

2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:631.445

ТРАНСФОРМАЦИЯ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКООКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ КАЛИЙ-ДЕФИЦИТНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева

*Институт почвоведения и агрохимии
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Почвы Беларуси сравнительно хорошо обеспечены калием. Две трети площади пашни характеризуются оптимальным или высоким уровнем содержания подвижных форм данного элемента [1].

Хорошо окультуренная дерново-подзолистая почва с оптимальным калийным состоянием обладает высоким потенциалом эффективного плодородия. На такой почве наблюдается стабильно высокая агрономическая эффективность калий-дефицитных систем удобрения [2, 3], которая может прослеживаться в течение трех ратаций 6-польного севооборота [4].

В результате изучения изменений запасов обменного калия в пахотном слое почвы при применении калий-дефицитных систем удобрения получены довольно противоречивые данные [5]. Но в исследованиях, проводившихся на хорошо окультуренных почвах, как правило, отмечается значительная деградация калийного состояния.

В исследованиях, проводившихся на территории России [2], установлено, что 20-летнее использование калий-дефицитной системы удобрения приводит к уменьшению содержания водорастворимых соединений калия в 5,8–8,1, подвижных – в 2,4–2,6 раза, необменных на – 62–71 %.

Наряду со снижением запасов калия и его подвижности, другими исследователями [6] в последствии отмечалось несколько более интенсивное потребление «остаточного» калия из обменной формы при минеральной системе удобрения по сравнению с органической и органоминеральной.

При исследовании динамики содержания обменного калия за 28 лет опыта на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в зернотравяном севообороте было определено, что в первые 8 лет происходило снижение его количества до определенного предела (70–110 мг/кг почвы), который в дальнейшем практически не изменялся [7].

Исследования, проводившиеся на территории Беларуси [8] на супесчаной почве, показали, что уже через 5 лет последствия калийных удобрений содержание подвижного калия в почве снижалось на 30 % от исходного состояния (220 мг/кг

почвы), а через 25 лет достигло уровня целинного аналога (40 мг/кг). Средние ежегодные потери элемента составили около 8 мг/кг почвы в год.

Изучение последствий почвенного фонда калия, сформированного предшествующим внесением различных доз калийных удобрений, показало, что его длительность и эффективность закономерно зависят от исходного уровня содержания калия в почве, обусловленного ранее поддерживаемым балансом данного элемента [9], а также системами удобрения сельскохозяйственных культур и структурой севооборотов [10].

Необходимо отметить, что снижение объемов внесения калийных удобрений в Беларуси обусловило смену в период 2017–2019 гг. преобладающего в земледелии положительного баланса калия на дефицит калийного питания растений в ряде районов республики [1]. В таких условиях важно не допустить снижения почвенного плодородия в отношении калия. Поэтому изучение его трансформации в почве как под влиянием длительного применения удобрений, так и после прекращения их использования представляется актуальным.

Оценка плодородия почв в отношении калия основана чаще всего на определении содержания в почве обменного (подвижного) калия. Как отмечают многие исследователи [11, 12, 13], оценивать калийное состояние почвы только по содержанию обменного калия явно недостаточно. Ведь в процесс питания растений в той или иной степени вовлекаются все формы почвенного калия.

Цель исследования – оценка калийного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой высококультуренной почвы на основании динамики водорастворимых, подвижных и необменных форм данного элемента в условиях последствий органических и калийных минеральных удобрений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение калийного режима дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с очень высоким содержанием подвижного калия проводилось в 2012–2018 гг. в стационарном технологическом опыте, заложенном на полях Института почвоведения и агрохимии, расположенных в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области. Агрохимическая характеристика пахотного слоя на начало проведения исследований: pH_{KCl} – 6,02–6,33, гумус – 2,07–2,40 %, содержание подвижных P_2O_5 – 736–847, K_2O – 387–449 мг/кг почвы.

Исследования проводили в двух последовательно открывающихся полях в зернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: кукуруза на зеленую массу (2013–2014 гг.) – яровая пшеница (2014–2015 гг.) – яровой ячмень (2015–2016 гг.) – яровой рапс (2016–2017 гг.) – озимая пшеница (2017–2018 гг.).

В опыте предусматривалось внесение минеральных удобрений на разных органических фонах. Органические удобрения (навоз КРС) со следующими показателями качества (в среднем за 2 года): N – 0,50 %, P_2O_5 – 0,28 %, K_2O – 0,60 %, CaO – 0,40 %, MgO – 0,12 %, влажность – 75 %, вносились осенью перед посевом кукурузы.

Минеральные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) применялись согласно схеме опыта (табл. 1).

Перед закладкой опыта (2012, 2013 гг.) в середине ротации (2015, 2016 гг.) и после завершения ротации севооборота (2018, 2019 гг.) проведен отбор смешанных почвенных образцов из пахотного слоя по делянкам.

В образцах определяли следующие формы калия: водорастворимый в водной вытяжке, подвижный по Кирсанову в 0,2 М солянокислой вытяжке, необменный по методу Пчелкина, представленный как разница между количеством калия переходящим в 2,0 М вытяжку соляной кислоты и величиной подвижного калия [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание водорастворимого, подвижного и необменного калия в почве перед закладкой опыта свидетельствует о высокой обеспеченности растений данным элементом питания (табл. 1).

Таблица 1

Изменение содержания различных форм калия в пахотном слое дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почвы за ротацию севооборота, 2012–2018 гг., мг/кг почвы

Фон	Водорастворимый			Подвижный			Необменный		
	н.р.	к.р.	±	н.р.	к.р.	±	н.р.	к.р.	±
Без удобрений – фон 1	68	53	–15	396	327	–69	416	362	–54
Фон 1 + N ₃₃₀	73	49	–24	398	307	–91	410	369	–41
Фон 1 + N ₄₈₀	70	44	–26	401	284	–117	430	347	–83
Фон 1 + N ₆₃₀	72	42	–30	387	274	–113	416	352	–64
Фон 1 + N ₆₃₀ P ₉₀ K ₁₉₅	71	49	–22	400	299	–101	401	332	–69
Среднее по фону	71	47	–24	396	298	–98	415	352	–63
Навоз 50 т/га – фон 2	75	65	–10	407	366	–41	395	357	–38
Фон 2 + N ₃₃₀	72	66	–6	400	355	–45	410	377	–33
Фон 2 + N ₄₈₀	76	59	–17	419	331	–88	451	389	–62
Фон 2 + N ₆₃₀	76	56	–20	423	324	–99	450	384	–66
Фон 2 + N ₆₃₀ P ₉₀ K ₁₉₅	80	57	–23	418	336	–82	467	375	–92
Среднее по фону	76	61	–15	413	342	–71	435	376	–58
Навоз 100 т/га – фон 3	76	78	2	449	413	–36	399	416	17
Фон 3 + N ₃₃₀	77	70	–7	434	390	–44	456	377	–79
Фон 3 + N ₄₈₀	77	65	–12	411	364	–47	424	377	–47
Фон 3 + N ₆₃₀	75	60	–15	418	350	–68	418	415	–3
Фон 3 + N ₆₃₀ P ₉₀ K ₁₉₅	76	73	–3	415	381	–34	420	416	–4
Среднее по фону	76	69	–7	425	380	–46	423	400	–23
НСП ₀₅ (фон)	–	7	–	–	27	–	–	25	–
НСП ₀₅ (н./к.р.)	–	–	5	–	–	20	–	–	33

Возделывание культур севооборота при различных системах удобрения привело к значительным изменениям в содержании соединений калия различной растворимости. Наибольшие потери наблюдались в условиях использования почвенного калия (фон 1). Существенное снижение потерь всех форм элемента отмечено при внесении 300 и 600 кг/га калия вместе с 50 и 100 т/га навоза соответственно. Внесение в сумме за ротацию севооборота 195 кг д. в./га минеральных калийных удобрений, ввиду незначительного их количества в сравнении с выносом, составившим в среднем в этих вариантах 764 кг/га, не имело

существенного преимущества перед моноазотной системой удобрения. Иванов и др. в своих исследованиях [4] на почве с содержанием подвижного калия 466 мг/кг почвы также указывают на то, что ежегодное внесение K_{60} компенсировало вынос лишь на 1/3, замедляло, но не предотвращало ухудшения калийного состояния почвы.

Изменения в содержании соединений калия различной растворимости имели свои особенности.

Водорастворимый калий не характеризует плодородие почвы в отношении калия, но широко используется при исследовании форм калия, степени окультуренности и удобренности почвы [14]. Перед закладкой опыта в почве содержалось 68–80 мг/кг водорастворимого калия, что составило в среднем по опыту 18 % от подвижного. К концу ротации севооборота отмечено достоверное снижение содержания данной формы калия. На безнавозном фоне потери были самыми высокими и составили в среднем 24 мг/кг почвы. Внесение 50 т/га навоза способствовало снижению темпов падения содержания данной формы элемента до 15 мг/кг почвы. Наименьшие потери (7 мг/кг) отмечены при внесении 100 т/га навоза. Таким образом, к концу ротации севооборота между изучаемыми фонами отмечалась существенная разница в содержании наиболее доступного для растений калия.

Достоверное снижение по всем изучаемым фонам отмечено и в отношении подвижного калия. На безнавозном фоне содержание снизилось на 25 % по отношению к начальному показателю и составило к концу ротации севооборота в среднем по фону 298 мг/кг почвы. На фонах с применением органических удобрений темпы снижения были ниже, составив 11–17 %. Можно отметить тенденцию увеличения темпов снижения содержания подвижного калия при повышении доз азотных удобрений и, соответственно, продуктивности севооборота в данных вариантах.

Обращает на себя внимание благоприятное действие навоза на калийное состояние почвы, оно отмечалось в первые три года после его внесения (рис. 1). Так через три года после внесения 600 кг/га калия со 100 т/га навоза отмечалось повышение содержания подвижного калия в данных вариантах в среднем на 12 мг/кг почвы. Внесение половинной дозы навоза и, соответственно, калия, позволило снизить темпы падения содержания калия до 23 мг/кг за три года, в то время как на фоне без навоза они составили 69 мг/кг почвы, или 23 мг/кг почвы в год. В дальнейшем на минеральном фоне можно отметить наметившуюся стабилизацию, так как за два года снижение составило 29 мг/кг почвы (15 мг/кг в год). На фонах с применением навоза напротив темпы снижения содержания подвижного калия повысились, составив 29 мг/кг в год на фоне применения 100 т/га навоза и 24 мг/кг при применении 50 т/га навоза. Если на фоне без навоза более низкие темпы снижения содержания подвижного калия можно отчасти объяснить меньшей величиной выноса (110,8 кг/га за два года), то более высокие потери почвенного калия на фоне 100 т/га навоза никак не связаны с выносом, который был несколько ниже, чем на фоне с внесением 50 т/га навоза (121,9 и 125,1 кг/га соответственно).

Отмечается [9], что очень высокое содержание подвижного калия в почве является неустойчивым и после прекращения поступления элемента извне, быстро снижается, как за счет выноса растениями, так и, возможно, за счет прочной фиксации почвой.

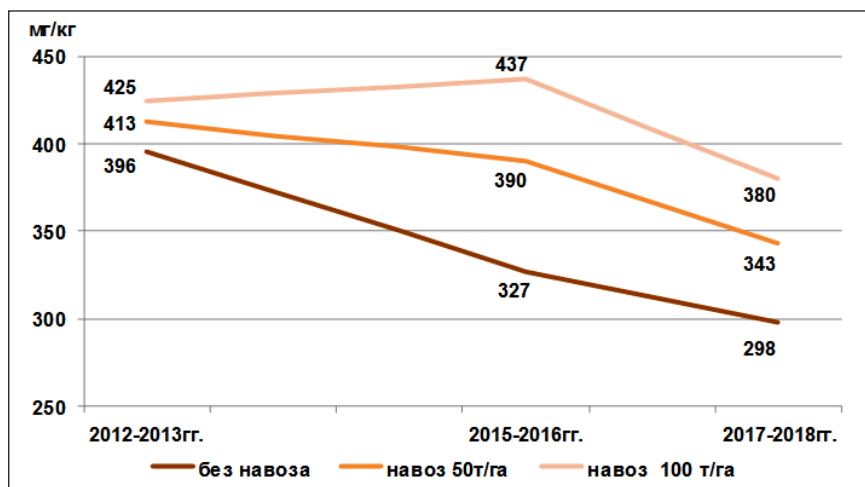


Рис. 1. Динамика содержания подвижного калия за ротацию севооборота

В наших исследованиях повышение содержания необменного калия не отмечалось, вероятно, фиксация калия происходила в формах неизвлекаемых 2,0 М НСl. При этом достоверное снижение содержания необменного калия отмечено на безнавозном фоне (63 мг/кг почвы) и фоне с применением 50 т/га навоза (58 мг/кг почвы). Применение двойной дозы навоза способствовало снижению темпов потери необменной формы калия в вариантах с совместным применением азотных удобрений, а в варианте с внесением навоза без дополнительного азота наблюдалась тенденция повышения ее содержания. Необходимо отметить, что в этом варианте зафиксирован и положительный баланс данного элемента, составивший 19 кг/га.

Обращает на себя внимание то, что если по влиянию на динамику содержания водорастворимого и подвижного калия отмечалось существенное преимущество внесения 50 т/га навоза перед безнавозным фоном, то в отношении необменного калия положительное действие наблюдалось только при применении 100 т/га навоза.

За ротацию севооборота отмечены тенденции в изменении соотношения между содержанием форм калия различной растворимости. Так, если в абсолютном выражении количество необменного калия снижалось, то в относительном выражении его доля в сумме калия, извлекаемого 2,0 М НСl, к концу ротации севооборота несколько повысилась (рис. 2). В начале ротации севооборота доли доступных (водорастворимый и подвижный калий) и непосредственно недоступных для растений (необменный) форм калия распределились практически поровну. Необменный калий составлял 50–51 % от суммарного калия, извлекаемого 2,0 М НСl. Относительное содержание водорастворимого калия составило 9 %, подвижные соединения – 40–41 %.

Изменения в относительном содержании отдельных форм калия говорят о негативной направленности процессов трансформации. Наиболее заметные преобразования наблюдались на фоне без применения органических удобрений. Относительное содержание водорастворимого калия снизилось на 2 %, что составляет 1/5 часть от начальной доли. Менее значительные изменения коснулись

подвижного калия (-1%), а доля необменного увеличилась на 3% . При внесении органических удобрений соотношения между соединениями калия различной растворимости изменялись в пределах одного процента и могут быть связаны как с наметившейся тенденцией трансформации калия в менее доступные формы, так и с погрешностями определения.

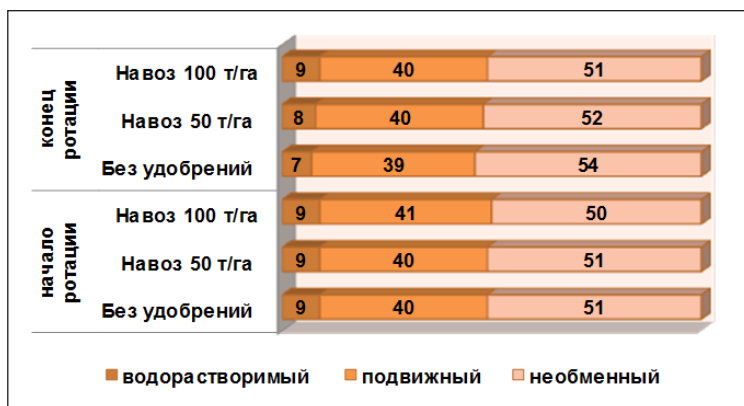


Рис. 2. Изменение долей соединений калия различной растворимости в сумме, извлекаемых $2,0\text{ M HCl}$, за ротацию севооборота

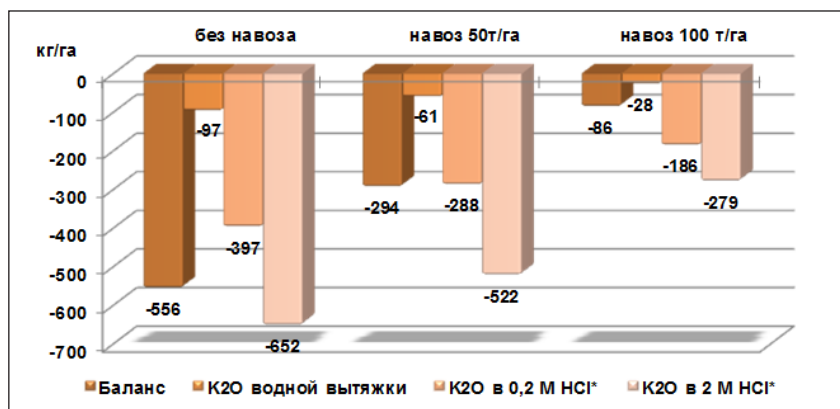
На калийное состояние почвы непосредственное влияние оказывает приход элемента с удобрениями, а также отчуждение с урожаем. Эти две величины связывает показатель баланса калия. Положительный баланс указывает на повышение плодородия почвы, а отрицательный – на истощение почвенных запасов калия. Как показывают результаты исследований [5], изменения в содержании различных форм калия не всегда согласуются с его балансом.

В проведенном опыте за ротацию севооборота отмечено значительное снижение запасов калия в почве, превышавшее величину баланса данного элемента (рис. 3). Как видно, питание растений калием на фоне без навоза происходило как за счет подвижных, так и изначально необменных форм, при этом непроизводительные потери элемента составили 93 кг/га . Они могут быть связаны как с вымыванием из пахотного слоя, так и с переходом в формы, не извлекаемые $2,0\text{ M HCl}$.

При применении 50 т/га навоза снижение запасов подвижного калия (-288 кг/га) сопоставимо с расчетным балансом данного элемента (-294 кг/га), а при внесении 100 т/га навоза в $2,2$ раза превышало баланс. Таким образом, непроизводительные потери калия в подвижной и необменной формах на фонах с применением навоза составили $193\text{--}228\text{ кг/га}$.

Полученные данные свидетельствуют о постоянном пополнении подвижных форм калия из необменных, в противном случае на фонах без навоза и с внесением 50 т/га навоза запасы подвижного калия были бы полностью исчерпаны всего за пять лет. Необходимо отметить, что в исследованиях не брался в расчет калий подпахотного слоя почвы, который также участвует в питании растений.

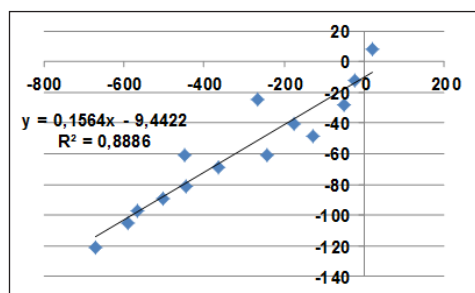
Но, несмотря на то что растения используют калий и подпахотного слоя почвы, между убылью различных форм калия в пахотном слое и балансом данного элемента обнаружена тесная линейная зависимость.



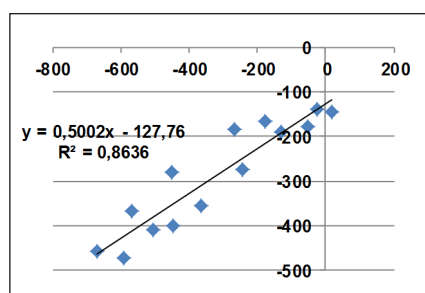
* Приведены запасы калия в 2 М НСl без вычета 0,2 М вытяжки и в 0,2 М НСl без вычета калия водной вытяжки.

Рис. 3. Баланс калия и изменение в пахотном слое почвы запасов различных соединений калия за ротацию зернопропашного севооборота

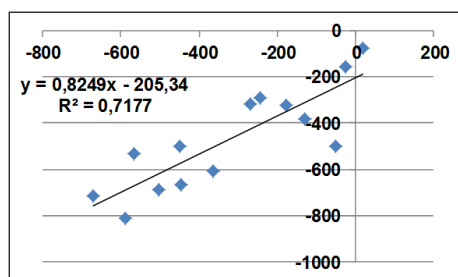
Особенно тесная связь обнаружена между балансом и изменением запасов наиболее доступной части калия в почве, коэффициент детерминации для водорастворимого калия составил 0,89, для подвижного – 0,86 (рис. 4). Показатель коэффициента детерминации на уровне 0,72, рассчитанный для баланса и изменения запасов необменного калия, свидетельствует о значительной вовлеченности и этой формы калия в питание растений.



Водорастворимый



Подвижный



Необменный

Рис. 4. Линейные взаимосвязи баланса калия (x) и изменений запасов соединений калия различной растворимости (y) в пахотном слое почвы

ВЫВОДЫ

Применение калий-дефицитных систем удобрения на высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в течение ротации пятипольного зернопропашного севооборота привело к достоверному снижению содержания водорастворимых (на 7–24 мг/кг почвы, или 9–34 %) и подвижных (на 46–98 мг/кг, или 11–25 %) форм калия на всех изучаемых фонах. Достоверное сокращение количества необменного калия (на 58–63 мг/кг почвы, или 13–15 %) наблюдалось на фоне без применения навоза и с внесением 50 т/га навоза.

Установлено положительное влияние внесения органических удобрений на калийное состояние почвы, которое прослеживалось в течение трех лет. При применении 100 т/га навоза количество подвижного калия за это время увеличилось на 12 мг/кг почвы (2,8 %), 50 т/га навоза замедлило темпы снижения количества подвижного калия до 23 мг/кг за три года (5,6 %).

Среднегодовые потери подвижного калия на фоне без внесения навоза составили 19,6 мг/кг почвы, на фоне применения 50 т/га навоза – 14,2, 100 т/га навоза – 9,2 мг/кг.

Снижение количества калия в пахотном слое почвы превышало расчетный баланс данного элемента. Непроизводительные потери в сумме подвижного и необменного калия на безнавозном фоне составили 96 кг/га, на фоне 50 т/га навоза – 228 кг/га, на фоне 100 т/га навоза – 193 кг/га, или 17, 78 и 224 % от баланса соответственно.

Между изменением запасов соединений калия различной растворимости в пахотном слое почвы и балансом калия установлены тесные линейные зависимости. Коэффициент детерминации для водорастворимого калия составил 0,89, для подвижного – 0,86, для необменного – 0,72.

Таким образом, применение калий-дефицитных систем удобрения на почвах с высоким содержанием подвижного калия ведет к развитию интенсивных деградиционных процессов в отношении данного элемента и истощению калийного фонда почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика обеспеченности калием пахотных и луговых почв Беларуси / И. М. Богдевич [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 104–116.
2. Лямцева, Е. Г. Калийное состояние легких дерново-подзолистых почв и его трансформация в современных условиях: дис. ...канд. с/х наук: 06.01.04 / Е. Г. Лямцева; ВГСХА. – Великие Луки, 2007. – 158 с.
3. Влияние окультуренности почв, систем удобрения и сорта на урожайность яровых зерновых культур / В. А. Воробьев, Г. В. Гаврилова, О. В. Назарова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 5. – С. 28–30.
4. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения / А. И. Иванов [и др.] // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 21–26.
5. Джонстон, А. Е. Использование результатов анализов растений и почвы для определения обеспеченности почвы калием / А. Е. Джонстон, К. В. Т. Гулдинг //

Выработка рекомендаций по применению калийных удобрений: материалы 22-го Международного коллоквиума, Солигорск, 18–22 июня 1990 г.: в 2 т. / Международный калийный институт; ред. Н. Ю. Богачева [и др.]. – Л., 1990. – Т. 2. – С. 3–37.

6. Лукин, С. М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений / С. М. Лукин // *Агрохимия*. – 2012. – № 12. – С. 5–14.

7. Никитина, Л. В. Влияние длительного применения удобрений в зернопашном севообороте на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы / Л. В. Никитина // *Агрохимия*. – 2012. – № 12. – С. 15–23.

8. Длительность последствий фосфорных и калийных удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие дерновоподзолистой супесчаной почвы / В. В. Лапа [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2019. – № 2(63). – С. 56–68.

9. Якименко, В. Н. Действие и последствие калийных удобрений в полевом опыте на серой лесной почве / В. Н. Якименко // *Агрохимия*. – 2015. – № 4. – С. 3–12.

10. Никитина, Л. В. Действие и последствие разных систем удобрения в длительном полевом опыте на калийный режим суглинистой почвы / Л. В. Никитина // *Плодородие*. – 2015. – № 6. – С. 3–5.

11. Сычев, В. Г. Трансформация калия в почвах агроценозов без применения удобрений / В. Г. Сычев, Л. В. Никитина // *Плодородие*. – 2017. – № 6. – С. 5–7.

12. Демин, В. А. Формы калийных соединений в дерново-подзолистой почве при длительном применении удобрений / В. А. Демин, Ауду Муса // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2002. – № 4. – С. 41–50.

13. Минеев, В. Г. Агрохимия и экологические функции калия / В. Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.

14. Практикум по агрохимии: учебное пособие / под ред. В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

TRANSFORMATION OF THE POTASH STATE OF HIGHLY CULTIVATED SOD-PODZOLIC LIGHT-LOAMY SOIL UNDER CONDITIONS OF APPLICATION OF POTASSIUM-DEFICIENT FERTILIZER SYSTEMS

O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva

Summary

The results of studies on the study of the potash state of sod-podzolic light-loamy soil under the conditions of the use of potassium-deficient fertilizer systems are presented. It is established that the use of potassium-deficient fertilizer systems on soils with a high content of mobile potassium leads to the development of intensive degradation processes in relation to this element and the depletion of the potash fund of the soil. The decrease in the content of water-soluble potassium during the rotation of the five-field grain-crop rotation is 9–34 %, mobile – 11–25 %, non-exchange 10–15 %. The highest rates of degradation were observed when using a mineral fertilizer system. The introduction of manure reduced the loss of potassium in absolute terms, but increased the share of unproductive losses.

Поступила 23.03.21