

ОБМЕННЫЙ КАЛИЙ И ЕГО ПОДВИЖНОСТЬ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ РАЗНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Л.В. Никитина, к.б.н., В.А. Романенков, д.б.н., М.П. Листова, к.б.н.,
ВНИИАгрохимии им. Д.Н.Прянишникова

Изучено влияние разных систем удобрения на накопление и подвижность обменного калия в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава. Показано, что накопление обменного калия связано с увеличением доз K_2O . Степень подвижности обменного калия снижалась с утяжелением гранулометрического состава, а влияние удобрений на подвижность $K_2O_{обм}$ неоднозначно.

Ключевые слова: длительные опыты, дерново-подзолистые почвы, обменный калий, степень подвижности обменного калия, системы удобрения.

Основной показатель калийной обеспеченности почв – содержание обменно-поглощённого калия. Во многих случаях содержание $K_2O_{обм}$ в почве остается единственным показателем обеспеченности почв калием, так как эти данные хорошо коррелируют с урожаем и выносом калия растениями [1]. Однако, в литературе неоднократно отмечалось, что по текущему содержанию обменной формы калия трудно судить о возможностях почв обеспечивать растения этим элементом питания. Нередки случаи, когда при низкой обеспеченности почвы обменным калием применение калийных удобрений малоэффективно. С другой стороны, на некоторых почвах, содержащих большое количество обменного калия, отмечается эффект от применения калийных удобрений [2,3]. Следовательно, содержание обменного калия не всегда может быть диагностическим признаком необходимости их применения. Поэтому важно не только абсолютное содержание калия в той или иной вытяжке, но и то количество калия, которое может быть поглощено растениями из почвы.

Мерой непосредственной доступности калия растениям является концентрация калия в почвенном растворе [4]. Этот показатель отражает способность ППК десорбировать ионы калия в почвенный раствор, что позволяет установить различия почв по степени подвижности и доступности растениям обменного калия в зависимости от их типа и гранулометрического состава.

Цель работы – на основе результатов длительных опытов определить различия дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава в накоплении обменного калия и изменении его подвижности при внесении удобрений.

Методика. Исследования проведены в длительных полевых опытах, заложенных на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава: супесчаной, легкосуглинистой, средне- и тяжелосуглинистой. Длительность опытов 13-36 лет.

Для проведения аналитических исследований использовали образцы почв, отобранные с разноудобренных делянок после прохождения полной ротации севооборота. В работе приводятся средние значения показателей, рассчитанные по результатам анализов образцов, взятых с двух несмежных повторений и с двух полей опытов.

В почвенных образцах определяли содержание обменного калия в почве и степень его подвижности. Для определения содержания в почвах обменного калия использовали метод Масловой (вытяжка 1М CH_3COONH_4) при соотношении почва – раствор 1:10. Степень подвижности обменного калия устанавливали в вытяжке 0,0015 М $CaCl_2$ по Карпинскому [5]. Хлоркальциевая вытяжка позволяет извлекать наиболее подвижную часть обменного калия. Определение ЕКО проводили по методике, описанной в работе [6].

Калий во всех аналитических исследованиях определяли при помощи пламенного фотометра.

Баланс калия в опытах подсчитывали разностным методом – сопоставлением количества внесенного с удобрениями калия (П) и его выноса культурами севооборота (Р). В качестве интегрального показателя, характеризующего функционирование агроэкосистемы, использовали коэффициент возмещения выноса или интенсивность баланса (И.Б.) [7], которая определялась как:

$$И.Б. (\%) = П/Р \cdot 100.$$

Полученные результаты дополняют материалы ранее созданных баз данных длительных полевых опытов, включая специализированные для изучения калийного режима почв [8,9].

Результаты и их обсуждение. Исследования, проведенные на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, показали, что в изучаемых почвах количество обменного калия в вытяжке Масловой последовательно возрастало с увеличением доз внесения K_2O (табл. 1).

1. Баланс и содержание обменного калия в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава

Вариант опыта	Среднего- довая доза K_2O , кг/га	И.Б., %	Количество $K_2O_{обм}$ в вытяжке (по Масловой)	
			мг/100 г почвы	+/- к контролю
<i>Дерново-подзолистая супесчаная (36 лет)</i>				
Контроль (без удобрений)	-	-	10,0	-
NP	-	-	8,2	-1,8
NPK	60	89	18,7	+8,7
Навоз, 20 т/га	120	176	20,7	+10,8
Навоз+NPK	180	203	32,4	+22,4
HCP ₀₅			4,0	
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая (15 лет)</i>				
Контроль (без удобрений)	-	-	5,2	-
NP	-	-	4,3	-0,9
NPK	89	87	7,0	+1,8
Навоз, 15,4 т/га	89	85	7,0	+1,8
NPK экв. навозу	89	80	8,2	+3,0
Навоз+NPK	178	184	20,7	+15,5
HCP ₀₅			4,1	
<i>Дерново-подзолистая среднесуглинистая (13 лет)</i>				
Контроль (без удобрений)	-	-	17,2	-
NPK	21	27	18,3	+1,1
2(NPK)	42	48	19,4	+2,2
3(NPK)	64	72	23,7	+6,5
5(NPK)	105	117	25,8	+8,6
HCP ₀₅			2,2	
<i>Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая (14 лет)</i>				
Контроль (без удобрений)	-	-	11,5	-
NP	-	-	12,6	+1,1
NPKпониж. дозы	86	84	13,8	+2,3
NPKповыш.	123	109	15,6	+4,1

дозы				
Навоз,10 т/га+NPK	160	138	15,7	+4,2
НСП ₀₅			6,9	

Так, в дерново-подзолистой супесчаной почве после завершения 9-й ротации полевого севооборота (36 лет) в варианте с внесением 60 кг/га в год K_2O с минеральными удобрениями при интенсивности баланса 89%, количество обменного калия в почве достоверно возрастало по сравнению с контролем и достигло повышенного уровня (18,7 мг/100 г почвы). Такое существенное увеличение количества $K_2O_{обм.}$ на минеральной системе удобрения с невысокой интенсивностью баланса обусловлено переходом калия из необменных форм в доступное растениям состояние под влиянием физиологически кислых минеральных удобрений и выращиваемых растений, а также использованием калия из подпахотных горизонтов почвы, что показано ранее в работах [10-12].

Повышение доз калия до 120-180 кг/га в год в составе органической и органоминеральной систем удобрения (навоз и навоз + NPK) сопровождалось дальнейшим ростом интенсивности баланса и способствовало дополнительному увеличению количества обменного K_2O , определяемого по методу Масловой. Увеличение содержания обменного K_2O относительно контроля в вариантах NPK, навоз и навоз + NPK при разной интенсивности баланса составило 8,7-22,4 мг/100 г почвы.

В дерново-подзолистой легкосуглинистой почве после завершения 2-й ротации полевого севооборота в вариантах навоз и NPK (доза 90 кг K_2O /га в год) складывался дефицитный баланс с интенсивностью 80-87%. При таком уровне внесения калия в составе органической и минеральной систем удобрения существенного увеличения количества обменного калия не наблюдалось, его содержание в почве этих вариантов сохранялось в пределах исходного (низкого) уровня обеспеченности. Однако эти величины (7,0-8,2 мг/100 г почвы) несколько выше, чем на контроле, что может быть связано как с пестротой почвенного плодородия, так и с переходом калия из необменных форм при интенсивном выносе его культурами севооборота. Увеличение среднегодовой дозы калия вдвое (178 кг/га) при смешанной системе удобрения обеспечивало положительный баланс (И.Б.=184%) и достоверное увеличение количества $K_2O_{обм.}$. Накопление этой формы калия в варианте навоз + NPK относительно контроля составило 15,5 мг/100 г почвы [13].

Дерново-подзолистая среднесуглинистая почва до закладки опыта характеризовалась повышенным содержанием обменного калия (16,0-19,0 мг/100 г почвы). После завершения 2-й ротации полевого севооборота в почве варианта без удобрений и при внесении NPK со среднегодовой дозой K_2O 20-40 кг/га при дефицитном балансе калия количество обменной формы этого элемента оставалось на исходном уровне (17,2-19,4 мг/100 г). При увеличении дозы калия в составе NPK до 60 кг/га в год баланс калия оставался дефицитным, но уже с более высоким уровнем интенсивности – 72%. Количество обменного калия в этом варианте по сравнению с контрольным достоверно увеличивалось на 6,5 мг/100 г. Под влиянием минеральных удобрений, не обеспечивающих положительного баланса этого элемента, происходила мобилизация запасов природного почвенного калия за счет менее подвижных форм. Об этом свидетельствуют исследования, проведенные ранее как на дерново-подзолистых почвах, так и на черноземах [12,14]. Положительный баланс с интенсивностью 117% сложился в варианте с годовой дозой K_2O 105 кг/га, содержание обменного калия достигло высокого уровня, согласно грациям по методу Масловой.

В дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (длительность 14 лет) при внесении NPK со среднегодовой дозой K_2O 86 кг/га складывался дефицитный баланс (И.Б.=84%).

Увеличение доз калия до 120-160 кг K_2O /га в год в составе минеральной и органоминеральной систем удобрения привело к снижению дефицита в балансе и повышению его интенсивности до 109-138%. Согласно данным таблицы 1, как низкие дозы калия, так и их повышение до 120-160 кг/га на тяжелосуглинистой почве не способствовали достоверному увеличению содержания обменного калия.

Таким образом, показано, что в супесчаной и среднесуглинистой почвах при внесении невысокой дозы K_2O (60 кг/га в год) с минеральными удобрениями достоверное увеличение содержания обменного калия при дефицитном балансе происходило за счет мобилизации необменного калия под влиянием удобрений и выращиваемых растений. При внесении дозы калия 90 кг/га в составе органической и минеральной систем удобрения как на легких, так и на тяжелых почвах существенных изменений в содержании доступного калия не происходило.

С дальнейшим повышением доз калия в составе органической и органоминеральной систем удобрения (120-180 кг/га в год) и интенсивности баланса 138-203% достоверное увеличение доступного калия отмечалось только в почвах легкого гранулометрического состава. В тяжелосуглинистой почве при внесении среднегодовой дозы 123-160 кг K_2O /га в составе минеральной и органоминеральной систем удобрения при интенсивности баланса 109-138% увеличение количества $K_2O_{обм.}$ было несущественным.

Способность почвы обеспечивать растения калием зависит не только от общих запасов обменного калия, но и от степени его подвижности или содержания той части обменного калия, которая извлекается слабосолевой вытяжкой (0,0015M $CaCl_2$) при узком соотношении почва : раствор. Этот калий наиболее тесно коррелирует с концентрацией калия в почвенном растворе [15]. Количество легкообменного калия, определяемое в хлоркальциевой вытяжке, зависит от ёмкости катионного обмена почв (ЕКО) [18].

Как показано в наших исследованиях, дерново-подзолистые почвы легкого (супесчаные, легкосуглинистые) и тяжелого (средне- и тяжелосуглинистые) гранулометрического состава характеризовались разной ёмкостью катионного обмена. Её величина в исследуемых почвах варьировала от 4,9-8,8 мг-экв/100 г в супесчаной и легкосуглинистой почвах до 12,0-17,9 мг-экв/100 г – в средне- и тяжелосуглинистой [6].

Результаты определения легкоподвижной части обменного калия с использованием 0,0015 M раствора $CaCl_2$ на почвах с разной ёмкостью катионного обмена показали, что доля наиболее подвижной части обменного K_2O (% от количества калия в вытяжке Масловой) составила 31-62%. Зависимость влияния ЕКО на содержание легкообменного K_2O представлена на рисунке 1.

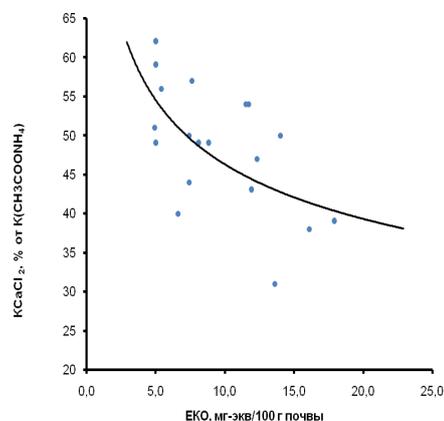


Рис. 1. Влияние ЕКО почв на содержание калия в хлоркальциевой вытяжке (% от количества К в ацетатно-аммонийной вытяжке)

Как видно из рисунка 1, по мере повышения ЕКО доля легкоподвижной части обменного калия снижается. Таким образом, подтверждается хорошо известная закономерность –

доля легкообменного калия от обменного (в вытяжке Масловой) снижается с утяжелением гранулометрического состава.

Дальнейшими исследованиями показано, что в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава между содержанием калия, определенным по методу Масловой, и его легкоподвижной частью, извлекаемой CaCl_2 – вытяжкой, подтверждено наличие корреляционной зависимости. Между рассматриваемыми показателями, представленными на рисунке 2, коэффициент корреляции (R) составил в легких почвах 0,88, в тяжелых – 0,77.

Анализ полученной зависимости показывает, что линия регрессии для лёгких почв (супесчаные и легкосуглинистые) расположена выше, чем для тяжелых (средне- и тяжелосуглинистые) почв. При одном и том же содержании обменного калия в почвах разного гранулометрического состава, концентрация его в хлоркальциевой вытяжке будет выше в супесчаных и легкосуглинистых почвах, чем в средне- и тяжелосуглинистых. Иными словами, степень подвижности обменного калия снижается с утяжелением гранулометрического состава. Для достижения определённой концентрации калия в почвенном растворе содержание обменного калия в почвах тяжелого гранулометрического состава должно быть более высоким, чем в легких.

Также в почвенных образцах, отобранных с разнородных участков длительных (14-16 лет) опытов, определяли степень подвижности калия и прочность его связи с минеральной частью почвы методом многократных последовательных вытяжек 1М раствором ацетата аммония.

Исследования последних двух десятилетий показали, что однократная обработка почвы любым реактивом не позволяет извлечь весь доступный калий [16]. Так, согласно исследованиям [17], однократная вытяжка ацетатом аммония обеспечивает извлечение в среднем до 75% обменного калия из разных почв. Поэтому весьма важна информация о динамике вытес-

нения калия из почвы, которая позволяет судить не только о количестве, но и о способности почв удовлетворять потребности растений в этом элементе [18].

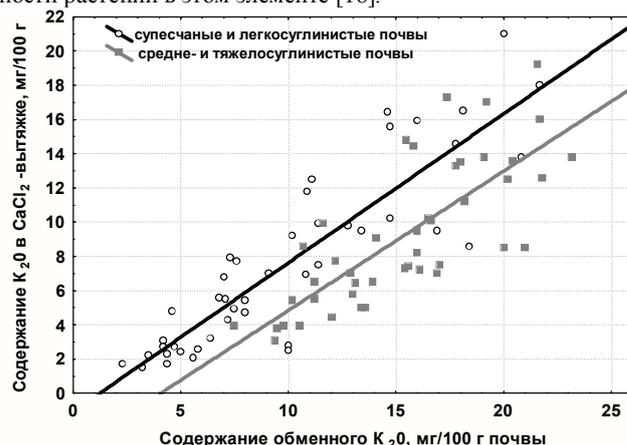


Рис. 2. Зависимость между содержанием обменного калия (1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$) и количеством калия в CaCl_2 -вытяжке в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава (по результатам длительных опытов)

Результаты последовательной обработки разнородных вариантов дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава ацетатом аммония до полного вытеснения калия показали, что из одной навески почв легкого гранулометрического состава калий экстрагировался тремя последовательными вытяжками, а для тяжелосуглинистой почвы потребовалось четыре-пять обработок (табл. 2).

2. Количество обменного калия, извлекаемое последовательными вытяжками из дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава

Вариант опыта	Доза K_2O , кг/га в год	Количество $\text{K}_2\text{O}_{\text{обм}}$ в вытяжках, мг/100 г почвы						Доля K_2O в вытяжках от суммы, %					
		1	2	3	4	5	Сумма	1	2	3	4	5	Сумма
<i>Дерново-подзолистая супесчаная</i>													
Контроль	-	8,3	2,0	0,4	-	-	10,7	77,6	18,7	3,7	-	-	100
НПК	60	8,0	1,6	0,4	-	-	10,0	80,0	16,0	4,0	-	-	100
Навоз, 20 т/га	120	13,4	2,7	0,4	-	-	16,5	81,2	16,4	2,4	-	-	100
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая</i>													
Контроль	-	5,0	0,5	0,2	-	-	5,7	87,8	8,8	3,5	-	-	100
НПК	89	9,9	1,4	0,2	-	-	11,5	86,1	12,2	1,7	-	-	100
Навоз, 15,4 т/га	89	9,9	2,3	0,5	0,1	-	12,8	77,3	17,9	4,0	0,8	-	100
<i>Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая</i>													
Контроль	-	11,5	1,7	0,7	0,4	-	14,3	80,5	11,8	4,9	2,8	-	100
НПК пониждозы	86	13,8	1,4	0,3	0,1	-	15,6	88,5	9,0	1,9	0,6	-	100
НПК повыш. дозы	160	14,3	3,2	0,2	0,3	0,1	18,1	79,0	17,7	1,1	1,6	0,6	100

Результаты, представленные в таблице 2, показали, что наибольшее количество обменного калия переходило в первую вытяжку, что в среднем по вариантам составило 82% от общей суммы извлекаемого калия. Разнородные варианты исследуемых почв обладают различной прочностью связи калия с почвенным поглощающим комплексом (ППК). Так, в супесчаной почве более прочно связан с ППК калий контрольного варианта, в первую вытяжку переходит 77,6%. С внесением НПК и навоза связь калия с минеральной частью почвы ослабевала, и количество калия, извлекаемое первой вытяжкой, увеличивалось до 80,0 и 81,2%. В легкосуглинистой почве при внесении калия (90 кг/га в год) в составе навоза и в тяжелосуглинистой при внесении повышенной дозы калия с НПК (160 кг K_2O /га в год) наблюдалось некоторое усиление связи калия с ППК, и в первую вытяжку переходило соответственно 77,3 и 79,0% обменного калия, а почва на контроле и в варианте НПК (дозы калия 86-89 кг K_2O /га) характеризовалась менее прочной связью калия с минеральной частью. Очевидно, усиление прочности связи калия с ППК в вариантах, удобренных навозом и при внесении НПК в повы-

шенной дозе, связано с проявлением калийфиксирующей способности почв, о чём свидетельствует увеличение в этих вариантах количества калия, извлекаемого методом Гедройца. Так, количество необменно-фиксированного калия в легкосуглинистой почве составило – 14,0 мг/100 г, в тяжелосуглинистой – 30 мг/100 г почвы [12].

Таким образом, влияние удобрений на подвижность обменного калия в исследованных почвах неоднозначно.

Закключение. Результаты исследований показали, что увеличение доз калия сопровождается накоплением обменного калия в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава. Данные, характеризующие взаимосвязь между содержанием обменного калия и количеством K_2O в хлоркальциевой вытяжке, свидетельствуют о том, что количество легкоподвижной части обменного калия выше в супесчаных и легкосуглинистых почвах, чем в средне – и тяжелосуглинистых. Степень подвижности обменного калия снижается с утяжелением гранулометрического состава. Результаты определения степени подвижности обменного калия методом многократных последовательных вытяжек показали, что обмен-

ный калий в удобренных и неубоженных вариантах исследуемых почв обладает различной прочностью связи с ППК, а, следовательно, и разной степенью подвижности. Так, в супесчаной почве наиболее прочно связан с ППК калий на контроле, с внесением навоза и НРК прочность связи калия с минеральной частью ослабевает. В легкосуглинистой и тяжелосуглинистой почвах при внесении навоза (доза К 89 кг/га) и НРК (доза К 160 кг/га в год) подвижность калия снижается вследствие более прочного его закрепления (необменное поглощение) глинистыми минералами.

Литература

1. Лебедева М.Ю., Могилевкина И.А. Калий-снабжающая способность почв с различным минимальным уровнем обменного калия //Агрохимия. - 1976. - №3. -С.48-55. 2. Забавская К.М., Панкова Н.К. Калийное питание растений и эффективность калийных удобрений // Агрохимия.- 1975. -№9. -С.51-54. 3. Авакян Н.О. О питании растений калием и применении калийных удобрений // Агрохимия.- 1981.- №7. -С. 37-43. 4. Дерюгин И.П. Калийный статус почвы и применение калийных удобрений в агроценозе // «Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных удобрений». Мат-лы науч.-практ. конф. -М.: ЦИНАО, 2002. – С. 205-208. 5. Карпинский Н.П. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв //Действие удобрений на урожай и его качество. - М.: Колос, 1965.- С. 288-308. 6. 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. 7. Литвак Ш.И., Бабарина Э.А., Никитина Л.В. Баланс фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах //Химизация сельского хозяйства.- 1991.- №10. -С.18-21. 8. Никитина Л.В., Володарская И.В. Динамика обмен-

ного калия и его минимальные уровни в агроценозах на дерново-подзолистых почвах //Агрохимия.- 2007.- №2. -С. 14-18. 9. Franko V., Schramm G., Körschens M., Rodionova V., Romanenkov V., Shevtsova L., Smith P., Coleman K. Euro SOMNET – a database for long-term experiments on soilorganic matter in Europe //Computers and Electronics Agriculture. 2002. V.33. №3. P.233-239. 10. Лукин С.М. Влияние длительного применения удобрений на показатели калийного состояния дерново-подзолистой супесчаной почвы//«Эколого-агрохимическая оценка состояния калийного режима почв и эффективность калийных удобрений». Мат-лы науч.-практ. конф.- М.: ЦИНАО, 2002.- С. 47-52. 11. Лукин С.М. Агроэкологическое обоснование систем применения удобрений в севооборотах на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах: Автореф. дис. д-ра биол.н.- М., 2009. -49 с. 12. Никитина Л.В. Оценка калийного режима разных типов почв и эффективность калийных удобрений в длительных опытах: Автореф. дис. канд. биол. н. - М., 1994.- 22 с. 13. Бабарина Э.А., Никитина Л.В., Иванова Р.С., Мельникова Н.М. Фосфатный и калийный режим дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Агрохимия. -1990.- №7.- С. 40-44. 14. Жукова Л.М., Никитина Л.В. Калийный режим почв степной, сухостепной и пустынной зон // Агрохимия.- 1986.- №12.- С. 24-29. 15. Шаймухаметов М.Ш., Травникова Л.С. Калийное состояние пахотных почв европейской территории России // Почвоведение.- 2000. -№3. – С. 329-339. 16. Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями «Методические подходы при разработке параметров калийного режима пахотных почв» /Никитина Л.В., Соколова Т.А., Якименко В.Н. и др./ Под ред. акад. РАСХН Сычева В.Г./.- М.: ВНИИА, 2011. Вып. 12.- 40 с. 17. Важенни И.Г., Карасева Г.Н. Об агрохимических методах определения подвижных форм калия в почвах //Почвоведение.- 1959.- №8.- С. 87-91. 18. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения: Практич. рук-во.- М.: Ледум, 2000. - 184 с.

EXCHANGEABLE POTASSIUM AND ITS MOBILITY IN SODDY-PODZOLIC SOILS OF DIFFERENT TEXTURES

L.V. Nikitina, V.A. Romanenkov, M.P. Listova

Pryanishnikov Research Institute of Agrochemistry, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia E-mail: viua@online.ru

The effect of different fertilizing systems on the accumulation and mobility of exchangeable potassium in soddy-podzolic soils of different textures has been studied. It has been shown that the accumulation of exchangeable potassium is related to the increase in the application rates of K_2O . The degree of mobility of exchangeable potassium decreases with the heaving of soil texture, and the effect of fertilizers on the mobility of K_2O_{exch} is uncertain.

Key word: long-term experiments, soddy-podzolic soils, exchangeable potassium, degree of mobility of exchangeable potassium, fertilizing systems.

mic efficiency.