

## RESULTS OF MONITORING CROP YIELDS, PRODUCTIVITY OF CROP ROTATIONS, AND CHANGES IN SOIL PROPERTIES IN LONG-TERM EXPERIMENTS OF GEOGRAPHIC NETWORK

V.G. Sychev<sup>1</sup>, M.V. Belichenko<sup>1</sup>, V.A. Romanenkov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry, ul. Pryanishnikova 31A, Moscow, 127550 Russia

<sup>2</sup>Moscow State University, Leninskie Gory 1-12, Moscow, 119992 Russia E-mail: geosetvniia@gmail.com

A brief overview of the Geographic Network long-term experiments and the factors studied is given. Positive examples of the long-term use of mineral and organo-mineral fertilizing systems in combination with plant protection are noted. The results of long-term experiments on soddy-podzolic, gray forest, and chernozemic soils are generalized; their characteristic features are noted, and perspective tasks are considered. It is shown that, under favorable weather conditions and prolonged systematic use of mineral and organic fertilizers, an increase in yield is achieved against the background of improved agrochemical properties of soils: an increase in the contents of mobile phosphorus and potassium and stabilization of humus content.

Keywords: long-term experiments, results, promising directions.

## ТРАНСФОРМАЦИЯ КАЛИЯ В ПОЧВАХ АГРОЦЕНОЗОВ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

В.Г. Сычев, ак. РАН, Л.В. Никитина, к.б.н., ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова  
127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 31а, e-mail: kalinik@bk.ru

Исследования, проведенные в длительных опытах в различных почвенно-климатических зонах, свидетельствуют о необходимости оценки условий калийного питания растений при длительном сельскохозяйственном использовании разных типов почв без удобрений по содержанию в почвах как обменного, так и необменного калия. Показано, что в агроценозах без применения удобрений в условиях некомпенсируемого выноса калия формирование урожая обеспечивалось за счет мобилизации природного необменного калия под влиянием растений. В дерново-подзолистой и серой лесной почвах при среднегодовом уровне продуктивности 20,5-28,6 ц з.е./га ежегодно использовалось дополнительно из почвенных запасов супесчаной почвы 47,9 кг  $K_2O$ /га, тяжелосуглинистой - 39,5-61,6 и серой лесной - 60 кг  $K_2O$ /га. На исходно богатых калием черноземах в вариантах без удобрений при среднегодовом уровне продуктивности 28,9-45,0 ц з.е./га на долю мобилизованного необменного калия приходится 80,0-99,0% в общем выносе этого элемента с урожаем. Интенсивность мобилизации необменного калия на чернозёмных почвах составляла 57,0-95,0 кг  $K_2O$ /га в год. В светло-каштановых почвах при среднегодовой продуктивности орошаемых полевых севооборотов 46,2-55,0 ц з.е./га ежегодная мобилизация необменного калия была очень высокой - 139-144 кг  $K_2O$ /га.

Ключевые слова: длительные опыты, обменный и необменный калий, дерново-подзолистые и серые лесные почвы, выщелоченные черноземы, каштановые почвы, почвенно-климатические зоны, агроценозы.

Сокращение применения удобрений в стране, в том числе калийных, привело к тому, что формирование урожая сельскохозяйственных культур за последние 20 лет происходит в основном за счет естественного плодородия почв и запасов питательных веществ, созданных предшествующей удобренностью [9]. Исследованиями в длительных опытах, проведенных в различных почвенно-климатических зонах страны, установлено, что при постоянном выносе калия урожаем сельскохозяйственных культур, при дефицитном балансе в почвах агроценозов наблюдалось как снижение содержания обменного калия [10, 14], так и увеличение его количества или сохранение на уровне, близком к исходному [5, 6, 16]. Известно, что в почве все время идут два противоположно

направленных процесса – трансформация необменных форм калия в обменную (мобилизация калия) и переход обменной формы в необменную (фиксация калия) [11]. Когда при дефицитном балансе содержание обменного калия в течение вегетации не изменяется, повышается или снижается наблюдается превалирование процесса мобилизации над фиксацией, т.е. растения полностью удовлетворяют свои потребности в этом элементе питания за счёт необменных форм. Участие необменного калия в питании растений установлено К.К. Гедройцем [3] и подтверждено работами ряда исследователей в последующие годы [6, 8, 11, 15, 16].

По данным [8] в вариантах без внесения удобрений на долю мобилизованного необменного калия приходится от 60 до 100% выноса элемента растениями.

Цель исследований – определить участие обменного и необменного калия в почвах агроценозов при длительном сельскохозяйственном их использовании без применения удобрений.

**Методика.** Для установления закономерностей изменения калийного режима почв, динамики этих изменений, а также определения их агрономической значимости, исследования калийного режима почв разного типа и гранулометрического состава в длительных опытах проводили по единым программе и методике [12]. При определении обменного калия в почвах использовали метод Масловой (1М  $CH_3COONH_4$ ). О преимуществах этого метода свидетельствует ряд испытаний, проведенных на разных почвах [2]. Данные об участии обменного и необменного калия в питании растений получены расчетным путем. Количество калия, использованного растениями из обменной формы, рассчитывали по разности между содержанием обменного калия в почве до закладки опыта и после прохождения полной ротации севооборота. Участие необменного калия в питании растений определяли по разности между общим выносом калия урожаем и убылью обменного калия в почве за одну или несколько ротаций севооборота.

**Результаты и их обсуждение.** По данным [10, 11, 14, 15] вынос калия с урожаем часто существенно превосходит его содержание в почве в обменной форме и значительная часть калия в общем выносе приходится на долю необменной формы этого элемента

Результаты исследований, представленные в таблице, показывают, что трансформация калия в почвах агроценозов определялась проявлением процессов потребления калия растениями и перехода его из необменного состояния в обменное (мобилизация).

До закладки опытов дерново-подзолистые почвы разного гранулометрического состава и серая лесная, согласно грациям метода Масловой, характеризовались средней степенью обеспеченности обменным калием (100-148 мг/кг почвы).

Сравнение выноса калия и динамики изменения содержания обменного калия в исследуемых почвах показало, что при длительном отсутствии применения удобрений происходило снижение содержания  $K_2O_{обм.}$ , причем вынос  $K_2O$  с урожаем существенно превышал убыль обменного

калия из почвы. За 7-28 лет в севооборотах с уровнем продуктивности 20,5-28,6 ц з.е/га вынос калия составил 473-1209 кг/га, при этом содержание  $K_2O_{обм.}$  в пахотном слое почв уменьшилось на 18-102 кг/га. Следовательно, при длительном сельскохозяйственном использовании почв без применения удобрений формирование урожая в значительной степени происходило за счёт потребления растениями обменного калия. Ежегодно в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава и серой лесной почве при длительном дефицитном балансе этого элемента в агроценозах использовалось дополнительно из почвенных запасов супесчаной почвы 47,9 кг  $K_2O$  /га, тяжелосуглинистой - 39,5-61,6, серой лесной - 60,0 кг  $K_2O$ /га (см. табл.).

**Вынос калия с урожаем и изменение его форм в почвах агроценозов без применения удобрений**

Вариант	Среднегодовая продуктивность севооборота, ц з.е/га	Вынос калия, кг/га		Изменение количества K <sub>2</sub> O <sub>обм.</sub> в почве, кг/га		Использовано из обменных форм, кг/га	
		всего	в среднем в год	всего	в среднем в год	всего	в среднем в год
Дерново-подзолистая супесчаная почва (ВНИИОУ, 16 лет)							
Абсолютный контроль	23,4	817	51,1	-51	3,2	766	47,9/94*
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая (ЦОС ВНИИА, опыт СШ-8, 14 лет)							
Абсолютный контроль	28,6	881	63,0	-18,0	1,30	863	61,6/98
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая (ЦОС ВНИИА, опыт СШ-5, 28 лет)							
Абсолютный контроль	20,5	1209	43,1	-102	3,6	1107	39,5/92
Серая лесная среднесуглинистая (Владимирский НИИСХ, 7 лет)							
Абсолютный контроль	28,6	473	67,6	-53	7,6	420	60,0/89
Чернозем выщелоченный (Кубанский СХИ, 8 лет)							
Абсолютный контроль	45,0	839	105	-76	-9,5	763	95,0/91,0
Чернозем выщелоченный (бывшая Мордовская оп. ст., 7 лет)							
Абсолютный контроль	28,9	400	57	-4,0	-0,6	396	57/99,0
Чернозем карбонатный (Кишиневский СХИ, 10 лет)							
Абсолютный контроль	31,7	988	98,8	-195	19,5	793	79,3/80,2
Светло-каштановая (Всероссийский НИИ орошаемого земледелия, 6 лет)							
Абсолютный контроль	46,2	1168	195	-18	-3,0	1150	144/98
Светло-каштановая тяжелосуглинистая (бывшая Мало-Узенская оп. ст ВИА, 12 лет)							
Абсолютный контроль	55,0	1380	115	+178	+14,8	1670**	139/107

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

\*\*В данном опыте количество калия, использованного из обменных форм, определено аналитически с применением методов Пчелкина (2М НС1) и Гедройца (10%-ная НС1 при кипячении), а не расчетным методом.

Следует отметить, что фактическое использование калия из обменной формы может быть меньше, так как растения потребляют калий и из подпахотных горизонтов. К сожалению, в большинстве опытов данные о первоначальном содержании обменного калия в нижних горизонтах почв отсутствуют.

Таким образом, в длительных опытах, проводимых на дерново-подзолистых и серой лесной почвах, в условиях дефицитного баланса при продуктивности агроценозов 20,5-28,6 ц з.е/га ежегодно из почвенных запасов высвобождалось 39,5-61,6 кг/га калия. От общего выноса калия урожаем культур севооборотов в вариантах без внесения удобрений было усвоено 89-98% калия из обменных форм.

Растения используют природный обменный калий через обменную форму. Высвобождение природного обменного калия из кристаллической решётки в результате разрушения или изменения её основы в процессе выветривания почвы совершается очень медленно, что связано с большой затратой энергии [11]. Он менее доступен растениям и использование его начинается, когда содержание обменного калия достигнет минимального или близкого к нему уровня. Минимальный уровень обменного калия в дерново-подзолистых почвах составляет: в супесях – 5,0-7,0 мг/100 г почвы, суг-

линках лёгких - 5,5-8,5, суглинках средних – 5,5-10,5, суглинках тяжёлых – 7,0-11,0 мг/100 г почвы [13].

Исследования, проведенные в длительных опытах на черноземных почвах в полевых севооборотах с разной насыщенностью зерновыми (67%) и пропашными культурами (33%), показали, что при длительном дефицитном балансе на исходно богатых калием чернозёмах, основная часть в общем выносе калия урожаем растениеводческой продукции также приходится на долю обменной формы этого элемента. Действительно, за одну ротацию севооборотов (7-10 лет) дополнительное использование обменного калия в вариантах без удобрений при среднегодовой продуктивности севооборотов 28,9-45,0 ц з.е/га составило 396-793 кг  $K_2O$ /га, или 57-95 кг  $K_2O$ /га в год.

В длительных опытах, проводимых на светло-каштановых почвах при орошении, при дефицитном балансе наблюдалось как снижение содержания обменного калия, так и его повышение. Так, в длительном опыте ВНИИОЗ с исходно высокой обеспеченностью исследуемой почвы обменным калием (по Масловой) без применения удобрений питание растений этим элементом и поддержание содержания  $K_2O_{обм.}$  на уровне, близком к исходному, происходили за счет обменной формы. За одну ротацию зернокарбового севооборота при продуктивности агроценоза 46,2 ц з.е/га использо-

вание калия из необменных форм под влиянием растений и орошения составило 1150 кг/га и интенсивность мобилизации была очень высокой - 144 кг  $K_2O$ /га в год.

Решающая роль необменных форм калия в обеспечении калийного питания растений установлена в стационарном полевом опыте при орошении на светло-каштановой тяжелосуглинистой почве Саратовского Заволжья в двух ротациях 6-польного зернокормowego севооборота, насыщенного на 50% зерновыми, на 17-пропашными культурами и на 33% люцерной.

Рассматриваемая почва характеризуется высоким валовым содержанием калия как в пахотном (0-30 см), так и в подпахотном (30-40 см) горизонтах, которое составляло 2,27 и 2,18% соответственно. Содержание подвижного калия (по Мачигину) в контрольном варианте варьировало в пределах 392-438 и 256-389 мг/кг, или 1,7-1,9 и 1,2-1,85% от валового количества соответственно по слоям. Степень подвижности калия в почве высокая - 5,2 мг/л в слое почвы 0-30 см и 4,8 мг/л в слое 30-40 см [7].

Многолетняя динамика содержания подвижного калия, определяемого по методу Мачигина, в контрольном варианте в светло-каштановой почве показала, что при отрицательном балансе за 12 лет его количество увеличилось на 49 мг/кг почвы. При этом практически сохранялся исходный (высокий) уровень обеспеченности исследуемой почвы данной формой калия. Поддержание уровня подвижного калия в пахотном слое светло-каштановой почвы, близкого к исходному, и питание растений калием при отрицательном балансе происходили полностью за счет необменных форм. Установлено, что за 12 лет уменьшение количества необменных форм калия (легкогидролизуемого - по Пчелкину и необменного - по Гедройцу) в пахотном слое почвы составило 1670 кг/га. Эта величина хорошо коррелировала с суммарным выносом  $K_2O$  урожаем культур и увеличением количества подвижного калия в почве за этот же период ( $r=0,81$ ) [6]. Ежегодная мобилизации необменного калия из почвы была очень высокой - 139 кг/га в год, или 107% от суммарного выноса  $K_2O$  с урожаем культур и увеличения количества подвижного калия в почве.

Следует отметить, что особенностью данной почвы является то, что илистая фракция обогащена вторичными гидрослюдистыми минералами, способными как закреплять калий, так и быстро его высвободить [4]. Немаловажное значение в мобилизации почвенных за-

пасов калия имеет орошение [1], так как попеременное смачивание и высушивание почвы способствуют усилению «распаковки» почвенных агрегатов и высвобождению заземленного калия [15]. По всей видимости, в данном опыте превышение количества мобилизованного необменного калия над общим выносом его растениями может быть связано с орошением, оказывающим существенное влияние на мобилизацию почвенных запасов этого элемента.

Таким образом, исследования, проведенные в длительных опытах в различных почвенно-климатических зонах, свидетельствуют о необходимости оценки условий калийного питания растений при длительном сельскохозяйственном использовании почв без удобрений по содержанию в них как обменного, так и необменного калия.

#### Литература

1. Боронин Н.К., Носко Б.С., Филон И.И. Влияние длительного применения удобрений и орошения на содержание калия в типичном черноземе и вынос его с урожаем // *Агрохимия*. - 1990. - №2. - С. 15-21.
2. Важенин И.Г., Карасёва Г.Н. Об агрохимических методах определения подвижных форм калия в почвах // *Почвоведение*. - 1959. - №8. - С. 87-90.
3. Гедройц К.К. Доступность растениям Са, Mg и К, находящихся в состоянии к обмену неспособном. - М.: Сельхозгиз. - Соч. Т. 3, 1955. - С. 445-457.
4. Горбунов Н.И. Минералы и плодородие почв // *Агрохимия*. - 1965. - №7. - С. 3-14.
5. Жукова Л.М., Никитина Л.В. Калийный режим почв степной, сухостепной и пустынной зон // *Агрохимия*. - 1986. - №12. - С. 24-29.
6. 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.
7. Конончук В.В. Оптимизация системы удобрения в зернокормовом севообороте на светло-каштановой почве Поволжья при орошении: Автореф. дисс. ... д-ра с.-х. наук. - М.: ВИУА, 2004. - 35 с.
8. Корablёва Л.И., Слуцкая Л.Д. Мобилизация необменного калия в почвах с высокой фиксирующей способностью // *Почвоведение*. - 1978. - №8. - С. 83-89.
9. Кудряков В.Н., Семёнов В.М. Проблемы агрохимии и современное состояние химизации сельскохозяйственного производства в Российской Федерации // *Агрохимия*. - 2014. - №1. - С. 3-17.
10. Лукин С.М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений // *Агрохимия*. - 2012. - №12. - С. 5-14.
11. Медведева О.П. Необменно-фиксированный калий удобрений как показатель обеспеченности растений доступным калием // *Агрохимия*. - 1983. - №11. - С. 25-31.
12. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. - М.: 1975. - 167 с.
13. Никитина Л.В., Володарская И.В. Динамика обменного калия и его минимальные уровни в агроценозах на дерново-подзолистых почвах // *Агрохимия*. - 2007. - №2. - С. 14-18.
14. Никитина Л.В. Влияние длительного применения удобрений в зернопропашном севообороте на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // *Агрохимия*. - 2012. - №12. - С. 15-23.
15. Пчелкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения. - М.: Колос, 1966. - 335 с.
16. Хлыстовский А.Д. Плодородие почвы при длительном применении удобрений и известии. - М.: Наука, 1992. - 190 с.

## POTASSIUM TRANSFORMATION IN SOILS OF UNFERTILIZED AGROCENOSSES

V.G. Sychev, L.V. Nikitina, Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry  
ul. Pryanishnikova 31A, Moscow, 127550 Russia E-mail: kalinik@bk.ru

Results of long-term experiments in different soil-climatic zones call for assessment of plant nutrition conditions of different unfertilized soil types under long-term agricultural use in terms of both exchangeable and nonexchangeable potassium. It is shown that the formation of crop yield under unbalanced potassium removal in unfertilized agrocenoses was ensured due to the mobilization of natural nonexchangeable potassium under the effect of plants. In soddy-podzolic and gray forest soils with an average crop yield of 20.5–28.6 dt g.u./ha, additional 47.9, 39.5–61.6, and 60 kg  $K_2O$ /ha were utilized annually from the potassium pools of medium loamy, heavy loamy, and gray forest soils, respectively. In the unfertilized treatments on the chernozems initially enriched with potassium at a mean annual yield of 28.9–45.0 dt g.u./ha, the share of mobilized nonexchangeable potassium is 80.0–99.0% in the total removal of this element with crop. The mobilization rate of nonexchangeable  $K_2O$  in chernozemic soils is 57.0–95.0 kg  $K_2O$ /ha per year. In light-chestnut soils with a mean annual productivity of irrigated field crop rotations of 46.2–55.0 dt g.u./ha, the annual mobilization of nonexchangeable potassium is very high: 139–144 kg  $K_2O$ /ha.

Keywords: long-term experiments, exchangeable and nonexchangeable potassium, soddy-podzolic and gray forest soils, leached chernozems, chestnut soils, soil-climatic zones, agrocenoses.