С. Е., Соколова Т. А. Калийное состояние и минералогический состав илистой фракции обыкновенных чернозёмов при внесении разных доз калийных удобрений // Вестник Московского университета. Серия 17 «Почвоведение». 2016. № 2. С. 11–17.
2. Соколова Т. А. Калийное состояние почвы, методы его оценки и пути оптимизации. М.: МГУ, 1985. 46 с.
3. Прокошев В. В., Дерюгин И. П. Калий и калийные удобрения: практическое руководство. М.: Ледум, 2000. 184 с.
4. Лукин С. М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2012. № 12. С. 5–14.
5. Никитина Л. В. Исследования калийного режима разных типов почв в длительных опытах Геосети // Агрохимия. 2018. № 1. С. 39–51. DOI: 10.7868/S0002188118010040.
6. Литвак Ш. И., Бабарина Э. А., Никитина Л. В., Човжик В. П. Влияние различных систем удобрения на продуктивность полевого севооборота и фосфорно-калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // Агрохимия. 1990. № 8. С. 43–49.
7. Ефремов В. Ф. Действие и последствие систем удобрения в зерновом севообороте // Плодородие. 2004. № 4(19). С. 10–11.
8. Никитина Л. В. Влияние длительного применения удобрений в зернопропашном севообороте на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // Агрохимия. 2012. № 12. С. 15–23.
9. Никитина Л. В. Оценка калийного режима разных типов почв и эффективность калийных удобрений в длительных опытах. Дисс. ... к. б. н. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения имени Д. Н. Прянишникова, 1994. 131 с.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 207 с.
11. Конончук В. В., Никитина Л. В. Влияние систематического применения удобрений на баланс калия и некоторые показатели калийного режима светло-каштановой почвы при орошении // Агрохимия. 2002. № 6. С. 53–58.
12. Сычев В. Г., Никитина Л. В. Трансформация калия в почвах агроценозов без применения удобрений // Плодородие. 2017. № 6(99). С. 5–7.
13. Никитина Л. В., Шаймухаметов М. Ш., Бабарина Э. А., Князева Н. В. Влияние степени насыщенности севооборота удобрениями на параметры калийного состояния дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 1991. № 3. С. 34–38.
14. Шаймухаметов М. Ш., Никитина Л. В., Бабарина Э. А., Князева Н. В. Обменный калий и калийный потенциал как показатели обеспеченности дерново-подзолистых почв доступным калием // Почвоведение. 1991. № 7. С. 78–86.
15. Никитина Л. В. Калийный режим почв и эффективность калийных удобрений // В кн.: Плодородие почв России: состояние и возможности // Под. ред. Сычева В. Г. М.: ВНИИА, 2019. С. 57–71.
16. Чижикова Н. П. Изменение минералогического состава и их подвижности в дерново-подзолистых почвах под влиянием вносимых удобрений // Научные труды «Минералогический состав и микростроение почв в решении вопросов их генезиса и плодородия». М.: ВАСХНИЛ, 1990. С. 16–29.
17. Чижикова Н. П. Изменение минералогического состава тонких фракций почв под влиянием агротехногенеза // Почвоведение. 2002. № 7. С. 867–875.

### References

1. Osipova D. N., Ivanova S. E., Sokolova T. A. Potassium status and clay mineralogy in chernozems treated with various doses of potassium fertilizers // Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie. 2016. No. 2. P. 11–17.
2. Sokolova T. A. Potash state of the soil, methods of its assessment and ways of optimization. Moscow: Moscow State University, 1985. 46 p.
3. Prokoshev V. V., Deryugin I. P. Potassium and potash fertilizers: practical handbook. Moscow: Ledum, 2000. 184 p.
4. Lukin S. M. Potassium status and budget in sandy loamy soddy-podsolic soil under long-term fertilization // Agrohimia. 2012. No. 12. P. 5–14.
5. Nikitina L. V. Research of the potassium status of different soil types in long-term experiments of geographical network of field trials with fertilizers // Agrohimia. 2018. No. 1. P. 39–51. DOI: 10.7868/S0002188118010040.
6. Litvak Sh. I., Babarina E. A., Nikitina L. V., Chovzhik V. P. Influence of various fertilization systems on the productivity of field crop rotation and phosphorus-potassium regime of sod-podzolic heavy loamy soil // Agrohimia. 1990. No. 8. P. 43–49.
7. Efremov V. F. Effect and aftereffect of fertilization systems in grain crop rotation // Plodorodie. 2004. No. 4 (19). P. 10–11.
8. Nikitina L. V. Effect of long-term fertilization in a grain-row crop rotation on the potassium status of clay loamy soddy-podzolic soil // Agrohimia. 2012. No. 12. P. 15–23.

9. Nikitina L.V. Evaluation of the potash regime of different types of soils and the effectiveness of potash fertilizers in long-term experiments. Diss. ... Cand. Sc. (Biol.). Moscow: D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry, 1994. 131 p.
10. Dospekhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 207 p.
11. Kononchuk V. V., Nikitina L. V. Influence of systematic application of fertilizers on the potassium balance and some indicators of the potash regime of light chestnut soil during irrigation // *Agrohimia*. 2002. No. 6. P. 53–58.
12. Sychev V. G., Nikitina L. V. Potassium transformation in soils of unfertilized agrocenoses // *Plodorodie*. 2017. No. 6 (99). P. 5–7.
13. Nikitina L. V., Shaimukhametov M. Sh., Babarina E. A., Knyazeva N. Influence of the degree of saturation of crop rotation with fertilizers on the parameters of the potash state of sod-podzolic soil // *Agrohimia*. 1991. No. 3. P. 34–38.
14. Shaimukhametov M. Sh., Nikitina L. V., Babarina E. A., Knyazeva N. V. Exchange potassium and potash potential as indicators of the availability of sod-podzolic soils with available potassium // *Pochvovedenie*. 1991. No. 7. P. 78–86.
15. Nikitina L. V. Potash regime of soils and the effectiveness of potash fertilizers // In book: Soil fertility of Russia: state and opportunities // Ed. by Sychev V. G. Moscow: Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, 2019. P. 57–71. 240 p.
16. Chizhikova N. P. Changes in the mineralogical composition of fine fractions and their mobility in sod-podzolic soils under the influence of applied fertilizers // Proceedings “Mineralogical composition and microstructure of soils in solving problems of their genesis and fertility”. Moscow, V.I. Lenin All-Union Academy of Agricultural Sciences, 1990. P. 16–29.
17. Chizhikova N. P. Transformation of the mineralogical composition of fine particle-size fractions under agrotechnogenic impacts // *Pochvovedenie*. 2002. No. 7. P. 867–875.

UDC 631.416.4:631

Sychev V. G., Nikitina L. V.

#### POTASSIUM STATUS OF SOD-PODZOLIC LOAMY SOILS

**Summary.** *Potassium is one of the essential plant nutrients. Despite numerous surveys, some issues related to the transformation of potassium in soils require additional study. The purpose of the research was to study the potassium transformation in sod-podzolic loamy soils and its entry into plants influenced by various farming methods in long-term field experiments of different duration. Field experiments were conducted at the experimental station of the FSBSI “Pryanishnikov Institute of Agrochemistry” located in the Moscow region, Domodedovo district, village of Barybino. To study the potassium status, an archive of soil samples created in the Geographical Network of Experiments with Fertilizers was used. Soil samples were collected in long-term field experiments after their closure (experiment SH-8, year of laying – 1971–1973, duration – 14 years) or modification (experiment SH-5, year of laying – 1964–1966, duration – 28 years). The experimental schemes included the systematic introduction of various fertilizing systems (organic, mineral, organo-mineral) and the determination of their impact on crop rotation productivity and soil fertility. Previous studies have shown that the formation of the crop yield in the context of long-term potassium deficiency burdened by the absence of fertilization was chiefly due to the consumption of non-exchangeable potassium by plants. For the 14-year period, the annual use of non-exchangeable potassium in the control and NP variants was 62.0–63.0 kg K<sub>2</sub>O/ha. As potassium reserves in the soil of the control variant become depleted (longer experiment), its assimilation from the non-exchangeable form decreased by 1.6 times and amounted to 39.5 kg K<sub>2</sub>O/ha. The use of a mineral fertilizing system (potassium dose < 90 kg/ha for 14 years) increased the annual mobilization of the non-exchangeable form of the element (over 100 kg/ha of K<sub>2</sub>O). The transformation of soil potassium forms that differed in the degree of their availability for plants was determined by the fertilizing systems, the doses of potassium fertilizers in the systems, as well as the duration of the experiments.*

**Keywords:** *long-term field experiments, sod-podzolic soil, exchangeable potassium, non-exchangeable, fertilizing systems.*

Сычев Виктор Гаврилович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, врио научного руководителя, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а; e-mail: sychev55@mail.ru.

Никитина Любовь Васильевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория Географической сети опытов с удобрениями, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова»; 127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а; e-mail: kalinik@bk.ru.

Sychev Viktor Gavrilovich, Dr. Sc. (Agr.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Acting Scientific Director of the FSBSI “Pryanishnikov Institute of Agrochemistry; 31a, Pryanishnikov str., Moscow, 127434, Russia; e-mail: sychev55@mail.ru

Nikitina Lyubov Vasilievna, Cand. Sc. (Biol.), leading researcher, Laboratory of the geographic network of experiments with fertilizers, FSBSI “Pryanishnikov Institute of Agrochemistry; 31a, Pryanishnikov str., Moscow, 127434, Russia; e-mail: kalinik@bk.ru.

*Дата поступления в редакцию – 08.07.2021.*

*Дата принятия к печати – 01.08.2021.*