**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ
НА СОРЕБЦИЮ-ДЕСОРЕБЦИЮ КАЛИЯ
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМИ ФРАКЦИЯМИ ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ**

В. Л. Петрофанов

Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии

Изложены результаты анализа поглотительной и десорбционной способности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в целом и выделенных из нее гранулометрических фракций. В работе использована почва длительного полевого опыта с удобрениями. В качестве экстрагента применен 0,01М раствор CaCl₂. Наибольшей способностью к закреплению калия обладают фракции <1,0 мкм. Применение удобрений уменьшает калий-фиксирующую способность как почвы в целом, так и ее отдельных фракций. При длительном применении удобрений минимальная калий-фиксирующая способность отмечена во фракциях >10 мкм.

При рассмотрении результатов длительных опытов с внесением калий-содержащих удобрений нередко встречаются факты, когда в вариантах с умеренными дозами NPK, позволяющими получать хорошие урожаи выращиваемых культур при явно выраженном дефицитном балансе питательных элементов, показатели содержания обменных форм калия сохраняются на достаточно высоком уровне и не свидетельствуют о калийном истощении почвы. Эти данные хорошо согласуются с мнением Жуковой, Никитиной (1968) о том, что в почвах степной, сухостепной и пустынной зон внесение удобрений не обеспечивает положительного баланса калия, однако способствуют мобилизации запасов природного калия за счет менее подвижных его форм. Судя по литературным данным (Бабарина и др., 1983; Ефремов, 1992; Прокошев, 1957; Шафран и др., 1994) аналогичные результаты могут быть получены и на почвах других типов. Шаймухаметовым и Мамадалиевым (2003) высказано предположение, что интенсивное развитие корневой системы растений под воздействием вносимых удобрений (NPK), увеличение массы пожнивных и легкоразлагаемых корневых остатков и другие условия, благоприятные для усиления биологической активности почвы, являются факторами, способствующими мобилизации запасов почвенного калия.

Из сказанного видно, что влияние NPK на мобилизацию почвенного калия проявляется косвенно (опосредствовано). Между тем исследованиями сотрудников Почвенного института им. В.В. Докучаева (Медведева и др., 1983; Слуцкая и др., 1980) была показана возможность мобилизации почвенного калия за счет непосредственного взаимодействия калия удобрений

с ионами калия ППК. Согласно данным этих исследований, увеличение выноса растениями почвенного К при внесении удобрений связано с тем, что в процессе взаимодействия ионов калия удобрений с почвенными минералами эти ионы замещают не только Ca, Mg, H и другие катионы, но и катионы калия почвы. Доказательства непосредственного мобилизующего действия вносимого калия на имеющийся в почве приводились в работах и других авторов (Dhillon et al., 1989). Изучалось замещение необменного калия из частиц различного размера и минералогического состава, с использованием различных катионов в качестве вытеснителя (цит. по Dhillon et al., 1989). Было показано, что скорость и степень замещения калия К-несущих минералов зависят главным образом от их природы, чувствительности к выветриванию, а также состава и концентрации экстрагирующего раствора. Авторами показано, что процессы вытеснения и удерживания калия такими гетерогенными системами, как почвы, описываются кинетическим уравнением первого порядка и подчиняются параболическим законам. Диллоном (Dhillon et al., 1989) показано также, что тонкотекстурные смектитовые почвы удерживают значительно больше калия, чем груботекстурные (красноцветные и аллювиальные). Это соответствует данным, приведенным в статье Мунна с соавт. (Munn et al., 1976).

Целью исследований является выявление резервов калия во фракциях легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы и влияние длительного применения удобрений на их формирование, сорбционные и десорбционные свойства фракций.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы образцы дерново-подзолистой почвы длительного полевого опыта Д.Н. Прянишникова в ТСХА им. К.А. Тимирязева. Почвообразующая порода – суглинистая морена, представляющая собой песчаный крупнопылеватый суглинок с редкими валунчиками (Длительному полевному опыту ..., 2002). Используются следующие варианты длительного опыта: 1 – без удобрений, 2 – NPK, 3 – NPK+навоз.

Образцы почвы разделялись на фракции следующих размеров: <0,2 (коллоиды), 0,2–1,0 (предколлоиды), 1,0–10 (тонкая и средняя пыль), 10–50 (крупная пыль) и >50 мкм (песок).

Фракции <1,0 мкм выделялись гранулометрическим методом в модификации Шаймухаметова и Ворониной (1972). Суть метода заключается в обработке образца ультразвуком (22 мин) и дальнейшем разделении частиц почвы по размерам (<0,2, 0,2–1,0 мкм) на центрифуге при заданной скорости вращения и времени центрифугирования. Остаток почвы, после выделенного ила, разделялся на фракции: 1,0–10, 10–50, >50 мкм по Астапову (Астапов, 1958).

Определение pH проводилось в суспензиях 1М KCl потенциометрическим методом, гидролитическую кислотность определяли по Каппену, количество гумуса – по Тюрину, валовый калий – рентгенофлуоресцентным способом, легкоподвижный калий – путем обработки 2 г навески 20 мл раствора 0,01 М CaCl₂ (взбалтывание на ротаторе в течение 1 ч, центрифугирование и фильтрование) с последующим анализом вытяжек, обменный калий – по Масловой. Для определения емкости катионного обмена (ЕКО) навеску почвы 1 г обрабатывали 3 раза 1 н. CaCl₂ с последующим сливом раствора, далее образцы обрабатывали слабым 0,005 н. раствором CaCl₂, полученный раствор анализировали на содержание Ca²⁺+Mg²⁺ для последующего вычета из значений вытесненных Ca²⁺ и Mg²⁺. Для вытеснения поглощенных катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ образцы четырехкратно обрабатывали раствором 1 н. NaCl порциями по 20 мл. Фильтраты собирали в мерную колбу на 100 мл, и в объединенном фильтрате определяли Ca²⁺+Mg²⁺ трилонометрическим методом.

Десорбция калия из выделенных фракций и исходных почвенных образцов осуществлялась по методике Спаркса (Donald, Sparks, 1989). Вытеснение калия проводилось путем десятикратной обработки навески образцов (0,25 г для фракций; 2,5 г для почвы) 25 мл 0,01М CaCl₂ в центрифужных пробирках. После суточного настаивания образцы встряхивали на ротаторе в течение часа и центрифугировали. Полученные вытяжки анализировали на содержание калия. Калий вытеснялся как из образцов без предварительной обработки, так и из образцов, обработанных (инкубированных) хлористым калием, имитирующим внесение удобрений. Инкубирование проводилось путем суточного настаивания образца с 0,005 н. KCl в растворе 0,02 н. CaCl₂ с последующим часовым встряхиванием и разделением твердой и жидкой фаз. Далее проводился анализ содержания калия в жидкой фазе – вытяжке.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общие агрохимические свойства почв длительного полевого опыта представлены в табл. 1. Как видно из таблицы, изучаемая почва характеризуется слабокислой реакцией. Гидролитическая кислотность находится на уровне 1,5–2 мг-экв/100 г почвы. Содержание гумуса в контрольном варианте ниже удобренных примерно на 0,8%. Валовое количество калия в удобряемых вариантах незначительно ниже контрольного. Содержание легкоподвижного калия, определяемого с помощью 0,01 М раствора CaCl₂ и обменного калия варианта контроль в 2,5–3 раза ниже, чем вариантов NPK и NPK+навоз. Содержание легкоподвижного калия в удобренных вариантах изучаемой почвы находится в оптимальных пределах (7–10 мг/100 г почвы), рекомендуемых Шаймухаметовым и Травниковой (2000).

Таблица 1. Данные агрохимического анализа почвенных образцов

Вариант	pH _{KCl}	Н _г	ЕКО	Гумус, %	К валовой, %	К легко-подвижный	К обменный
						мг-экв/100 г почвы	мг /100 г почвы
Контроль	4,64	2,08	7,47	1,99	1,94	2,50	3,99
NPК	5,37	1,59	9,43	2,76	1,88	7,38	10,18
NPК+навоз	5,57	1,59	10,41	2,85	1,89	7,60	11,89

Оценка гранулометрических фракций почв по их способности к закреплению калия. Наибольшей способностью к закреплению калия обладают фракции <1,0 мкм. При этом максимум закрепления приходится на коллоидную фракцию (табл. 2). Существенно ниже способность к закреплению калия во фракциях >10 мкм, хотя масса этих фракций в почве составляет 85%. Это свидетельствует о значимой роли фракций <10 мкм как резерва и источника калийного питания.

В результате длительного внесения удобрений в полевом опыте ТСХА, способность фракций к закреплению калия так же, как и почвы в целом, уменьшается. Наименьшее количество калия закрепляется как фракциями, так и почвой в целом в варианте NPК+навоз. Вклад фракций в закреплении калия почвой оценен с учетом доли каждой из них в почве (табл. 3).

Таблица 2. Количество калия, закрепляемого фракциями, мг/100 г почвы

Вариант	Размер фракций, мкм					Почва
	< 0,2	0,2–1	1–10	10–50	>50	
В пересчете на образец						
Контроль	339,6	294,2	60,6	111,5	82,4	32,2
NPК	315,3	221,5	22,2	63,5	49,3	25,7
NPК+навоз	263,3	186,0	57,9	20,7	40,6	21,3
В пересчете на почву						
Контроль	7,9	8,8	6,8	26,3	48,6	98,3
NPК	7,2	6,6	2,4	17,5	26,3	59,9
NPК+навоз	5,9	5,5	7,1	5,2	22,9	46,5

Таблица 3. Доля фракций в закреплении калия в почве, %

Вариант	Размер фракций, мкм				
	< 0,2	0,2–1,0	1,0–10,0	10–50	>50
Контроль	8,0	9,0	6,9	26,7	49,4
NPК	11,9	11,0	4,0	29,3	43,9
NPК+навоз	12,6	11,8	15,3	11,2	49,2

Из табл. 2 видно, что при длительном применении удобрений в опыте Прянишникова количество фиксированного почвой калия уменьшается в большей степени за счет фракций >10 мкм. Снижение фиксирующей способности фракций <1,0 мкм (ил) незначительно сказывается на изменении фиксации калия почвой в целом.

При инкубировании образцов выявлено, что основная масса калия сосредоточена в фракции >50 мкм. Это связано, прежде всего, с большей массовой долей этой фракции в почве. Таким образом, большая часть калия остается в наиболее доступных для растений позициях.

Доли калия во фракциях <10 мкм между вариантами контроль и NPК существенно не отличаются и составляют 23,9 и 26,9% соответственно, в то время как в варианте NPК+навоз она увеличивается до 39,7%.

Оценка фракций и почв по способности десорбировать калий. При сравнении различных фракций внутри каждого варианта опыта ТСХА были отмечены следующие закономерности (табл. 4).

Наибольшую способность к десорбции калия имеют фракции <0,2 мкм во всех вариантах опыта, меньшую – фракции 0,2–1,0 мкм. Фракции 1,0–10 мкм уступают по этому показателю предыдущим двум фракциям, но в то же время сохраняют ее существенно выше, чем фракции 10–50 и >50 мкм. Таким образом, самыми значимыми по содержанию калия при пересчете на массу фракций являются три фракции размером <10 мкм. При этом в образцах без инкубирования выход калия из фракции <0,2 мкм превышает его содержание во фракции 0,2–1,0 мкм в 3–4 раза, а 1,0–10 мкм – в 7–8 раз. В результате инкубирования разница между суммарным выходом калия из вышеуказанных фракций уменьшается. Соотношение между суммарным выходом калия из фракций <0,2; 0,2–1,0; 1,0–10 мкм становится соответственно 1 : 0,6–0,7 : 0,3–0,4.

Таблица 4. Количество калия, десорбированного из образцов фракций и почв, мг/100 г образца

Вариант	Размер фракций, мкм					Почва
	< 0,2	0,2–1	1–10	10–50	>50	
Без инкубирования калием						
Контроль	44,6	8,6	5,6	0,5	0,1	1,8
NPК	46,5	11,7	6,7	1,8	1,0	8,5
NPК+навоз	73,1	19,6	11,8	0,6	0,8	8,6
С инкубированием калием						
Контроль	366,7	262,9	161,4	27,2	28,6	24,9
NPК	406,1	241,7	112,6	31,0	39,7	35,7
NPК+навоз	458,0	330,9	167,4	30,1	27,2	35,3

Следует отметить, что коллоиды способны как к большей отдаче, так и самому большому насыщению калием среди всех фракций, составляющих почву.

Сравнение десорбционной способности аналогичных фракций разных вариантов показало, что большая часть калия высвобождается за первые 2–3 экстракции (70–80%).

Длительное применение органо-минеральных удобрений (вариант NPK+навоз) обеспечивает наибольший выход калия из фракций <10 мкм. Это может быть связано с тем, что большая часть органического вещества сосредоточена в мелких фракциях (до 1,0 мкм). Следовательно, с этой частью почвы связана наиболее активная микробиологическая деятельность, которая способствует быстрому усвоению калия из органических удобрений. Выход калия из фракции >10 мкм максимален при использовании минеральных удобрений (вариант NPK). Данные закономерности отмечены как для образцов без инкубирования, так и с инкубированием.

Анализ результатов опыта показывает, что из образцов фракций <10 мкм и из почвы в целом вытеснялось больше калия по сравнению с тем количеством, которое было закреплено в результате предварительного инкубирования. Диллон с соавт. (Dhillon et al., 1989) в своей работе объяснили этот процесс разрушением пленок гидроксиполимеров в результате инкубирования образцов с калием. В результате из образцов фракций выходит больше калия, содержащегося в почвенных минералах. Для более крупных фракций (>10 мкм) количество фиксированного калия было больше, чем вытесненного после инкубирования образцов с изучаемым элементом.

Оценка вклада фракций в обеспечение растений доступным калием из почвы. Описанные выше свойства фракций служат источником для понимания их вклада в калийный режим почвы в целом. С учетом доли каждой фракции в почве была составлена табл. 5, позволяющая наглядно показать их роль в обеспечении растений калием.

Таблица 5. Доля фракций в десорбции калия из почвы, %

Вариант	Размер фракций, мкм				
	<0,2	0,2–1	1–10	10–50	>50
Без инкубирования калием					
Контроль	49,1	12,5	30,5	4,5	3,5
NPK	33,5	11,2	22,8	15,9	16,6
NPK+навоз	37,9	13,6	33,8	3,6	11,1
С инкубированием калием					
Контроль	14,7	13,6	31,4	11,1	29,2
NPK	15,8	12,4	20,8	14,7	36,4
NPK+навоз	16,1	15,5	32,4	12,0	24,2

В образцах без инкубирования большая часть (69–92%) легкоподвижного калия находится во фракции <10 мкм. При этом на долю фракций <0,2 мкм приходится 34–49%, а сама фракция коллоидов в почве составляет 2–3%. Это еще раз свидетельствует об очень большой роли коллоидов в обеспечении растений калием.

В образцах с предварительным инкубированием роль фракции коллоидов в обеспеченности растений калием снижается в 2 раза (14–16%). При этом в 1,5–5 раз увеличивается роль фракций >10 мкм.

Вклад фракций 0,2–1,0 и 1,0–10 мкм (в процентном отношении) в обеспечении калием растений при инкубировании существенно не изменяется. Происходит, главным образом, перераспределение доли выхода калия между фракциями <0,2 и >10 мкм. Это связано с тем, что доля крупных фракций в почве (>10 мкм) примерно в 36 раз больше, чем коллоидов, а выход калия, в результате инкубирования всего лишь в 6–8 раз меньше. В результате этого десорбция калия из фракций > 10 мкм перекрывает количество калия, высвобожденного из коллоидов.

Следует отметить, что при инкубировании из фракций <0,2 мкм способно выйти в 10 раз больше калия; 0,2–10 мкм – в 15–30 раз больше; 1–10 мкм – в 15–20 раз больше; 10–50 – в 17–71 раз больше; >50 мкм – в 30–240 раз больше, чем в опыте без предварительного инкубирования. Полученный материал позволяет предположить, что чем крупнее фракции, тем меньше их способность удерживать калий на поверхности частиц.

ВЫВОДЫ

1. Наибольшей способностью к закреплению калия обладают фракции <1,0 мкм. Применение удобрений уменьшает калий-фиксирующую способность как почвы в целом, так и ее отдельных фракций. При длительном применении удобрений самая минимальная калий-фиксирующая способность отмечена во фракциях >10 мкм.

2. Наиболее обогащенными легкодоступным калием являются фракции <0,2 мкм. Коллоиды способны как к наибольшей отдаче, так и к самому большому поглощению калия.

3. Длительное применение органо-минеральных удобрений обеспечивает наибольший выход калия из фракций <10 мкм, в то время как для выхода калия из фракции >10 мкм более эффективно применение минеральных удобрений. Применение инкубирования, имитирующего внесение удобрений в образцах фракций и почвы в целом, приводит к большему вытеснению почвенного калия по сравнению с вариантами без предварительного внесения калия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Астапов С.В. Мелиоративное почвоведение (практикум). М.: Изд-во Сельхозгиз, 1958. 367 с.

Бабарина Э.А., Жукова Л.М., Шевцова Л. К. Плодородие почв при систематическом применении удобрений // Основные условия эффективного применения удобрений. М.: Колос, 1983. С. 206–224.

Ефремов В.В. Калийное состояние чернозема типичного в условиях интенсивного земледелия // Деп. рукопись. 1992. 68 с.

Длительному полевому опыту ТСХА 90 лет: итоги научных исследований / Под ред. А.Ф. Сафонова М.: Изд-во МСХА, 2002. 264 с.

Жукова Л.М., Никитина Л.В. Калийный режим почв степных, сухостепных и пустынных зон // Агрохимия. 1968. №12. С. 24–29.

Медведева О.П., Слуцкая Л.Д., Ширинова Р.А., Лобанова Т.В. Доступность растениям калия почвы и удобрений на разных типах почв в опытах с ^{40}K // Агрохимия. 1983. №. 9. С.29–35.

Прокошев В.Н. Эффективность применения калийных удобрений в основных зонах СССР. М.: МСХ СССР, 1957. 24 с.

Слуцкая Л.Д., Медведева О.П., Ширинова Р.А. Использование радиоизотопа ^{40}K в качестве метки при изучении калийного питания растений // Агрохимия. 1980. №7. С. 30–38.

Шаймухаметов М.Ш., Воронина К.А. Методика фракционирования органо-глинных комплексов почв с помощью лабораторных центрифуг // Почвоведение. 1972. №8. С. 134–138

Шаймухаметов М.Ш., Мамадалиев Г.Н. Влияние длительного применения удобрений на некоторые параметры калийного состояния и минералогический состав фракции илистых частиц типичного серозема // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1114–1123.

Шаймухаметов М.Ш., Травникова Л.С. Калийное состояние пахотных почв Европейской территории России // Почвоведение. 2000. №3. С. 329–339.

Шафран С. А., Авдеев Ю.С., Прошкин В.А. Применение калийных удобрений и их эффективность на почвах России // Химия в сельском хозяйстве. 1994. № 2. С. 10–12.

Dhillon S.K., Sidhu P.S., Bansal R.C. Release of potassium from some benchmark soils of India // J. Soil Sci. 1989. V. 40. No. 4. P. 783–797.

Munn D.A., Wilding L.P., McLean E.D. Potassium release from sand, silt and clay soil separates // Soil Sci. Soc. Am. J. 1976. V. 40. No. 3. P.364–366.

Donald L. Sparks. Kinetics of soil chemical processes. Copyright by Academic Press, 1989. 161 p.