

Литература

- Антыков А.Я. и Стоморев А.Я. 1970. Почвы Ставропольского края и их плодородие. Став-рополь: Кн. изд-во. 413 с.
- Сельское хозяйство России. 2010. Министерство сельского хозяйства РФ. Москва. 54 с.
- Багринцева В.Н. 1993. Применение калийных удобрений под озимую пшеницу (рекомендации для Левомульского района Ставропольского края). Буденновск. 29 с.
- Черкасова Л.П. 1991. Состояние калийного режима почвы и его изменение при систематическом использовании удобрений в севооборотах: Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. Москва. 24 с.
- Челядинов Г.И. и Стоморев А.Я. 1964. Ставропольский край. В кн.: Агрохимическая характеристика почв СССР (под ред. Соколова А.В.). М.: Наука. С. 144-174.
- Карандашов Л.Г. и Подколзин А.И. 1987. Химизация сельского хозяйства на Ставрополье. Ставрополь. 69 с.
- Подколзин А.И. 2008. Эволюция, воспроизводство плодородия почв и оптимизация применения удобрений в агроландшафтах Центрального Предкавказья: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Москва. 45 с.
- Багринцева В.Н. 1996. Оптимизация возделывания зерновых культур в севооборотах Восточного Предкавказья: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Ставрополь.

Эффективность калийного удобрения в агроэкосистемах на серых лесных почвах ополья Центральной России

В.И. Никитишен, В.И. Личко

Исследования, проведенные нами (Никитишен, 1984, 2002, 2003), а также результаты, полученные другими авторами (Гордецкая, 1976; Никитина, 1994; Яговенко, 1995; Окорков, 2001), свидетельствуют о том, что серые лесные почвы ополей гораздо лучше обеспечены калием по сравнению с азотом и фосфором. Прежде всего, это связано с более высоким валовым содержанием в них К, которое в почвах Мещовского ополья составляет 2.26% K_2O (Никитишен, 1984), в почвах Владимирского ополья и юга Подмосковья соответственно 2.18–2.44% и 2.28–2.64% (Алифанов, 1995).

Как известно (Прокошев, Дерюгин, 2000), валовое содержание калия в почвах зависит от минералогического состава почвы, и прежде всего от того, в какой доле в ней представлены калийсодержащие минералы группы полевых шпатов и слюд (10–12% K_2O) и продукты их выветривания. Наиболее обогащена калием илестая фракция почв, доля которой в верхних горизонтах составляет 14–17%, возрастая с глубиной до 24–32% (Алифанов, 1995; Окорков, 2001).

Высокое содержание в илестой фракции серых лесных почв гидрослюд мусковит-серицитового типа, смешано-слоистых образований слюда-сметитового и хлорит-сметитового типов, калиевых полевых шпатов обуславливают повышенные запасы в них валовых и подвижных форм калия. Как показали наши исследования в стационарных полевых опытах на Калужской опытной станции (Никитишен, 1984), обеспеченность серых лесных почв калием характеризовалась следующим содержанием усвояемых и потенциально доступной форм этого элемента питания в пахотном слое (мг $K_2O/100$ г почвы): водорастворимый – 0.8–1.0, обменный – 8.0–10.0, необменный – 140–150. По мере увеличения доли илестой фракции с глубиной с 12–16% до 26–30% содержание водорастворимого калия понижалось до 0.2–0.3 мг $K_2O/100$ г почвы, а количество обменно- и необменно поглощенного калия увеличивалось

вдвое – до 16.0–18.0 и 280–300 мг $K_2O/100$ г почвы. Таким образом, исходя из современных представлений в области калийного питания, согласно которым взаимодействие этих форм почвенного К определяет доступность его растениям (Никитишен, 1984; Минеев, 1999; Прокошев, Дерюгин, 2000), становится очевидным, насколько велики запасы этого биогенного элемента в серых лесных почвах ополей. Последнее, однако, не означает, что они не нуждаются в калийных удобрениях, о чем свидетельствуют результаты изучения их эффективности в полевых севооборотах, изложенные ниже.

Исследования проводили в многолетних стационарных полевых опытах на Экспериментальной полевой станции института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН. Почвы опытных участков – серые лесные, среднесуглинистые, характеризующиеся малым содержанием гумуса (2.1–2.2%), слабокислой реакцией среды (pH_{KCl} 5.3–5.4) и невысоким количеством обменного калия по Масловой (8–12 мг $K_2O/100$ г). Исходная обеспеченность подвижными фосфатами по Кирсанову в опытах составляла: 3–4 мг/100 г (поле 1) и 7–8 мг/100 г (поле 2). Чередование культур в 9-польном севообороте было следующим (1978–1996 гг.): вико-овсяная смесь, озимая пшеница, кукуруза, ячмень с подсевом клевера, клевер 1-го года пользования, клевер 2-го года пользования, озимая пшеница, кукуруза, ячмень. Дозы применения азотного удобрения, вносимого под все культуры севооборота, за исключением клевера и завершающей культуры 2-й ротации – ячменя, составляли 60, 120 и 180 кг N/га, дозы фосфорного удобрения – 40, 80 кг $P_2O_5/га$ и калийного – 60 и 120 кг $K_2O/га$. За две ротации 9-польного севооборота в почву поступило в расчете на гектар 720, 1440 и 2160 кг N, 520 и 1040 кг P_2O_5 , 780 и 1560 кг K_2O .

Метеорологические условия в период проведения полевых опытов были типичными для территории ополей. Годовое количество атмосферных осадков, 2/3 которых выпадало в теплое время года, колебалось от

456 до 752 мм. Сильные засухи весной и в начале лета наблюдались в 1979, 1981, 1984, 1992, и 1995 гг. Относительно благоприятный режим увлажнения для посевов складывался в условиях 1985, 1986, 1989, 1990, 1993, 1994 и 1996 гг.

Располагая данными многолетних стационарных полевых опытов, представляется возможным количественно оценить вклад серой лесной почвы и калийного удобрения в обеспечение потребления К различными сельскохозяйственными культурами, а также изучить влияние на этот процесс элементов первого минимума – N и P. Как известно, многие культуры полевого севооборота активно потребляют К в первой половине вегетации, накапливая в надземной биомассе максимальное его количество к фазе цветения, а в последующий период некоторые из них (зерновые злаки) могут терять до половины содержащегося в растениях К. Поэтому, учитывая размеры выноса К конечным урожаем зерновых культур во время полной спелости, нельзя составить истинного представления о действительной потребности посевов в К. В связи с этим мы сочли целесообразным оценить данные о потреблении К культурами, убираемыми на кормовые цели в зеленом состоянии (однолетними и многолетними травами, кукурузой) и выращиваемыми до полной спелости (зерновыми злаками), отдельно.

Исследования показали, что посевы вико-овсяной смеси в первой ротации севооборота (1978–1979 гг.) испытывали острый дефицит влаги, что сильно ограничивало потребление ими N и P и отрицательно повлияло на подвижность К в почве и потребление его растениями. За счет мобилизации ресурсов почвенного плодородия формировался невысокий урожай сухой надземной биомассы вико-овсяной смеси – 23 ц/га. В условиях дефицита влаги потребление растениями К из почвенных запасов слабо зависело от обеспеченности азотом и фосфором и составляло 49–66 кг К₂O/га. Потребление К из удобрения, напротив, заметно усиливалось при внесении К в сочетании с P, достигая максимальных значений на фоне двойной дозы фосфорного удобрения. Однако внесение азотного удобрения и в этом случае не подействовало на потребление К вико-овсяной смесью. В итоге однолетними травами потреблялось из почвы не более 62–66 кг К₂O/га, из удобрения – максимум 21–24 кг К₂O/га, обеспечивая рост урожайности сухой надземной биомассы на 4-5 ц/га (табл. 1).

При выращивании вико-овсяной смеси во второй ротации севооборота в благоприятных условиях водного режима положительное действие удобрений на продуктивность посевов проявилось гораздо сильнее, вызывая удвоение урожая сухой надземной биомассы с 32 до 61–63 ц/га. При этом проявилось сильное положительное влияние азотного и фосфорного удобрений на потребление растениями К как из почвенных запасов, так и, особенно, из удобрения. Так, в вариантах N₁₈₀P₄₀ и N₁₈₀P₈₀ посевы потребляли 114 кг К₂O/га, а в вариантах N₁₈₀P₄₀K₆₀ и N₁₈₀P₈₀K₁₂₀ оно составило 192–218 кг К₂O/га. Таким образом, для потребления вико-овсяной смесью К, внесенного с удобрением, обеспеченность азотом и фосфором оказалась не менее значимым фактором, чем само калийное удобрение.

При достижении оптимального и сбалансированного уровня азотного и фосфорного питания растениями усваивалось из удобрения почти такое же количество К, как из почвы (соответственно 104 и 114 кг К₂O/га).

Кукуруза относится к числу культур, потребление N и P у которой существенно ограничивается при недостатке тепла. Такие условия теплообеспеченности складывались при выращивании кукурузы в 1980, 1990 и 1994 гг. Это отрицательно повлияло и на урожайность, и на уровень калийного питания посевов (табл. 2, 3). Во второй ротации растениями из почвенных запасов усваивалось максимум 51–52 кг К₂O/га, а в первой – не более 70–75 кг К₂O/га, из удобрения 49–50 и 22–24 кг К₂O/га соответственно. При выращивании кукурузы в условиях недостатка тепла в первой ротации севооборота наблюдалось слабое воздействие высокой обеспеченности азотом на усвоение растениями К как из почвы, так и из удобрения. Усиление уровня фосфорного питания в этом отношении оказалось более эффективным, проявляясь в увеличении потребления посевами К из обоих источников питания. В данных условиях калийные удобрения слабо повышали продуктивность кукурузы.

При выращивании кукурузы в сравнительно благо-

Таблица 1. Влияние минеральных удобрений на урожай сухой надземной биомассы вико-овсяной смеси

| Доза N, кг/га | Доза K, кг К ₂ O/га | Доза P, кг P ₂ O ₅ /га | | | | | |
|---|--------------------------------|--|-----|----|----|----|----|
| | | 0 | | 40 | | 80 | |
| | | У* | П** | У | П | У | П |
| <i>1-я ротация севооборота (среднее за 1978-1979 гг.)</i> | | | | | | | |
| 0 | 0 | 23 | – | 28 | – | 26 | – |
| | 60 | 23 | 0 | 26 | –2 | 30 | 4 |
| | 120 | 22 | –1 | 28 | 0 | 30 | 4 |
| 60 | 0 | 26 | – | 30 | – | 28 | – |
| | 60 | 25 | –1 | 27 | –3 | 31 | 3 |
| | 120 | 21 | –5 | 28 | –2 | 30 | 2 |
| 120 | 0 | 29 | – | 28 | – | 27 | – |
| | 60 | 25 | –4 | 27 | –1 | 31 | 4 |
| | 120 | 22 | –7 | 28 | 0 | 30 | 3 |
| 180 | 0 | 27 | – | 27 | – | 26 | – |
| | 60 | 25 | –2 | 28 | 1 | 31 | 5 |
| | 120 | 22 | –5 | 26 | –1 | 27 | 1 |
| <i>2-я ротация севооборота (среднее за 1987-1988 гг.)</i> | | | | | | | |
| 0 | 0 | 32 | – | 34 | – | 36 | – |
| | 60 | 32 | 0 | 34 | 0 | 35 | –1 |
| | 120 | 26 | –6 | 29 | –5 | 36 | 0 |
| 60 | 0 | 37 | – | 48 | – | 42 | – |
| | 60 | 36 | –1 | 49 | 1 | 51 | 9 |
| | 120 | 37 | 0 | 49 | 1 | 50 | 8 |
| 120 | 0 | 42 | – | 53 | – | 49 | – |
| | 60 | 40 | –2 | 54 | 1 | 58 | 9 |
| | 120 | 42 | 0 | 61 | 8 | 58 | 9 |
| 180 | 0 | 46 | – | 54 | – | 53 | – |
| | 60 | 46 | 0 | 57 | 3 | 59 | 6 |
| | 120 | 45 | –1 | 61 | 7 | 63 | 10 |
| | | * У - урожайность, ц/га | | | | | |
| | | ** П - прибавка от K удобрений, ц/га | | | | | |

Таблица 2. Влияние минеральных удобрений на урожай сухой надземной биомассы кукурузы

| Доза N, кг/га | Доза K, кг K ₂ O/га | Доза P, кг P ₂ O ₅ /га | | | | | |
|---|--------------------------------|--|-----|----|----|----|-----|
| | | 0 | | 40 | | 80 | |
| | | У* | П** | У | П | У | П |
| <i>1-я ротация севооборота (среднее за 1980-1981 гг.)</i> | | | | | | | |
| 0 | 0 | 27 | – | 39 | – | 39 | – |
| | 60 | 32 | 5 | 32 | –7 | 34 | –5 |
| | 120 | 32 | 5 | 34 | –5 | 38 | –1 |
| 60 | 0 | 31 | – | 38 | – | 42 | – |
| | 60 | 30 | –1 | 37 | –1 | 44 | 2 |
| | 120 | 32 | 1 | 35 | –3 | 40 | –2 |
| 120 | 0 | 28 | – | 38 | – | 37 | – |
| | 60 | 28 | 0 | 36 | –2 | 38 | 1 |
| | 120 | 30 | 2 | 35 | –3 | 43 | 6 |
| 180 | 0 | 31 | – | 33 | – | 34 | – |
| | 60 | 26 | –5 | 35 | 2 | 37 | 3 |
| | 120 | 28 | –3 | 33 | 0 | 40 | 6 |
| <i>2-я ротация севооборота (среднее за 1989-1990 гг.)</i> | | | | | | | |
| 0 | 0 | 45 | – | 43 | – | 49 | – |
| | 60 | 40 | –5 | 43 | 0 | 46 | –3 |
| | 120 | 41 | –4 | 45 | 2 | 44 | –5 |
| 60 | 0 | 42 | – | 63 | – | 60 | – |
| | 60 | 41 | –1 | 66 | 3 | 58 | –2 |
| | 120 | 42 | 0 | 55 | –8 | 56 | –4 |
| 120 | 0 | 42 | – | 62 | – | 67 | – |
| | 60 | 45 | 3 | 64 | 2 | 64 | –3 |
| | 120 | 44 | 2 | 55 | –7 | 60 | –7 |
| 180 | 0 | 39 | – | 63 | – | 74 | – |
| | 60 | 44 | 5 | 65 | 2 | 64 | –10 |
| | 120 | 44 | 5 | 61 | –2 | 71 | –5 |

* У - урожайность, ц/га
**П - прибавка от К удобрений, ц/га

приятных условиях обеспеченности теплом и влагой. Посевами усваивалось гораздо больше К как из почвы, так и из удобрения. За счет мобилизации почвенных запасов потребление К растениями достигало соответственно 95–102 и 86–93 кг K₂O/га, под влиянием удобрения оно возрастало на 59–73 и 55–62 кг K₂O/га. Повышение обеспеченности кукурузы азотом оказывало более ощутимое положительное влияние на потребление К из удобрения в случае внесения N в сочетании с P. Несмотря на заметное усиление калийного питания растений под влиянием калийных удобрений, воздействие его на урожайность было неустойчивым (табл. 3).

Как показали исследования, потребление К посевами клевера из почвы и удобрения в неодинаковой степени зависело от условий увлажнения. При достаточной обеспеченности влагой в первой ротации севооборота за счет мобилизации почвенных запасов К посевами усваивалось более чем вдвое больше К, чем во второй ротации в условиях дефицита влаги. В первом случае вынос К в сумме за два укоса клевера достигал 144–147 кг K₂O/га, во втором случае – 60–62 кг K₂O/га. Азотное и фосфорное удобрения не влияли на потребление растениями почвенного К. Потребление К по-

Таблица 3. Влияние минеральных удобрений на урожай сухой надземной биомассы кукурузы

| Доза N, кг/га | Доза K, кг K ₂ O/га | Доза P, кг P ₂ O ₅ /га | | | | | |
|---|--------------------------------|--|-----|----|----|----|----|
| | | 0 | | 40 | | 80 | |
| | | У* | П** | У | П | У | П |
| <i>1-я ротация севооборота (среднее за 1985-1986 гг.)</i> | | | | | | | |
| 0 | 0 | 46 | – | 58 | – | 57 | – |
| | 60 | 56 | 10 | 58 | 0 | 59 | 2 |
| | 120 | 55 | 9 | 56 | –2 | 61 | 4 |
| 60 | 0 | 56 | – | 71 | – | 71 | – |
| | 60 | 55 | –1 | 68 | –3 | 74 | 3 |
| | 120 | 59 | 3 | 64 | –7 | 76 | 5 |
| 120 | 0 | 61 | – | 77 | – | 76 | – |
| | 60 | 55 | –6 | 71 | –6 | 80 | 4 |
| | 120 | 58 | –3 | 77 | 0 | 82 | 6 |
| 180 | 0 | 58 | – | 74 | – | 77 | – |
| | 60 | 61 | 3 | 72 | –2 | 84 | 7 |
| | 120 | 62 | 4 | 83 | 9 | 88 | 11 |
| <i>2-я ротация севооборота (среднее за 1994-1995 гг.)</i> | | | | | | | |
| 0 | 0 | 25 | – | 33 | – | 32 | – |
| | 60 | 23 | –2 | 25 | –8 | 23 | –9 |
| | 120 | 20 | –5 | 25 | –8 | 25 | –7 |
| 60 | 0 | 25 | – | 37 | – | 37 | – |
| | 60 | 23 | –2 | 35 | –2 | 33 | –4 |
| | 120 | 22 | –3 | 33 | –4 | 38 | –1 |
| 120 | 0 | 29 | – | 36 | – | 40 | – |
| | 60 | 27 | –2 | 37 | 1 | 40 | 0 |
| | 120 | 25 | –4 | 34 | –2 | 42 | 2 |
| 180 | 0 | 26 | – | 34 | – | 46 | – |
| | 60 | 29 | 3 | 41 | 7 | 43 | –3 |
| | 120 | 24 | –2 | 37 | 3 | 41 | –5 |

* У - урожайность, ц/га
**П - прибавка от К удобрений, ц/га

севами клевера из удобрения в гораздо меньшей мере зависело от условий водного режима. При достаточной влагообеспеченности посевы потребляли из удобрения максимум 55–61 кг K₂O/га, при дефиците влаги – 39–45 кг K₂O/га. Потребление растениями К, внесенного с удобрением, усиливалось под действием P, причем более ощутимо в случае выращивания клевера в условиях благоприятного увлажнения. Так, если на вариантах с внесением азотно-калийного удобрения в первой ротации севооборота оно составило 141–182 кг K₂O/га, то на вариантах с внесением полного минерального удобрения – 161–202 кг/га, во второй ротации севооборота соответственно – 70–84 и 74–106 кг/га. Таким образом, дефицит влаги отрицательно влиял на доступность растениям К из удобрения, но в гораздо меньшей степени, чем на доступность почвенного К.

В эффективности последствия удобрений в посевах клевера прослеживалась следующая закономерность (табл. 4). Азот, внесенный под предшествующие культуры севооборота, в большинстве случаев вызывал снижение урожая сухой надземной биомассы клевера, что сильнее проявилось в условиях дефицита влаги во второй ротации севооборота. Последствие фосфорного и калийного удобрений обеспечивало не-

высокий и примерно равный положительный эффект, выразившийся в росте урожая клевера в первой ротации севооборота соответственно на 9–10 и 8–10 ц/га, во второй ротации – на 6–7 и 5–6 ц/га. В обоих случаях наблюдалось положительное взаимодействие Р и К в интенсификации продукционного процесса в посевах многолетних бобовых трав. Урожай сухой надземной биомассы при совместном внесении Р и К повышался сильнее, чем от каждого из них в отдельности.

На основе полученных данных можно заключить, что потребление посевами вико-овсяной смеси К из почвы и удобрения в значительной степени определяется обеспеченностью ее влагой, а потребление К посевами кукурузы сильнее зависит от теплового режима. При выращивании этих культур в благоприятных гидротермических условиях проявляется высокое положительное действие азотного и фосфорного удобрений на потребление посевами калия из обоих источников питания. В повышении потребления К вико-овсяной смесью, испытывающей недостаток влаги, и кукурузой, произрастающей при дефиците тепла, первостепенное значение имеет усиление обеспеченности их фосфором. Потребление К посевами клевера из почвы

в гораздо большей мере зависит от условий водного режима, чем потребление К из удобрения. Потребление этой культурой К из удобрения возрастает под влиянием фосфорного удобрения, положительное действие которого усиливается при выращивании ее в условиях достаточной влагообеспеченности.

Проанализируем данные, характеризующие особенности калийного питания зерновых культур, не получившие пока должной оценки с позиций агрохимии. Как известно, при выращивании злаковых в регионах с достаточным увлажнением приходится сталкиваться с таким явлением, как вымывание К из надземных органов растений атмосферными осадками в репродуктивный период вегетации. Вымывание может достигать 50% от максимального его накопления в надземной биомассе (Никитишен, Личко, 2002). Это связано с тем, что большая часть К находится в лабильной связи с клеточным веществом и легко вымывается из растительных тканей под действием холодной воды, особенно в ночное время, когда прекращается процесс фотосинтеза. Данное явление весьма характерно для климатических условий Нечерноземной зоны европейской территории России, где преобладающее количество осадков очень часто выпадает именно во второй половине вегетации зерновых культур (Никитишен, 2003). По нашим данным, доля таких лет в южном Подмоскowie достигает 50%.

Учитывая важную роль К в метаболизме растений, и прежде всего в регулировании оттока ассимилятов из вегетативных органов в репродуктивные, правомерно предположить, что значительные потери К посевами зерновых злаков после фазы колошения не могут не сказаться на их продуктивности и отзывчивости на калийное удобрение. Основанием для такого предположения послужили результаты 18-летнего изучения эффективности калийного удобрения, согласно которым, несмотря на существенное усиление потребления К озимой пшеницей и ячменем в первый период вегетации (всходы – колошение) под влиянием внесения калийного удобрения, это во многих случаях не вызывало ожидаемого роста продуктивности посевов (Никитишен, 2002).

Исследования, проведенные в многолетних полевых опытах, более подробно изложенные нами ранее (Никитишен, Личко, 2002), показали наличие тесной прямой связи между количеством вымываемого К из надземных органов злаковых после фазы колошения и интенсивностью выпадения атмосферных осадков. За 18-летний период проведения исследований 9 лет отличались обильным выпадением осадков преимущественно ливневого характера в репродуктивные фазы роста и развития зерновых злаков, что вызывало потери из растительных тканей от 33 до 79 кг К₂O/га или 30–50% от максимального его накопления посевами в фазе колошения. Зависимость потерь К растениями вследствие вымывания от количества осадков, выпадающих в репродуктивный период вегетации, показана на рис. 1. Потери К в эти годы оказались соизмеримы с размерами потребления К растениями из удобрения с начала вегетации до колошения. В итоге, почти весь К, дополнительно усвоенный удобрениями им посевами ко времени колошения, в последующий репродуктив-

Таблица 4. Последствие минеральных удобрений на урожай сухой надземной биомассы клевера двухлетнего пользования

| Доза N, кг/га | Доза K, кг К ₂ O/га | Доза P, кг P ₂ O ₅ /га | | | | | |
|---|--------------------------------|--|----|----|----|----|---|
| | | 0 | | 40 | | 80 | |
| | | У* | П | У | П | У | П |
| <i>1-я ротация севооборота (среднее за 1982-1984 гг.)</i> | | | | | | | |
| 0 | 0 | 59 | – | 63 | – | 62 | – |
| | 60 | 58 | –1 | 63 | 0 | 64 | 2 |
| | 120 | 60 | 1 | 70 | 7 | 68 | 6 |
| 60 | 0 | 60 | – | 59 | – | 60 | – |
| | 60 | 54 | –6 | 64 | 5 | 64 | 4 |
| | 120 | 58 | –2 | 67 | 8 | 64 | 4 |
| 120 | 0 | 61 | – | 61 | – | 60 | – |
| | 60 | 57 | –4 | 61 | 0 | 66 | 6 |
| | 120 | 63 | 2 | 71 | 10 | 64 | 4 |
| 180 | 0 | 59 | – | 61 | – | 58 | – |
| | 60 | 58 | –1 | 62 | 1 | 64 | 6 |
| | 120 | 63 | 4 | 68 | 7 | 66 | 8 |
| <i>2-я ротация севооборота (среднее за 1991-1993 гг.)</i> | | | | | | | |
| 0 | 0 | 46 | – | 45 | – | 45 | – |
| | 60 | 45 | –1 | 45 | 0 | 47 | 2 |
| | 120 | 43 | –3 | 47 | 2 | 49 | 4 |
| 60 | 0 | 41 | – | 43 | – | 42 | – |
| | 60 | 40 | –1 | 45 | 2 | 45 | 3 |
| | 120 | 42 | 1 | 47 | 4 | 47 | 5 |
| 120 | 0 | 40 | – | 43 | – | 42 | – |
| | 60 | 41 | 1 | 44 | 1 | 48 | 6 |
| | 120 | 40 | 0 | 44 | 1 | 47 | 5 |
| 180 | 0 | 38 | – | 39 | – | 42 | – |
| | 60 | 39 | 1 | 45 | 6 | 45 | 3 |
| | 120 | 40 | 2 | 44 | 5 | 41 | 1 |

* У - урожайность, ц/га

** П - прибавка от К удобрений, ц/га

Таблица 5. Потери калия из растений вследствие вымывания и эффективность калийного удобрения в посевах озимой пшеницы

| Осадки, после фазы цветения, мм | Количество ливней | Интенсивность ливней, мм/сут | Потери K_2O из растений, кг/га | Масса 1000 зерен, г | | Прибавка урожая зерна от калия, ц/га |
|---------------------------------|-------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------|--------------------------------------|
| | | | | в варианте NP | в варианте NPK | |
| 215 | 5 | 21–67 | 79 | 39.0 | 38.8 | 0 |
| 177 | 5 | 20–44 | 52 | 44.0 | 45.2 | 1.3 |
| 145 | 3 | 24–27 | 38 | 39.7 | 41.3 | 2.3 |
| 122 | 2 | 19–21 | 10 | 39.6 | 43.2 | 5.9 |
| 150 | 1 | 30 | 0 | 37.6 | 44.2 | 9.0 |

ный период роста подвергался вымыванию. Последнее отразилось на эффективности калийного удобрения, поскольку исключало возможность проявления положительной роли вымывшегося из растений К в регуляции оттока ассимилятов и прежде всего углеводов в формирующееся зерно (Минеев, 1999). Как показывают усредненные данные (табл. 5), посеvy, имеющие наиболее высокие потери К в репродуктивный период вегетации (79 кг K_2O /га), не реагировали на калийное удобрение, а при вымывании из растений 52 кг K_2O /га под влиянием его внесения достигался рост урожая зерна не более чем на 1,3 ц/га. В этих условиях в вариантах с внесением К не наблюдалось увеличения крупности зерна и масса 1000 зерен была такой же, как и на фоне азотно-фосфорного удобрения (38.8 и 39.0 г).

Иная закономерность в действии калийного удобрения прослеживалась в случае отсутствия или незначительных потерь К из растений в репродуктивный период роста зерновых злаков. Под влиянием внесения одинарной (K_{60}) и двойной (K_{120}) доз К по сравнению с фоном $N_{120}P_{80}$ масса 1000 зерен озимой пшеницы возрастала с 37.6–39.6 до 41.3–44.2 г, а урожай зерна увеличивался в среднем на 5.9–9.0 ц/га. Зависимость эффективности калийного удобрения от размеров потерь К зерновыми злаками в период колошения–полная спелость носит экспоненциальный характер (рис. 2).

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что вымывание К из растений после фазы колошения следует рассматривать как негативное явление, создающее дефицит К в репродуктивный период роста и развития зерновых злаков. Данное обстоятельство, на наш взгляд, – первопричина часто наблюдаемого в полевых опытах неблагоприятного влияния избытка вла-

ги на формирование полноценного зерна (Никитишен, 2002). Снижение устойчивости растений к полеганию и поражению патогенной микрофлорой, являющееся основной причиной образования щуплого зерна в этих условиях (Иванова, 1982), очевидно, является следствием калийной недостаточности. Правомерность такого суждения основана на данных об определяющей роли К в формировании прочных скелетных тканей и оздоровлении фитосанитарного состояния посевов зерновых культур (Минеев, 1999). Чтобы свести к минимуму отрицательное воздействие вымывания К на продуктивность растений, необходимо, очевидно, внести коррективы в традиционную систему допосевого внесения калийных удобрений под зерновые культуры, выращиваемые в регионах с преобладанием атмосферных осадков во второй половине вегетации. Можно предполагать, что для восполнения потерь вымываемого из растений К оправдано будет применение после периода ливневых дождей внекорневой подкормки посевов злаковых калийными удобрениями.

Анализ баланса калия в агроэкосистемах за 21–22-летний период проведения полевых опытов показал, что если исключить из расходной статьи ту его часть, которая содержится в соломе зерновых злаков и в измельченном виде запахивается в почву, то для полной компенсации дефицита калия достаточно поступления в почву 1580 кг K_2O /га. Это составляет в среднем 71 кг K_2O в год в расчете на 1 га севооборотной площади. При внесении вдвое меньшего количества калия (35.5 кг K_2O /га в год) складывается отрицательный его баланс, составляющий 495–631 кг K_2O /га и находящийся в пределах того допустимого уровня, который считал оправданным Д.Н. Прянишников.

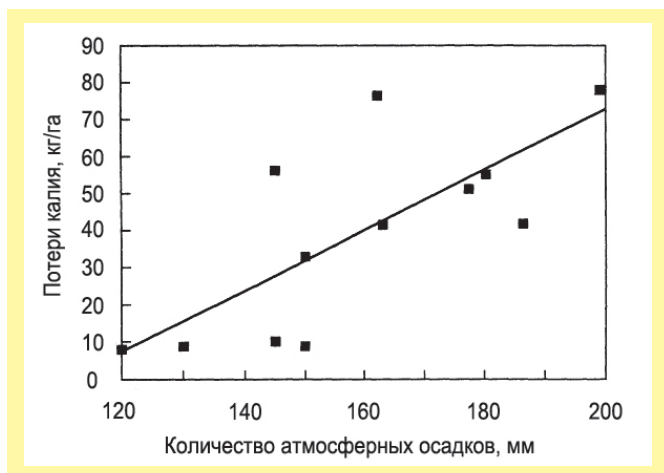
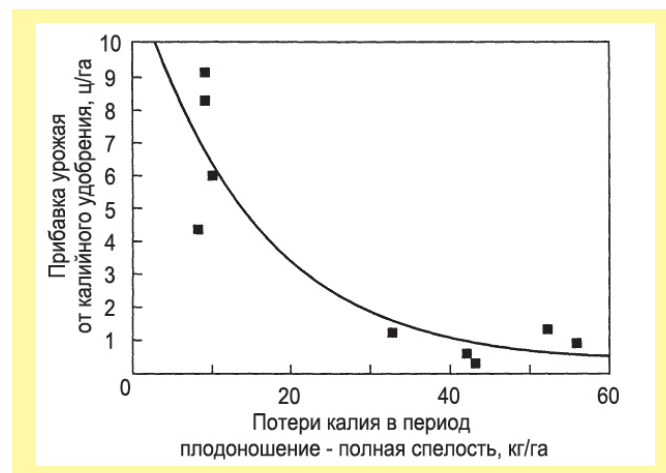
**Рис. 1.** Вымывание калия из надземной биомассы зерновых злаков в зависимости от количества атмосферных осадков в репродуктивный период**Рис. 2.** Прибавки урожая зерна злаковых от калийного удобрения в зависимости от потерь калия вследствие вымывания

Таблица 6. Использование посевами калия почвы и удобрения и продуктивность севооборота в зависимости от внесения N и P (среднее за 21–22 года по двум полям).

| Вариант опыта | Внесение с удобрением, кг K ₂ O/га | | Общий вынос урожая, кг K ₂ O/га | Использование из удобрения, кг K ₂ O/га | Среднегодовая продуктивность, ц/га з.е. | Прибавка от калия, ц/га з.е. | Окупаемость 1 кг K ₂ O удобрения, ц/га з.е. |
|---|---|---------------|--|--|---|------------------------------|--|
| | всего | среднегодовое | | | | | |
| Контроль, без удобрений | – | – | 1040 | – | 28.7 | – | – |
| | | | | Фон – P ₈₀ | | | |
| P ₈₀ | – | – | 1290 | – | 35.6 | – | – |
| P ₈₀ K ₆₀ | 780 | 35.5 | 1440 | 150 | 35.9 | 0.3 | 0.8 |
| P ₈₀ K ₁₂₀ | 1560 | 71 | 1721 | 431 | 36.9 | 1.3 | 1.8 |
| | | | | Фон – N ₆₀ P ₈₀ | | | |
| N ₆₀ P ₈₀ | – | – | 1404 | – | 40.5 | – | – |
| N ₆₀ P ₈₀ K ₆₀ | 780 | 35.5 | 1721 | 317 | 42.7 | 2.2 | 6.2 |
| N ₆₀ P ₈₀ K ₁₂₀ | 1560 | 71 | 2036 | 632 | 43.4 | 2.9 | 4.1 |
| | | | | Фон – N ₁₂₀ P ₈₀ | | | |
| N ₁₂₀ P ₈₀ | – | – | 1478 | – | 41.6 | – | – |
| N ₁₂₀ P ₈₀ K ₆₀ | 780 | 35.5 | 1883 | 405 | 44.0 | 2.4 | 6.8 |
| N ₁₂₀ P ₈₀ K ₁₂₀ | 1560 | 71 | 2104 | 626 | 44.6 | 3.0 | 4.2 |

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что плодородие серых лесных почв способно обеспечить формирование среднегодовой продуктивности культур 9-польного севооборота с двумя полями клевера в пределах не более 29 ц/га в пересчете на з. е. Основная причина низкого уровня плодородия почв – низкая обеспеченность их подвижными фосфатами и усвояемым N, доступность которых для посевов часто ограничивается из-за дефицита влаги и тепла. В этих условиях для оптимизации потребления макроэлементов и интенсификации продукционного процесса растений определяющее значение имеют азотные и фосфорные удобрения, применение которых в сочетании с умеренными дозами калия (35 кг K₂O/га) обеспечивает повышение среднегодовой продуктивности культур 9-польного севооборота до 45–47 ц з.е./га (табл. 6). При этом среднегодовой прирост продуктивности культур севооборота благодаря внесению калийного удобрения не превышал 3 ц з.е./га. Такое количество калийного удобрения способно поддерживать стационарное состояние калийного режима почвы в течение длительного времени (Карпинец, 2000). Согласно полученным нами данным (Никитишен, 2003), для серых лесных почв ополья Центральной России оно характеризуется величинами содержания обменного калия в пахотном слое почвы в пределах 10–13 мг/100 г, необменного калия по Пчелкину – 38–41 мг/100 г, фиксированного калия – 180–184 мг/100 г.

Никитишен Владимир Иванович - профессор, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, лауреат премии им. Д.Н. Прянишникова, заслуженный деятель науки РФ.

Личко Валентина Ивановна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН.

Литература

- Алифанов В.М. Палеокриогенез и современное почвообразование. Пути, 1995. 320 с.
- Гордецкая С.П. Влияние растений и удобрений на азотный и калийный режимы почвы // Почвоведение. 1976. № 12. С. 60–72.
- Иванова Т.И. Влияние погоды и удобрений на физические свойства зерна колосовых культур в условиях нечерноземной зоны // Агрохимия. 1982. № 4. С. 26–35.
- Карпинец Т.В. Моделирование режима калия в системе почва–растение: Автореф. дис. д-ра с.-х. наук. М., 2000. 37 с.
- Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999. 332 с.
- Никитина Л.В. Оценка калийного режима разных типов почв и эффективность калийных удобрений в длительных опытах: Автореф. дис. ...канд. с.-х. наук. М., 1994. 22 с.
- Никитишен В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. М.: Наука, 1984. 214 с.
- Никитишен В.И. Плодородие почвы и устойчивость функционирования агроэкосистемы. М.: Наука, 2002. 258 с.
- Никитишен В.И. Эколого-агрохимические основы сбалансированного применения удобрений в адаптивном земледелии М.: Наука, 2003. 183 с.
- Никитишен В.И., Курганова Е.В. Плодородие и удобрение серых лесных почв ополей Центральной России. М.: Наука, 2007. 367 с.
- Никитишен В.И., Личко В.И. Эффективность калийного удобрения в зависимости от количества осадков в репродуктивный период зерновых культур // Агрохимия. 2002. № 7. С. 40–46.
- Окорков В.В. Удобрения, плодородие и урожай на серых лесных почвах Владимирского ополья. Суздаль, 2001. 337 с.
- Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 184 с.
- Яговенко Л.Л. Оптимизация систем удобрения в севообороте и агрохимические пути повышения плодородия серых лесных почв: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Брянск, 1995. 63 с.