ЕМКОСТНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

А.И. Иванов, д.с.-х.н., В.А. Воробьёв, к.с.-х.н., АФИ, Е.Г. Лямцева, Великолукская ГСХА

В зернопропашном севообороте полевого опыта установлена роль полевых культур и минеральной системы удобрения в трансформации калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы. Её калийная буферная система подверглась скрытой деградации, выявляемой только при комплексной ёмкостно-энергетической оценке.

Ключевые слова: *емкостно-энергетическая оценка, калийное состояние, ротации севооборота, дерново-подзолистая почва.*

Проблема деградации окультуренных дерново-подзолистых почв в процессе сельскохозяйственного использования является насущной для современного товарного производства, а трансформация калийного состояния при этом – одним из наиболее дискуссионных вопросов агрохимии [1, 5 – 10]. Целью нашего исследования была комплексная оценка трансформации калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы легкосуглинистого гранулометрического состава с использованием ёмкостных и энергетических показателей. Его методической основой служили стационарный полевой опыт в зерно-пропашном севообороте: картофель ранний – рожь озимая – кормовая свёкла – овёс – кукуруза – ячмень, заложенный в 1987 г. в учебно-опытном хозяйстве «Удрайское» (Великолукский р-н Псковской обл.) и серия лабораторных экспериментов. Почва полевого опыта – дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая остаточно-карбонатная, хорошо окультуренная. На время закладки опыта имела следующие агрохимические показатели: гумус – 2,71 %, pH_{kcl} – 6,2, Нг – 1,89 мг-экв/100г, S – 8,45 мг-экв/100г, V – 82 %, подвижный фосфор – 599 мг/кг, калий валовой – 2,3%, калий обменный – 506 мг/кг, подвижный – 466 мг/кг, необменный – 1740 мг/кг, легкорастворимый – 188 мг/кг.

Стационарный опыт проводили в развёрнутом во времени полевом севообороте: картофель ранний – рожь озимая – свёкла кормовая – овёс – кукуруза – ячмень и включал пять вариантов минеральной системы удобрения, три из которых анализируются в настоящей статье: 1) контроль (без удобрений), 2) $N_{90\text{-}120}$, 3) $N_{90\text{-}120}P_{60}K_{60}$. Общая площадь опытной делянки – 112 м^2, учётная – 50 м^2, повторность – трёхкратная. Калийный режим почвы изучали с использованием стандартных методов определения ёмкостных характеристик, а его интенсивность – по методу Беккета [9, 11].

Хорошо окультуренная дерново-подзолистая почва зерно-пропашного севооборота исходно обладала высоким потенциалом плодородия, позволяющим на протяжении 20 лет формировать в среднем 50 ц з.ед с 1 га основной и побочной продукции без применения удобрений и без видимого снижения продуктивности по годам [2, 3]. Оптимизация азотного режима почвы за счёт применения повышенной дозы азота увеличивала продуктивность культур в среднем на 30 %. Применение же фосфорных и калийных удобрений сказывалось на почве и урожайности культур незначительно.

На этом фоне ухудшение практически всех показателей калийного состояния было напрямую связано с невозмещенным выносом элемента. Дефицит баланса калия в контроле за 3 ротации достиг 2543 кг/га (табл. 1).

1. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы за три ротации севооборота

Варианты	Хозяйственный баланс за ротацию K_2O, кг/га	Содержание соединений калия, мг K_2O/кг почвы					
		валовой	легко-растворимый	обменный	подвижный	необменный	силикатов
I ротация; над чертой – в начале опыта (1987 г.), под чертой – в конце I ротации (1992 г.)							
Контроль	-899	23050 22900	193 174	528 433	493 410	1752 1685	20770 20710
N_{120}	-1303	22960 22750	195 160	512 405	499 380	1793 1614	20655 20643
$N_{90\text{-}120}$ P_{60} K_{60}	-1165	22930 22800	176 140	479 405	422 348	1671 1516	20780 20730
конец II ротации (1998 г.)							
Контроль	-790	22480	54	296	290	1514	20670
N_{120}	-1028	22240	52	260	255	1365	20615
$N_{90\text{-}120}$ P_{60} K_{60}	-1122	22430	48	290	265	1440	20700
конец III ротации (2004 г.)							
Контроль	-854	21270	33	160	206	580	20510
N_{120}	-1108	21296	24	168	195	532	20500
$N_{90\text{-}120}$ P_{60} K_{60}	-1233	21240	24	168	209	632	20600

Применение азотных удобрений обострило его на 36 % (3439 кг/га), а калийных в дозе 60 кг/га снизило дефицит калия до уровня контроля – 2421 кг/га. Невосполнение потерь калия его приходом с растительными остатками и удобрениями привело к резкому снижению содержания элемента в почве. Содержание подвижных и водорастворимых соединений в контроле за годы исследований снизилось в 2,4 и 5,8 раза. Интенсивность этого процесса напрямую зависела от уровня дефицита баланса калия в системе удобрения и была максимальной в варианте с односторонним внесением азотных туков, где соответствующее снижение было в 2,6 и 8,1 раза. Внесение 60 кг/га K_2O с удобрениями хотя и несколько замедляло, но не предотвращало деградацию калийного состояния. Запасы водорастворимого калия в этом варианте снизились в 7,3 раза, подвижного – в 2,3 раза. Среднегодовое же снижение содержания подвижного калия достигло 16 мг/кг в контроле, 17 мг/кг в вар. 2 ($N_{90\text{-}120}$) и 12 мг/кг в вар. 3 ($N_{90\text{-}120}P_{60}K_{60}$).

Только невозмещённые приходом элемента продуктивные потери калия за годы опыта теоретически могли снизить содержание его подвижных соединений в почве на 848, 1146 и 1173 мг/кг, то есть полностью исчерпать созданный ранее их запас. Источником их относительной устойчивости стали необменные гидролизуемые соединения. Сокращение последних в пределах пахотного слоя в первых двух ротациях соответствовало параметрам хозяйственного баланса элемента. Однако в третьей ротации шло ускоренными темпами. Вероятно, такая трансформация пула необменного калия была связана с хлоритизацией смешанно-слоистых минералов и усилением их потерь в ходе лёссиважа, и других процессах, сопровождающих деградацию плодородия окультуренных почв. В лабораторных экспериментах нами было показано, что мобилизация калия изучаемой почвы на фоне неустойчивого водного режима, характерного для Нечернозёмной зоны,

может происходить ускоренными темпами [4].

Калийное состояние почвы весьма сложно оценить только его ёмкостными характеристиками [8,11]. Связано это с изменением химической активности ионов калия в почвенном растворе, зависящим от концентрации калия, как в жидкой, так и в твердой фазах почвы, а также от содержания других элементов питания, и, в первую очередь, кальция. В результате возникает необходимость учета таких факторов, как способность почвы восполнять элементы, поглощенные из почвенного раствора, удерживать их в доступной форме, а также взаимодействие элементов питания друг с другом. Такую возможность дают исследования, основанные на теории почвенной буферности и почвенных потенциалов, базирующиеся на положениях химической термодинамики. Выполняя их, мы определяли несколько показателей, взаимно дополняющих друг друга: калийный потенциал в форме pK – 0,5pCa (КП), потенциальная буферная способность почвы в отношении калия ($ПБС^K$) и её составляющие $-\Delta K_0$ – наиболее доступная часть подвижного калия (калий, ионы которого занимают «неспецифические» обменные позиции), ΔKX – труднодоступный калий, ионы которого расположены на «специфических» сорбционных позициях, ΔKL – величина, характеризующая общие запасы подвижного калия, ARo – относительная равновесная активность ионов, -ΔG – показатель изменения свободной энергии реакции обмена.

Выполненные исследования параметров интенсивности калийного режима изучаемой почвы лишь подтвердили наши худшие опасения. Действительно, если на основании данных о содержании обменного калия можно говорить о высокой обеспеченности почвы этим элементом во всех вариантах опыта и это может служить основанием для предположения о нецелесообразности применения калийных удобрений, определение параметров интенсивности калийного режима приводит к противоположному выводу. Если в 1987 г. почва опыта характеризовалась комплексом благоприятных показателей, обеспечивающих оптимальные условия питания культур калием, то по окончании третьей ротации севооборота положение резко ухудшилось.

2. Изменение показателей интенсивности калийного состояния почвы за три ротации севооборота (над чертой – 1987 г., под чертой – 2004 г.)

Варианты опыта	КП	AR_o	-ΔG, кал	$ПБС^к$	$-\Delta K_o$	$-\Delta K_L$	$-\Delta K_X$
					мг-экв/100 г		
Контроль	2,0 2,6	7,0 1,9	-2728 -3546	51,6 63,2	0,36 0,12	0,45 0,16	0,09 0,04
N_{90-120}	2,0 2,6	6,9 1,3	-2728 -3546	50,7 63,0	0,35 0,09	0,43 0,10	0,08 0,03
$N_{90-120}P_{60}K_{60}$	2,0 2,4	6,8 1,1	-2728 -3274	48,5 75,0	0,33 0,08	0,41 0,12	0,08 0,04

Острый дефицит калия в контроле привёл к сокращению в 3,0 и 2,3 раза легко- и труднообменных форм элемента, в 3,7 – раза его равновесной активности в растворе и, как следствие, к увеличению в 1,3 и 1,2 раза до неблагоприятных величин калийного потенциала и потенциальной буферной способности почвы (табл. 2). Увеличение $ПБС^к$, в целом, указывает на устойчивость равновесия между калием твердой фазы и почвенного раствора, но в нашем случае оно свидетельствовало о мобилизации малодоступных резервных форм калия, ведущей к снижению плодородия. Применение азотных удобрений усиливало, а калийных – слабо сокращало мобилизацию труднодоступного калия. Вызванное этим увеличение $ПБС^K$ связано с усилением калийной сорбции, повышением селективности и прочности связи калия с почвой.

При этом за годы опыта в среднем в 3,8 раза снизилось количество калия «неспецифических» обменных позиций ($-\Delta K_o$) и в 2,7 раза – содержание калия «селективных» позиций (-Kx). Это свидетельствует об участии в поддержании определенной активности ионов калия в почвенном растворе не только непосредственно доступного калия, но и более труднодоступного калия специфических сорбционных позиций. Величина равновесной активности ионов калия (AR_0), которую способна поддерживать почва, уменьшилась в вариантах N и NPK в 5,3 и 6,2 раза соответственно.

Средние значения $ПБС^K$ при наличии высоких показателей AR_0 и среднем содержании лабильного калия указывают на хорошие условия калийного питания растений на легкосуглинистой почве опыта. Это положение полностью отвечает фиксируемой в опыте низкой эффективности калийного удобрения. С другой стороны, такое сочетание энергетических и ёмкостных характеристик указывает на значительное исчерпание запасов потенциально доступного растениям калия.

Вследствие уменьшения абсолютного содержания калия в почве увеличивается прочность связи обменного калия с ППК, что влечет за собой снижение скорости возобновления обменного калия из необменных форм. Последнее приводит к более экономному использованию калия растениями (снижается или исключается «люкс-питание» без снижения урожайности), а затем и к калийному голоданию, и снижению продуктивности, в первую очередь, наиболее требовательных культур. Из этого следует, что сохранение благоприятного калийного статуса хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава требует практически полной компенсации его продуктивных потерь. Длительное же использование таких почв при дефицитных по калию системах удобрения сопряжено с необратимой трансформацией их минеральной части.

Литература

1. Бабарина Э.А. Регулирование фосфатного и калийного режима дерново-подзолистых супесчаных почв // Агрохимия.- 1991.- № 5.- С. 21-26. 2. Ефимов В.Н., Иванов А.И. Скрытая деградация хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв России // Агрохимия.-2001.- № 6.-С. 5-10. 3. Иванов А.И. Почвенно-агрохимическое обоснование системы удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России: автореф.дисс…докт. с.-х. наук: 06.01.04. агрохимия – СПб.- Пушкин. – 2000. – 40 с. 4. Иванов А.И., Лямцева Е.Г. Оценка буферной системы калия лёгких дерново-подзолистых почв // Приложение к журналу Плодородие. – 2007. – № 2. – С. 8-9. 5. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Маслова А.И., Чернов Д.В. Калийное состояние дерново-подзолистой глееватой песчаной почвы при окультуривании и под залежью// Почвоведение.- 2006.- № 7.- С. 876-882. 6. Медведева О.П. Эффективность необменно-фиксированного почвой калия удобрения // Агрохимия.- 1975.- № 2.- С. 53-59. 7. Минеев В.Г., Гомонова В.Г. Действие и последействие удобрения на плодородие дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы // Агрохимия. – 2005. – № 1. – С. 5-13. 8. Мирошниченко Н.Н., Пащенко Я.В., Фатеев А.И. Показатели буферности и устойчивости в оценке барьерной функции // Почвоведение.- 2003.- № 7.- С. 808-817. 9. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения – М.: Ледум, 2000. – 185 с. 10. Сычев В.Г. Возможности совершенствования градаций содержания доступного калия // Агрохимический вестник. – 2000. – № 5. – С. 30-34. 11. Becket P.H. The “immediate” Q/I relations of labile potassium in the soil // J. Soil. Sci.-1964. - V. 15, № 1.- P. 1-23.

Assessment of potassium status in a cultivated soddy-podzolic soil

A.I. Ivanov, V.A. Vorobjev, E.G. Lyamtseva*

Research Institute of Agrophysics, Russian Academy of Agricultural Sciences,
Grazhdanskii pr. 14, St. Petersburg, 195220 Russia
***Velikie Luki State Agricultural Academy, pl. Lenina 1, Velikie Luki, Pskov oblast, 182100 Russia**

Summary. The role of row crops and mineral fertilizing system in the transformation of potassium status of a well cultivated soddy-podzolic soil was established in a long-term field experiment with grain-row crop rotation. The potassium buffer system of the soil was latently degraded during 20 years, which could be identified only by the integrated assessment of the soil capacity for potassium and the energy characteristics of transformation processes.

Key words: potassium status, grain-row crop rotation, soddy-podzolic soil.