

УДК 631.8:631.582:631.416.4:631.445.23

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ЛУГОВО-БУРЫХ ОТБЕЛЕННЫХ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В СЕВООБОРОТЕ

© 2007 г. Е. А. Жарикова*, Р. Г. Хасбиуллина**, Е. Н. Толстоконова*

*Биолого-почвенный институт Дальневосточного отделения РАН
690022 Владивосток, пр. 100 лет Владивостока, 159, Россия

**Приморский научно-исследовательский институт сельского хозяйства РАСХН
692539 Приморский край, Уссурийский р-н, п. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30, Россия
E-mail: jarikova@ibss.dvo.ru

Поступила в редакцию 12.12.2006 г.

Изучено влияние внесения минеральных и органических удобрений на потенциальную буферную способность в отношении калия, содержание и подвижность калия в тяжелых лугово-бурых отбеленных почвах на фоне внесения извести и без нее в условиях длительного стационарного полевого опыта. Определен наилучший вариант создания удовлетворительных условий для питания растений калием.

ВВЕДЕНИЕ

Применение калийных удобрений в земледелии Приморского края (как и в стране в целом) в настоящее время практически сведено к минимуму, что основывается на низкой эффективности его внесения и высоком валовом содержании элемента в почвах, хотя последнее не свидетельствует о достаточном содержании доступных форм калия для оптимального питания растений. Поскольку диагностика состояния калия в почве по агрохимическим кислотным вытяжкам дает далеко не полное представление о степени его подвижности и доступности в тяжелых почвах, ее необходимо сочетать с определением термодинамических параметров, таких как потенциальная буферная способность почвы в отношении калия и калийный потенциал.

Лугово-бурые отбеленные почвы (темногумусовые подбелы, лугово-бурые оподзоленные, луговые подбелы, бейджан-ту) широко используются в земледелии Приморья, Приамурья и северо-восточного Китая [1]. Почти все они обладают повышенной кислотностью, и считается, что калия в них вполне достаточно для формирования среднего урожая. Даже картофель, выносящий с урожаем большое количество данного элемента, на этих почвах слабо отзывается на внесение калийных удобрений. Но улучшение азотного и фосфорного питания на известкованных почвах способствует повышению урожайности и увеличению выноса калия, который в данных условиях часто становится лимитирующим элементом питания [2, 3]. Рядом исследователей было отмечено, что при внесении извести содержание обменного калия в почве снижается. Это связывали как

с частичной заменой калия почвенного поглощающего комплекса на кальций [4–6], так и с большой калийфиксирующей способностью данных почв [7]. Было установлено, что уменьшение содержания обменного калия происходит параллельно с повышением дозы вносимой извести [8].

В то же время, имеется большое количество работ, в которых утверждается, что внесение извести вызывает не снижение содержания доступного калия в почве, а уменьшение его активности в почвенном растворе [9–11]. Повышение рН при известковании по современным представлениям сопровождается увеличением емкости поглощения, в значительной степени вызываемой нейтрализацией избыточного положительного заряда Al-гидроксидов, блокирующих ионообменные позиции гумусовых веществ и глинистых минералов, выпадением в осадок продуктов нейтрализации и возникновением новых позиций, доступных для обмена катионов [12, 13]. Если в результате удаления блокирующих веществ открываются поверхности с высокой селективностью к ионам калия с *i*-местами (в межпакетных гексагональных пустотах решетки и на клинообразных позициях ее боковых граней), возможно необменное закрепление калия и уменьшение его доступности растениям [14, 15].

Одновременно с этим отмечается [16], что систематическое внесение калийных удобрений и навоза повышает подвижность обменного калия, что связано с увеличением числа ионов калия в почвенном поглощающем комплексе и снижением в связи с этим энергии, с которой каждый из них удерживается твердой фазой почвы. При сочетании минеральных и органических удобрений гуминовые вещества навоза, обладая высокой бу-

Таблица 1. Содержание форм калия и термодинамическое состояние калия в различных вариантах полевого опыта

Вариант	рН _{KCl}	Гумус, %	K ₂ O, мг/100 г почвы		ПБС ^к	КП*	K _L ^{**} , мг-экв/100 г почвы
			обменный	необменный			
1. Без удобрений (контроль)	4.9	3.54	11.8	84.5	65.0	2.54	0.19
2. Навоз 220 т/га	5.3	3.60	13.3	87.4	64.6	2.51	0.20
3. Навоз 220 т/га + известь 16.5 т/га	5.8	3.75	12.5	93.1	70.1	2.55	0.20
4. То же + NPK	6.2	4.06	17.5	98.8	46.4	2.30	0.23
5. NPK	5.6	3.76	15.4	93.9	52.0	2.33	0.25

Примечание. В вариантах 2–4 навоз известь вносили под предшествующие культуры.

* Калийный потенциал.

** Легкообменный калий.

ферностью и поглотительной способностью, несколько сдерживают сдвиги реакции питательного раствора, чем способствуют понижению концентрации солей и страхуют требовательные культуры от неблагоприятных воздействий.

Целью настоящего исследования является изучение специфики состояния различных форм калия и изменения потенциальной буферной способности почв в отношении калия в результате применения различных систем удобрения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование влияния внесения минеральных и органических удобрений на фоне внесения извести и без нее на содержание и подвижность калия было проведено в условиях длительного стационарного полевого опыта, заложенного сотрудниками Приморского научно-исследовательского института сельского хозяйства (ПримНИИСХ) в 1941 г. на лугово-бурых отбеленных почвах для изучения изменения агрохимических параметров при длительном применении удобрений в севообороте. В 9-польном севообороте применялось следующее чередование культур: горохоовсяная смесь – кукуруза на силос – яровая пшеница–соя–яровая пшеница с подсевом трав–травы 1-го года пользования–соя–ячмень–соя. Навоз и известь вносили в начале каждой ротации севооборота, а минеральные удобрения (аммиачную селитру, двойной суперфосфат и хлористый калий соответственно 90, 120, 90 кг/га д.в.) ежегодно под каждую культуру севооборота в течение 6 ротаций. В опыте соблюдали агротехнику, принятую в крае, посевная площадь делянки 250 м², повторность опыта 3-кратная [17]. В настоящей работе рассматривается 5 вариантов опыта: 1. Контроль без удобрений; 2. Навоз 220 т/га под предшествующие культуры; 3. Навоз 220 т/га + известь 16.5 т/га под предшествующие культуры; 4. Навоз 220 т/га +

+ известь 16.5 т/га под предшествующие культуры + NPK; 5. NPK.

Аналитические определения проведены по методикам: обменный калий – по Масловой, необменный – по методике Почвенного института им. В.В. Докучаева (2.0 н солянокислая горячая вытяжка), гумус – по Тюрину. Тангенсную потенциальную буферную способность почв в отношении калия (ПБС^к) определяли по Беккету [18]. Данный показатель буферной способности тесно связан с происходящими в почве изменениями, вызванными химическими мелиорациями и по смыслу лучше отражает уровень буферных свойств почв [19]. Статистическую обработку данных проводили с использованием программ EXCEL.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходные почвы тяжелосуглинистые, кислые, среднегумусированные, со средним содержанием обменного и необменного калия и средними значениями потенциальной буферной способности по отношению к калию (табл. 1). Значения калийного потенциала (КП) [20] указывают на недостаток калия

для нормального питания растений (слабая интенсивность перехода ионов калия из твердой фазы в почвенный раствор). Сорбционные изотермы имеют S-образную форму, свидетельствующую о наличии двух типов неспецифических обменных позиций [21]. Большинство экспериментальных точек на кривых лежат выше оси абсцисс, поэтому буферность характеризует в большей степени способность лугово-бурых отбеленных почв извлекать калий из раствора, чем отдавать его (рисунок).

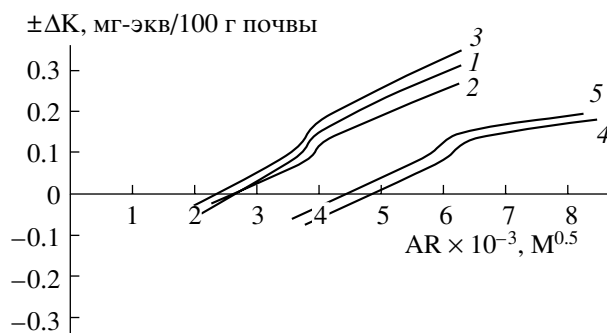
По сравнению с контрольным вариантом при внесении навоза в почву несколько выросло содержание обменного и необменного калия (табл. 1). Произошло незначительное снижение величины как потенциальной буферной способности

почв в отношении калия, так и калийного потенциала, что подтверждает мнение о том, что внесение органического вещества способствует некоторой стабилизации почвенного поглощающего комплекса [16].

Внесение навоза в сочетании и известью вызвало повышение величины ПБС^к и калийного потенциала и небольшое увеличение содержания всех доступных форм калия. Несколько меньше, чем в варианте с навозом, выросло количество обменного, и больше – необменного калия. Видимо увеличение содержания ионов кальция, способствовало увеличению калийфиксирующей способности. Увеличение буферной способности и калийного потенциала, очевидно, также происходила из-за усиления К-сорбции, появления высокоселективных по отношению к калию позиций или увеличения прочности связи калия с твердой фазой почвы. Негативное влияние на потенциал и доступность калия при внесении извести неоднократно отмечалось ранее [15, 22–24].

Совместное внесение органических, минеральных удобрений и извести привело к резкому снижению ПБС^к и калийного потенциала и возрастанию содержания всех форм калия, в том числе и легкообменного (K_L). Кривая сорбции сдвинулась вправо, снизился угол наклона кривой по отношению к оси абсцисс, форма кривой при этом практически не изменилась (рисунок). Можно предположить, что снижение буферной способности и увеличение подвижности калия в данном случае связано с уменьшением селективности почвы к ионам калия вследствие насыщения ими специфичных по отношению к ним обменных позиций. В определенной степени это, возможно, является следствием блокирующего действия органического вещества на ионообменные позиции вторичных глинистых минералов. Данный комплекс агрохимических приемов способствовал созданию в почве удовлетворительных условий для питания растений калием и наибольшему увеличению содержания обменного и необменного калия. Судя по полученным данным, в этом варианте опыта наблюдается и наибольшее количество гумуса при слабокислой реакции среды.

Внесение одних только минеральных удобрений также способствовало снижению ПБС^к и калийного потенциала, хотя и в меньшей мере, чем в варианте с органическими удобрениями и известью при большем увеличении содержания доступных форм калия. Величина КП при этом указывает на удовлетворительную подвижность ионов калия, хотя и несколько более низкую, чем при совместном внесении органических и минеральных удобрений. Значительное увеличение содержания обменного калия на фоне невысокого роста содержания необменного говорит о некотором снижении калийфиксирующей способ-



Изотермы адсорбции калия тяжелыми лугово-бурными отбеленными почвами длительного стационарного полевого опыта: 1 – контроль без удобрений, 2 – навоз 220 т/га под предшествующие культуры, 3 – навоз 220 т/га + известь 16.5 т/га под предшествующие культуры, 4 – то же + NPK, 5 – NPK; AR – калийный потенциал.

ности. Вероятно, многолетнее внесение удобрений способствовало заполнению селективных к калию сорбирующих позиций с высокой энергией связи, и на данном этапе происходит увеличение содержания той категории ионов калия, которая в наибольшей степени определяет его концентрацию в почвенном растворе (обменных ионов). Это подтверждается и наибольшим содержанием легкообменного калия (K_L).

По данным статистической обработки для уровня вероятности 0.05% величины потенциальной буферной способности и калийного потенциала в вариантах с внесением минеральных удобрений значительно различались от других вариантов опыта (табл. 2). Это свидетельствует о том, что

Таблица 2. Статистическая характеристика термодинамических параметров

Вариант	Среднее, <i>M</i>	Стандартное отклонение, σ	Ошибка среднего, <i>m</i>	Доверительный интервал, <i>P</i> ₀₅
ПБС ^к				
1	65.0	1.67	0.96	65.0 ± 4.1
2	64.6	2.02	1.2	64.6 ± 5.0
3	70.1	2.12	1.2	70.1 ± 5.3
4	46.4	1.38	0.79	46.4 ± 3.4
5	52.0	1.78	1.0	52.0 ± 4.4
КП				
1	2.54	0.026	0.015	2.54 ± 0.07
2	2.51	0.012	0.007	2.51 ± 0.03
3	2.55	0.025	0.015	2.55 ± 0.06
4	2.30	0.031	0.018	2.30 ± 0.08
5	2.33	0.020	0.012	2.33 ± 0.05

значительное улучшение калийного состояния почв возможно только при резком изменении генетически сложившегося в почвах термодинамического равновесия в отношении калия при внесении минеральных удобрений. Внесение навоза и извести совместно с навозом слабо влияло на параметры потенциальной буферной способности почв.

Полученные экспериментальные данные дали возможность выявить некоторые закономерности относительно влияния внесения калийных удобрений на показатели калийного состояния лугово-бурых отбеленных почв. Под влиянием внесения минеральных удобрений в наибольшей степени возрастало содержание подвижных обменных форм калия (от 31 до 48% по отношению к контролю), рост содержания необменного калия был выражен в меньшей степени (11–17%). В этих вариантах опыта отмечено и значительное увеличение степени подвижности ионов калия (на 8.3–9.1%). Внесение навоза и навоза на фоне извести не дало такого эффекта. При интенсивном обогащении почвы калием путем внесения минеральных удобрений калийный потенциал калия значительно снизился. Причиной такой неустойчивости динамического равновесия ионного обмена является наличие энергетически неоднородных между собой адсорбционных мест. Подобные выводы на основании экспериментальных данных были сделаны и другими исследователями [25, 26].

По показателю ПБС^к почвы исследуемых вариантов располагались в ряд: навоз + известь + минеральные удобрения < минеральные удобрения < навоз < контроль < навоз + известь, т.е. известкование без внесения минеральных удобрений способствует некоторому ухудшению калийного состояния почв из-за увеличения буферности вследствие снижения подвижности ионов калия, а не за счет уменьшения содержания его обменных форм.

ВЫВОДЫ

Наилучшим вариантом для создания в лугово-бурых отбеленных почвах удовлетворительных условий для питания растений калием было совместное внесение органических и минеральных удобрений на фоне извести. Данный вариант способствовал не только снижению кислотности почв и увеличению в них содержания гумуса, но и повышению содержания и подвижности доступного растениям калия за счет увеличения емкости обмена почв, а также наибольшему увеличению фиксированного калия удобрений, обладающего повышенной способностью к переходу в подвижное состояние по сравнению с прочно закрепленным необменным калием минералов. Выход за пределы категории почв со средней обеспеченно-

стью калием в категорию с повышенной обеспеченностью наблюдался только в вариантах опыта с внесением минеральных удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костенков Н.М., Ознобихин В.И. Почвы и почвенные ресурсы юга Дальнего Востока и их оценка // Почвоведение. 2006. № 5. С. 517–526.
2. Басистый В.П. Влияние длительного применения удобрений на свойства почв // Генезис, химия и биология почв Приморья и Приамурья. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. С. 89–97.
3. Басистый В.П., Бурака В.В., Сыров Н.Д. Применение известковых удобрений на переувлажненных почвах Приамурья. Хабаровск, 1965. 64 с.
4. Аксенов А.А., Ильина С.И., Ознобихин В.И. Содержание различных форм калия при внесении калийных удобрений на известкуемых почвах с низким содержанием обменного калия // Изменение почвенного покрова Дальнего Востока в результате сельскохозяйственного использования и мелиорации. Уссурийск, 1978. Вып. 52. С. 349–355.
5. Грищун А.Т., Рясинская Л.М. Изменение агрохимических свойств лугово-бурой оподзоленной почвы под влиянием известкования // Генезис бурых лесных почв. Владивосток, 1972. С. 184–187.
6. Федчун А.А. Известкование почв в Приморском крае. Уссурийск: ПГСХА, 1997. 145 с.
7. Сидорова Г.М., Федчун А.А., Демин А.А. Изменение плодородия почвы при систематическом применении удобрений // Современное состояние и рациональное использование почв, лесных и водно-земельных ресурсов Дальнего Востока России // Владивосток: ДВО ДОП РАН, 1997. С. 119–125
8. Рясинская Л.М., Иванов Г.И., Грищун А.Т. Известкование и калийный режим лугово-бурых отбеленных почв // Процессы почвообразования и превращения элементов в почвах с переменным режимом увлажнения. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. С. 144–149.
9. Гринченко Т.А., Дараган Ю.В., Алексейчик Н.Н., Зильберман П.Ц., Колесникова Л.П. Активность ионов и буферная способность в отношении калия дерново-подзолистых почв Белорусской ССР // Агрохимия. 1985. № 3. С. 39–43.
10. Похлебкина Л.И., Игнатов В.Г. Влияние известкования на подвижность фосфатов и калия в дерново-подзолистой почве // Агрохимия. 1984. № 10. С. 80–86.
11. Прокошев В.В., Кузнецов А.В. Активность почвенного калия как показатель эффективности калийных удобрений на известкованных почвах // Агрохимия. 1975. № 6. С. 55–58.
12. Башкин В.Н., Репина О.А. Изменение активности калия в почвенном растворе в связи с выращиванием растений // Агрохимия. 1979. № 5. С. 34–40.
13. Медведева О.П. Фиксация калия удобрения в необменной форме и его доступность растениям // Агрохимия. 1971. № 12. С. 38–46.
14. Шаймухаметов М.Ш., Травникова Л.С., Князева Н.В., Березина Н.В. Термодинамика обмена К–

- Са в известкованной и неизвесткованной дерново-подзолистой почве // Почвоведение. 1986. № 11. С. 39–51.
15. Sparks D.L., Liebhardt W.C. Effect of long-term lime and potassium applications on quantity-intensity (Q/I) relationships in sandy soil // Soil Sci. Soc. Am. J. 1981. V. 45. № 4. P. 786–790.
 16. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагропромиздат, 1990. 206 с.
 17. Хасбиуллина Р.Г., Закирова Л.Н. Изменение почвенного плодородия и продуктивности севооборота под влиянием удобрений // Современное состояние и рациональное использование почв, лесных и водно-земельных ресурсов Дальнего Востока России. Владивосток: ДВО ДОП РАН, 1997. С. 91–95.
 18. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
 19. Канунникова Н.А. Термодинамические потенциалы и показатели буферных свойств почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. 100 с.
 20. Woodruff C. M. The energies of replacement of calcium by potassium in soils // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1955. V. 19. № 1. P. 36–40.
 21. Соколова Т.А., Куйбышева И.П. Калийный потенциал и потенциальная буферная способность серых лесных почв по отношению к калию // Почвоведение. 1988. № 3. С. 40–52.
 22. Канивец И.И., Бергулева Л.Я. Относительная активность калия и калийная буферная способность почв // Агрохимия. 1975. № 4. С. 50–56.
 23. Канунникова Н.А., Ковриго В.П. Буферные свойства дерново-подзолистых суглинистых почв в отношении калия // Биол. науки. 1981. № 9. С. 90–96.
 24. Шаймухаметов М.Ш., Никитина Л.В., Бабарина Э.А., Князева Н.В. Обменный калий и калийный потенциал как показатели обеспеченности дерново-подзолистых почв обменным калием // Почвоведение. 1991. № 7. С. 78–86.
 25. Канунникова Н.А., Ковриго В.П., Дзюин Г.П. Исследование ионообменного равновесия калия в дерново-подзолистых почвах Удмуртии // Почвоведение. 1980. № 6. С. 104–114.
 26. Horra A.M., Efferon D., Jimenez M.P., Conti M. Effect of potassium fertilizers on quantity-intensity parameters in some Argentine soils // Com. Soil Sci. Plant Anal. 1998. V. 29. № 5–6. P. 671–680.

Changes in Potassium Status Parameters of Bleached Meadow-Brown Soils under Long-Term Fertilization in a Crop Rotation

E. A. Zharikova*, R. G. Khasbiullina**, and E. N. Tolstokoneva*

*Institute of Biology and Soil Science, Far East Division, Russian Academy of Sciences, pr. Stoletiya Vladivostoka 159, Vladivostok, 690022 Russia, E-mail: jarikova@ibss.dvo.ru

**Primor'e Research Institute of Agriculture, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Volozhenina 30, Timiryazevskii, Ussuriisk raion, Primorskii krai, 692539 Russia

The effect of mineral and organic fertilizers on the potential potassium-buffering capacity and potassium content and mobility in fine bleached meadow-brown soils was studied in a long-term stationary field experiment with and without liming. The best treatment was found for creating satisfactory conditions for potassium supply of plants.