

УДК 631.416.4

Место и значение калия в агроэкосистеме

В. В. Прокошев

ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ ПРОКОШЕВ — доктор биологических наук, заведующий лабораторией калия Люберецкого Опытного Поля. Область научных интересов: агрохимия, в том числе калийных удобрений.

140011 г. Люберцы, Московской области, м-рн Опытное Поле, д. 8, тел. 559-47-00, факс 559-47-12, E-mail vprokoshev@comail.ru

Биологическое значение калия

Калий один из восьми основных химических элементов, его содержание в земной коре 2,41% по массе. Наряду с азотом и фосфором он является важнейшим элементом, влияющим на развитие живой природы, в особенности ее автотрофной составляющей. Если содержание калия в организме человека составляет 2—3, а у животных 1,5—2 г/кг, то в растениях его в 3—4 раза больше.

Влияние калия на биологические объекты достаточно хорошо изучено. Благодаря участию в функционировании более 60 ферментных систем, калий способствует усвоению минеральных компонентов растениями, превращению их в процессе фотосинтеза в органические вещества и транспорту синтезированных продуктов по тканям растительного организма. Не случайно академик А.Е. Ферсман называл калий основой жизни.

Под влиянием калия регулируется одно из важнейших условий жизнедеятельности растений — транспирационный или водный режим. Только при достаточном содержании калия в тканях обеспечивается оптимальное функционирование устьиц, контролирующей водоудерживающую способность листьев. В результате стабилизируется тургор клеточных тканей, поддерживается засухо-, холодо- и морозоустойчивость растений.

В растительных структурах калий в основном находится в виде ионов. Поэтому, например, после теплового продолжительного летнего, особенно ночного, дождя значительные количества калия вымываются в почву. Одна из возможных причин ночных потерь калия — снижение ночью активности процессов синтеза органических веществ, в которых он принимает активное участие. Правда, при благоприятных условиях калий вновь быстро поступает в растение. Благодаря своей высокой подвижности калий при необходимости перераспределяется в растении, обеспечивая функционирование вновь нарастающих стеблей, листьев и генеративных органов за счет отживающих частей. Деградация растений, как правило, побурение нижних листьев — верный признак недостатка калия.

Без калия в растительных структурах нарушается ионный баланс, ослабляются электропотенциалы клеточных мембран, дезорганизуется транспорт воды, ионов и многочисленных метаболитов. Так, в опыте с ячменем, через 8 дней после прекращения питания растений калием, его содержание в надземной массе уменьшилось на 10%, но при этом содержание Ca^{2+}

увеличилось в 2,5 раза, Mg^{2+} уменьшилось в 2,6 раза, а Na^+ возросло почти в 10 раз.

Оптимизация уровня калийного питания растений — один из немногих путей сдерживания отрицательного воздействия на растения возрастающих количеств в атмосфере CO_2 и CH_4 и повышения температуры в прикорневой зоне, т.е. процесса угрожающего влияния «парникового эффекта». Под действием калия ускоряются процессы ассимиляции газов из воздуха и трансформации их в сложные углеводы и белки. В растительных структурах сокращается количество простых углеводов и аминокислот, которые являются одной из причин развития патогенной микрофлоры. Показательны в этом плане опыты с люцерной, когда с увеличением содержания К (%) в сухой массе в ряду — 1,28; 1,98; 3,89 ассимиляция CO_2 растениями возрастала и составляла соответственно — 11,9; 21,7; 34,0 мг/дм³·ч.

Многочисленные факты изменения химического состава растений при нарушении уровня калийного питания остаются не до конца ясными. Установлено, например, что под влиянием калия заметно увеличивается поступление в листья картофеля меди, но резко уменьшается потребление цинка и марганца.

Заниженный уровень калийного питания растений в целом порой необратимо нарушает их компонентный химический состав, что неминуемо отрицательно сказывается на количественных и качественных параметрах урожая. Значительно менее негативно воздействие завышенных доз калия, влияние которых ослабляется за счет миграционных и адсорбционных процессов в почве, однако и в этом случае нельзя исключить нарушения соотношения элементов и ухудшения качества получаемой товарной продукции.

Калий усиливает синтез в растении целлюлозы и пектиновых веществ, значительно повышающих прочность стенок соломы, стеблей, ботвы, что особенно важно для обеспечения высоких урожаев.

В последние годы в связи с развитием потребительского рынка особое внимание уделяется товарным качествам сельскохозяйственной, особенно овощной и плодовой продукции. Специальными исследованиями практически во всех случаях доказано положительное влияние калия на товарный вид продукции. В результате овощи и фрукты по внешнему виду соответствуют своим сортовым признакам.

В зависимости от вида сельскохозяйственной культуры потребление калия существенно меняется (табл. 1) [1]. Потребление калия значительно возрастает с увеличением урожая в связи с ростом и развитием

Таблица 1

Примерный вынос калия разными культурами

Культура	Урожайность основной продукции, т/га	Вынос с урожаем K_2O , кг/га	Соотношение N : P_2O_5 : K_2O
Зерновые (злаки)	2,5—3,5	60—90	1 : 0,4 : 0,8
Картофель	20—30	150—300	1 : 0,3 : 1,4
Сахарная свекла	40—50	250—400	1 : 0,3 : 1,5
Кукуруза (зеленая масса)	50—70	180—250	1 : 0,3 : 1,2
Капуста	50—70	220—320	1 : 0,4 : 1,4
Земляника	10—12	150—190	1 : 0,4 : 1,7
Яблоня	50—60	60—75	н/д
Крыжовник	15—20	100—125	н/д

Таблица 2

Среднее содержание минеральных веществ в овощах, мг/кг

Культуры	K	Ca	Mg	P	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	J
Капуста	1850	480	160	310	130	3,7	0,87	0,41	1,29	0,08
Свекла	2880	370	430	430	860	17,1	9,29	1,20	3,93	н/д
Сельдерей (корень)	3930	630	330	270	770	17,9	4,72	1,16	11,5	н/д

вегетативной массы — ботвы, соломы, стеблей и листьев. Так при высоких урожаях сахарной свеклы, капусты по 60—80 т/га использование калия в период максимального развития зеленой массы достигает 600—900 кг/га.

При необычайном разнообразии химического состава различных, особенно овощных, культур ведущее место остается за калием. Элементный состав продуктов, меняющийся за калием. Элементный состав различных культур весьма существенно, нельзя недооценивать при составлении рационов диетического и лечебного питания.

В последние годы все больше внимания уделяется выращиванию декоративных культур. Большинство из них предъявляют высокие требования к азотному питанию. Однако среди необычайно широкого спектра этих культур имеются виды, успешно вырастить которые при низком обеспечении калием не удается. Растения не только слабо развиваются, но и меняют оттенки своих цветов. Из них наибольшей потребностью в калии отличаются дельфиниумы, гладиолусы и нарциссы. При этом с возрастом потребность многолетних цветочных растений в калии резко возрастает.

Не менее важна роль калия в организме человека и животных. На 1 кг массы человека приходится около 2 г калия. Функционирование всех его мягких тканей невозможно без калия. Основным показателем достаточности калия в организме служит концентрация его в сыворотке крови (около 5 ммоль/л). Нормализация ритмов сердечной мышцы и оптимизация кровяного давления, равновесие кислотно-щелочного баланса и регулирование активности ферментов, связанных с превращением белков и углеводов — далеко не полный перечень элементной функции калия в организме человека.

Главным источником калия для человека является растительная продукция и прежде всего сырые овощи и фрукты (табл. 3). Ежедневное потребление калия взрослым человеком должно быть не меньше 2 г, а при гипертонии — 3,5 г.

Таблица 3

Среднее содержание калия в сырых овощах и плодах, мг $K_2O/100g$

Овощи	K_2O	Плоды, ягоды	K_2O
Шпинат	780	Крыжовник	450
Петрушка (зелень)	340	Смородина черная	420
Томаты грунтовые	290	Абрикос	370
Морковь	200	Яблоки	340
Капуста белокочанная	185	Виноград	310
Огурцы грунтовые	140	Земляника	230

Не меньшее значение калий имеет и для животных. В их рационе должно быть не менее 5—7 г калия, а у крупного рогатого скота для обеспечения его продуктивности 10 г на кг сухого корма. При этом, как показали специальные разработки для КРС, важно выдерживать в рационе определенное соотношение K, Na, Ca и Mg, находящихся в организме в основном в виде хлоридов. Необходимое содержание NaCl в основном поддерживается за счет поваренной соли лизунца, остальные катионы поступают с кормами. Оптимальное соотношение K : Na, как правило, 3 : 1. Пределы зоотехнической нормы соотношения (Na + K) : (Ca + Mg) — 1,13—2,15. Даже незначительные колебания в соотношении катионов негативно сказываются на продуктивности животных, возникает опасность заболевания тетанией.

Калий в почве

Несмотря на то, что калий является одним из основных биогенных элементов, его биогеохимические параметры изучены недостаточно. Вместе с барием, рубидием, литием, калий отнесен геохимической классификацией по особенностям миграции в ландшафтах к активным, но слабоподвижным элементам с постоянной валентностью.

При огромном ландшафтном разнообразии в пределах России не существует общей картины по коэффициентам биологического поглощения калия, размерам его водной миграции и другим параметрам. Для характеристики подвижности калия в природе интересно сопоставление его с натрием — химически близким элементом. При равном содержании в земной коре (около 2,5%), в осадочных породах их отношение равно 3,5, в кислых изверженных — 1,2, в речных водах — 0,37, а морских — 0,04. За счет меньшей энергии гидратации и соответственно меньшего ионного радиуса калий из водных растворов активно фиксируется кристаллическими решетками глинистых минералов почвы и различных пород. В результате вымывание его в различные водоёмы, а затем в моря очень мало. Между тем специальными исследованиями в Подмосковье показано, что значительные потери калия из почвы (до 17 кг/га K_2O) происходят в результате эрозии почвы, особенно в ходе весеннего смыва верхнего горизонта [2]. В эрозионно опасных регионах смыв почвы, а вместе с ней и калия достигает угрожающих величин. Миграция калия возрастает также за счет неумеренного применения удобрений на легких песчаных почвах.

К сожалению, имеются лишь отрывочные данные по размерам участия калия в общем биологическом круговороте. Для сельскохозяйственных ландшафтов такие ориентировочные расчеты проводятся. Согласно им в результате отрицательного баланса калия из почвы России с урожаем ежегодно безвозвратно отчуждается не менее 1,5 млн. т K_2O (в среднем 15 кг/га). Данных же по общему потреблению калия в целом растительной массой нет, поэтому не представляется возможным судить о масштабах общего биологического круговорота калия.

В природе почва — основной источник калия для растений. С осадками выпадает от 1 до 10 кг K_2O на га в год в зависимости от их количества и местоположения региона. Сильно влияют на содержание калия в дождевой воде пыльные бури. Потери калия из пахотного горизонта наблюдаются в зонах с промывным режимом и, как правило, они не велики. На суглини-

стых почвах они составляют 0,2—5, на песчаных и супесчаных 3—20 кг/га в год. При этом бесследно теряется очень небольшая часть калия, в основном калий фиксируется глинистыми минералами в корнеобитаемом слое почвы глубиной 60—90 см.

Для характеристики плодородия почвы обычно выделяют 4 состояния калия.

Калий минерального скелета определяет валовые запасы калия почвы, представлен почвообразующими первичными и вторичными минералами; в основном для растений недоступен. Аналитически определяется методом спекания.

Калий необменный находится в структуре слюдоподобных минералов и органоминеральных смектитовых комплексов, участвует в формировании в почве равновесной системы; частично доступен растениям, извлекается концентрированными растворами сильных кислот.

Калий обменный расположен на поверхности органоминеральных коллоидов и на специфических позициях вторичных минералов, в основном способствует достижению динамического равновесия за счет процессов сорбции и десорбции калия, взаимодействия с необменным калием; практически доступен для растений, извлекается растворами солей.

Калий почвенного раствора находится в ионной форме, в наибольшей степени подвержен внешнему воздействию, тесно связан со всем калийным комплексом почвы и как «зеркало» отражает его состояние; непосредственный источник питания растений, определяется в водной вытяжке или в очень слабых солевых растворах.

Количественно размер валовых запасов калия (табл. 4) измеряется десятками тонн на га пашни только в пахотном слое, а легкодоступный растениям водорастворимый калий — десятками килограммов.

Формы калия неразрывно связаны между собой, они постоянно и с различной скоростью трансформируются, стремясь к равновесию, типичному для конкретной почвы. Пути трансформации форм калия в почве представлены на рис. 1.

Одним из важнейших показателей свойств почвы является ее способность удерживать катионы в обменной форме — емкость катионного обмена (ЕКО). Величина ЕКО измеряется в мг-экв на 100 г почвы и меняется в очень широких пределах от 2—3 для песчаных минеральных почв до 40—50 мг-экв/100 г для тяжелосуглинистых черноземов. Величина ЕКО зависит не только от гранулометрического, но и от минералогического состава почвы. Увеличение в почве доли минералов типа вермикулита и монтмориллонии-

Таблица 4

Интервалы содержания форм калия (K_2O , кг/га) в пахотном слое различных почв

Почвы	Валовой	Необменный	Обменный	Водорастворимый
Дерново-подзолистые:				
супесчаные	20000—50000	1000—1500	100—300	15—20
суглинистые	45000—75000	1500—5000	200—800	10—30
Черноземы	60000—80000	6000—23000	400—1300	25—35
Торфяные	500—3000	100—200	30—50	3—8

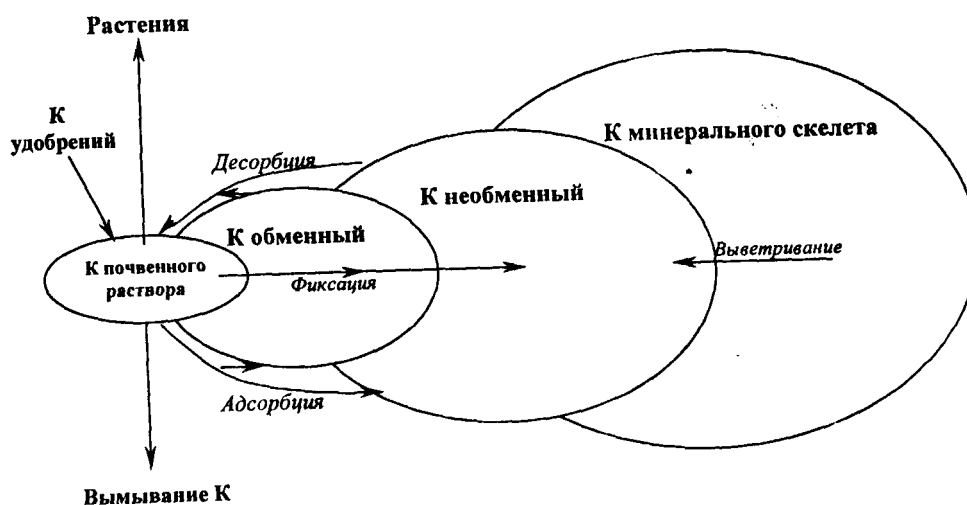


Рис. 1. Трансформация калия в почве

та, имеющих ЕКО от 80 до 150 мг-экв ведет к повышению, а минералов типа каолинита и иллита с ЕКО 5–40 мг-экв — к снижению ЕКО почвы в целом. ЕКО резко возрастает при увеличении в почве количества гумусовых веществ и органоминеральных структур с высокой емкостью поглощения. На основании многочисленных исследований была даже разработана модель почвы с «идеальным» соотношением поглощенных обменных катионов (%): Ca^{2+} — 65, Mg^{2+} — 10, K^+ — 5 и H^+ — 20. А позднее предложена простая формула расчета оптимального содержания доступного калия в почве (мг/кг):

$$\text{опт. К обм.} = 110 + 2,5 \text{ ЕКО}$$

Отечественными исследователями был также предложен расчет оптимального содержания доступного (обменного) калия с учетом ЕКО (табл. 5).

Таблица 5

Оптимальные показатели содержания обменного калия и ЕКО для почв различного гранулометрического состава

Вид почвы	мг $K_2O/100$ г почвы	% от ЕКО
Песчаные	14–16	5,0–10,0
Супесчаные	16–19	3,0–5,0
Суглинистые	19–22	1,8–3,0
Тяжелосуглинистые и глинистые	22–25	1,2–1,8

Калийные удобрения и их значение

Практикой земледелия передовых стран показано, что рост урожая неразрывно связан с уровнем использования минеральных и в том числе калийных удобрений. Это наглядно видно на примере европейских стран (рис. 2).

В настоящее время ориентировочный вынос калия в мировом сельскохозяйственном производстве составляет более 30 млн. т K_2O . Общие объемы применения калийных удобрений по годам подвержены влиянию рыночной конъюнктуры. В прошедшее десяти-

летие они постоянно возрастали, меняясь в пределах 20–24 млн. т. При этом важно учитывать, что постоянный рост применения удобрений происходит на фоне непрерывного сокращения площади пашни в целом и на душу населения в особенности, т.е. сопровождается увеличением доз калия на единицу площади. Следует отметить, что рост потребления калия в основном происходит за счет интенсификации сельскохозяйственного производства в странах Азии и Бразилии. Например, Китай в настоящее время импортирует более 3 млн. т калия, для сравнения в России используется калийных удобрений почти в 14 раз (!) меньше.

Основные страны-производители калия: Канада, Германия, Израиль постоянно наращивают мощности по выпуску удобрений. Начинают функционировать заводские установки в Китае и Бразилии (табл. 6). В скором времени ожидается пуск предприятий на вновь осваиваемых месторождениях в Китае, Аргентине, Таиланде [3].

Таблица 6

Производство калийных удобрений (тыс. т K_2O) в 2000 г.

Страна	Объемы	Страна	Объемы
Канада	9174	Великобритания	601
Россия	3600	Испания	522
Беларусь	3400	Бразилия	340
Германия	3409	Франция	321
Израиль	1748	Чили	330
Иордания	1162	Китай	290
США	821		

В России уже более 70 лет эксплуатируется крупнейшее в мире Верхнекамское месторождение калийных солей — сильвинита ($nKCl + nNaCl$) и карналлита ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$). На основании общепринятой концепции эти залежи солей образовались более 200 млн. лет назад в результате осаждения, кристаллизации и испарения воды в локализованных морских лагунах. Месторождение имеет протяженность до

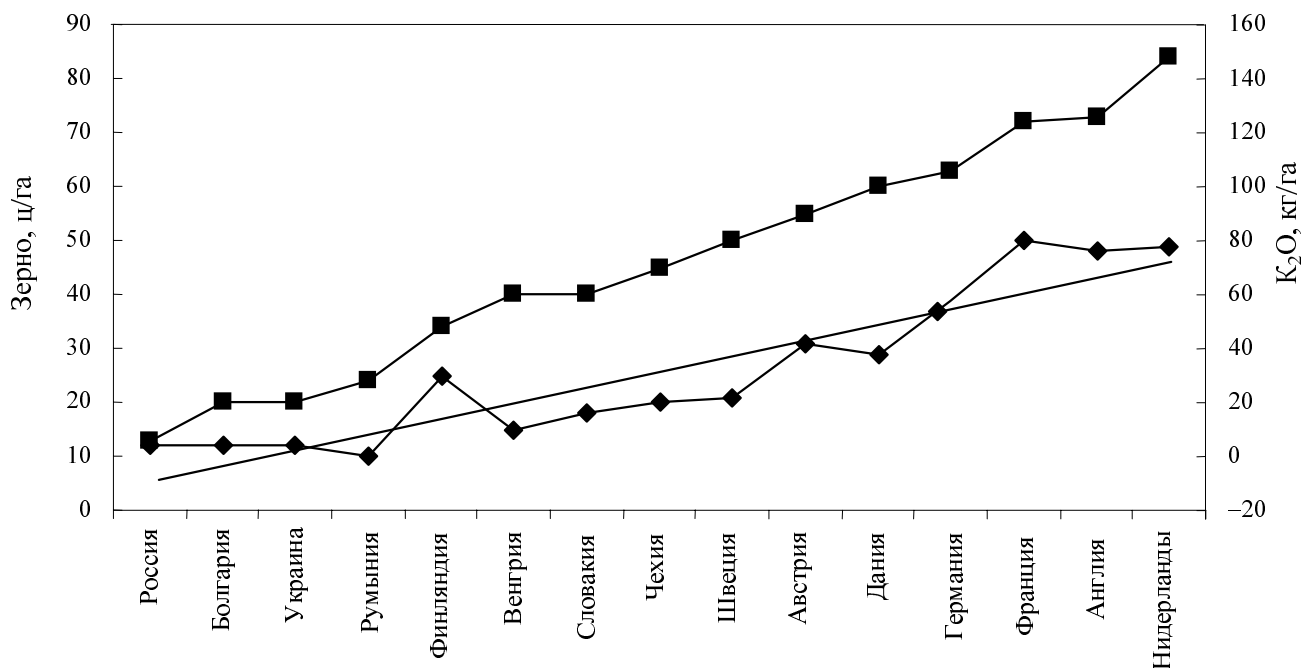


Рис. 2. Урожай зерна и применение К-удобрений в Европейских странах (в ср. за 12 лет)

■ — урожай зерна, ц/га; ◆ — К, кг/га

140 км, шириной до 40 км, общей площадью 3,75 тыс. км². Продуктивная толща представлена 15 пластами сильвинитового, карналитового и смешанного состава. Сильвинитовые отложения мощностью 15–20 м залегают на глубине 200–400 м. Руда имеет чрезвычайно сложный химический состав, практически в ней представлена вся система элементов Менделеева. Содержание КСl в пластах меняется от 5,8 до 80%. Большая часть элементов, но уже в значительно меньшем количестве сохраняется и в конечных продуктах. Это видно из состава элементов стандартного удобрения — гранулированного хлористого калия (табл. 7). Содержание тяжелых металлов в калийных удобрениях, как видно из таблицы, очень низкое, во всяком случае, на несколько порядков ниже официальных ПДК. На двух предприятиях, разрабатывающих Верхнекамское месторождение — ОАО «Сильвинит» (г. Соликамск) и ОАО «Уралкалий» (г. Березники) производится широкий ассортимент различных видов хлористого калия и осваивается также выпуск других форм калийсодержащих удобрений, включая бесхлорные, магнийсодержащие и комплексные (НРК) туки. Общая мощность семи Уральских рудоправлений по производству хлористого калия на обоих предприятиях составляет более 7 млн. т. В настоящее время объемы выпуска удобрений составляют ежегодно около 5 млн. т К₂O.

Здесь уместно отметить, что в связи с огромным объемом производства удобрений Уральским предприятиям необходимо решать и дорогостоящие экологические проблемы. За 70 лет эксплуатации месторождения их накопилось немало и постоянно появляются новые. К сожалению, многое не было предусмотрено с начала разработок залежей солей, например, закладка отработанной породы в выработанные пространства рудников, обустройство отвалов и шламохранилищ.

Таблица 7

Химический состав стандартного удобрения — гранулированного хлористого калия (К₂O 60%)

Содержание, масс. %	Элемент
10 ⁻¹	Na
10 ⁻¹ –10 ⁻²	S, Ca
10 ⁻² –10 ⁻³	Mg, Fe
10 ⁻³ –10 ⁻⁴	Al, Rb
10 ⁻⁴ –10 ⁻⁵	B, V, Mn, Cu, Zn, Se, Cr, Sr
10 ⁻⁵ –10 ⁻⁶	Li, Ti, Co, Ni, As, Te, Ba, Ce, Pb
10 ⁻⁶ –10 ⁻⁷	Be, Sc, Ga, Y, Zr, Nb, Mo, Rh, Pd, Ag, Cd, Sn, Sb, La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Yb, Hf, Ta, W, Re, Hg, Tl, Th
10 ⁻⁷ –10 ⁻⁸	Cs, Tb, Er, Tm, Ir, Ru, Au, Bi, U
10 ⁻⁸ –10 ⁻⁹	Lu

Предыдущее поколение производителей калия трудилось в эпоху менее жестких требований по экологии. Сейчас только ОАО «Сильвинит» ежегодно финансирует работы по охране окружающей среды в размере около 7 млн. долларов и эти расходы ежегодно возрастают.

Из других удобрений освоено производство незначительного количества сульфата калия в качестве побочного продукта при переработке нефелинов, алуinitов и других горных пород при производстве глинозема — сырья для алюминиевой и цементной промышленности на заводах в городах Ачинск (Красноярский край), Пикалево, Волхов (Ленинградская обл.).

В РФ открыты достаточно перспективные месторождения калийсодержащих солей и руд. Это крупное Непское в Иркутской области, представленное в основном хлоридами калия. Разведаны месторождения

полиминеральных солей в Волгоградской и Оренбургской областях. Перспективны запасы бесхлорного сырья калиевых алюмосиликатов — *сынныритов*, расположенных в Северном Прибайкалье и Читинской области. Однако, как правило, они расположены в труднодоступных районах и освоение их связано с созданием предприятий по комплексной переработке руд и соответствующей инфраструктуры, что требует значительных инвестиционных затрат.

К сожалению, отечественный ассортимент крупнотоннажных партий калийных удобрений представлен главным образом хлористым калием и незначительным количеством сульфата калия. Последний в основном используется для получения комплексных удобрений, применяемых в закрытом грунте. В очень небольшом количестве используются калийно-магниевого удобрения в виде калимагнезии. Большой спрос тепличных хозяйств на нитрат калия практически полностью удовлетворяется за счет импорта.

Наблюдаемый в настоящее время бум мелкотоварного производства широкого спектра удобрений в мелкой фасовке для индивидуальных пользователей должен стимулировать и крупных производителей на расширение ассортимента выпускаемых форм калий-содержащих удобрений.

Оптимизировать баланс калия в условиях сельскохозяйственного производства, как показывает весь мировой опыт, можно только с помощью минеральных калийных удобрений. Слишком велик уровень потребления калия урожаем, особенно высоким, чтобы компенсировать потери за счет полумера. Источники же плодородия почвы неминуемо ведет к ее деградации. В свое время родилась неплохая идея решить проблему питания растений калием за счет высвобождения его из труднодоступных форм минеральных компонентов почвы с помощью особых силикатных бактерий. Однако как оказалось им «не под силу» было обеспечить питание растения на протяжении всего вегетационного периода, который, как правило, не отличается стабильностью. Пониженные температуры и засухи заметно тормозят биологическую активность бактерий в почве.

Пропагандируемое, особенно в Западной Европе, «органическое земледелие» без минеральных удобрений имеет ограниченное распространение (около 0,5% пашни) из-за дороговизны. Современное товарное производство основных культур — зерновых, сахарной свеклы, силосных (кормовых), плодовых без комплексных минеральных удобрений невозможно.

В России в системах зональных и отраслевых институтов, их опытных станций, в региональных центрах агрохимической службы проведены десятки тысяч полевых опытов по изучению эффективности минеральных и в том числе калийных удобрений на всех возделываемых культурах. Установлена достаточно четкая зависимость действия удобрений от биологических особенностей культур и зональной специфики. В результате отработаны положения, учет которых в практических условиях необходим для получения положительных результатов. Научно обоснованное применение калийных удобрений предполагает:

— заданное обеспечение растений калием в течение всего периода роста и развития, способствующее получению необходимого уровня урожая, с экологиче-

ски чистой продукцией, соответствующей сортовым признакам;

— создание достаточного уровня калия в почве, повышающего эффективность использования всех других сельскохозяйственных приемов, включая агротехнику, средства химизации, а также мелиорацию и ирригацию.

Было неоднократно показано, что грамотное использование калийных удобрений повышает рентабельность сельскохозяйственного производства в целом.

К сожалению, в отечественном сельском хозяйстве уровень применения калия в течение последних 15 лет остается очень низким (в среднем 1—2 кг/га). Одна из главных причин этого состоит в том, что в результате низкой культуры земледелия экономический эффект от внесения калийных удобрений крайне мал и при существующих казально низких закупочных ценах на продукцию и архаичной системе кредитования сельхозпроизводителя применение их не окупается для большинства культур.

Исходя из данных отечественной и зарубежной науки, можно выделить и сгруппировать основные факторы, без учета которых применение калийных удобрений вообще, и расчет их доз в частности, проводить бессмысленно. Главные из них:

— требования сельскохозяйственных культур к уровню калийного питания и их способность усваивать почвенный калий; величина заданной продуктивности культур севооборота и обеспеченность его звеньев элементами питания;

— тип и вид почвы, ее физические, агрохимические и биологические свойства; место поля в ландшафте; содержание усвояемых для растений форм калия в почве и способность почвы поддерживать необходимое равновесие калия в системе «почва—почвенный раствор—растение»;

— климатические и погодные условия;

— уровень кислотности почвы и срок известкования;

— обеспеченность звеньев севооборота органическими удобрениями;

— предъявляемые требования к качеству и сохранности продукции;

— экономические и экологические ограничения и предпочтения.

Было бы наивным утверждать, что кто-то из практиков использует весь рекомендуемый перечень факторов для успешного применения калийных удобрений. В основном все руководствуются результатами своего опыта за предыдущие годы, который также был далек от детальных расчетов. И когда говорят: «Мы калий вносим, а он у нас действует плохо», — то ясно, что в данном случае использование изложенного выше блока общеизвестных требований игнорировалось. Средства же, потраченные на закупку, транспортировку, хранение и внесение удобрений были выброшены «на ветер».

Достаточно четко проявляется зависимость эффективности калийных удобрений от зональных особенностей. Как правило, на черноземных и каштановых почвах, особенно в засушливых условиях, действие

Таблица 8

Прирост урожая на 1 кг K₂O на основных культурах Центральной зоны

Культуры	Прирост в кг/1кг K ₂ O	Культуры	Прирост в кг/1кг K ₂ O
Зерновые, зерно	2—3	Капуста	80—100
Картофель, клубни	20—30	Свекла	60—80
Сахарная свекла, сахар	4—6	Морковь	40—60
Лен, волокно	0,5—0,7	Силосные, масса	30—50

Таблица 9

Влияние N, P и K на качество клубней картофеля

Показатель	N	P	K
Доля товарных клубней	+/-	+/-	+
Устойчивость к механическому повреждению	+/-	+	+
Внутреннее потемнение	-	н/д	+
Содержание сухого вещества	-	+/-	-
Содержание крахмала	-	+	+/-
Содержание белка	+	н/д	+/-
Содержание витамина С	н/д	+	+
Потемнение после кулинарной обработки	-	+/-	+
Цвет чипсов	-	н/д	+
Потери при хранении	-	н/д	+

Эффект: + — положительный, - — отрицательный, +/- — разный; н/д — нет данных

калия не высокое и рентабельность его использования низкая. Однако, как показывают результаты опытов в последние годы, в результате длительного систематического не компенсированного потребления калия из почвы появляются регионы, где без внесения калийных удобрений уже нельзя рассчитывать на получение высокого, а главное устойчивого урожая. Это центральные черноземные области, западное Ставрополье, северные и центральные районы Башкирии, многие районы Западной Сибири и другие.

Для центральных областей поддержание оптимального уровня калия в почве — обязательная составляющая агротехники для всех сельскохозяйственных культур. Средние размеры окупаемости калийных удобрений в этой зоне (табл. 8) меняются в широких пределах в зависимости от биологических особенностей культур, почвенных и других факторов.

При этом следует учитывать важнейшую особенность действия калийных удобрений — их влияние на повышение устойчивости сельхозкультур к неблагоприятным погодным условиям: низким и высоким температурам, пониженным и повышенным условиям влажности почвы. Влияние калия на водоудерживающую способность клеток и тканей, а также на накопление в них сахаров, играет в экстремальных погодных условиях исключительно важную роль в жизнеобеспеченности растений. Желтые пятна весной на массивах озимой пшеницы, связанные с недостатком калия в почве, все чаще появляются не только на «бедных» дерново-подзолистых почвах, но и на черноземах.

В опытах в Подмоскowie после жестких условий перезимовки на участках без внесения калийных удобрений сохранилось лишь 20%, а с внесением — 80% растений озимой пшеницы.

Надежным показателем устойчивости соломы к полеганию и соответственно сохранению урожая служит содержание калия в зерновых в фазе выхода в трубку — 3—4%, что гарантирует повреждение не более 15% стеблестоя.

Имеются также многочисленные данные положительного действия калия на хлебопекарные качества зерна. Получение зерна ячменя, отвечающего требованиям пивоварения, возможно только при достаточном калийном питании, за счет повышения содержания крахмала и выровненного размера зерна, обеспечивающего равномерное его прорастание.

Для важнейшей технической культуры сахарной свеклы оптимальное калийное питание обеспечивает не только повышение урожая корней и их сахаристости, но и увеличение выхода сахара при переработке, за счет сдерживания влияния повышенного содержания так называемого «вредного» азота.

Следует особенно остановиться на роли калийных удобрений при возделывании наиболее калиелюбивой культуры — картофеля. Положительное влияние калия на его товарные качества видны из сравнения действия всех трех основных питательных веществ (табл. 9).

Поддержание высокого уровня калия в почве (грунте) в период всей вегетации — важнейшее условие получения устойчивого, здорового и качественного урожая также всех овощных культур. Установлено повышение под действием калия содержания аскорбиновой кислоты у капусты и томатов, каротина у моркови, общей суммы сахаров у капусты, моркови, свеклы, томатов, огурца и лука. Важно отметить положительное действие калия на товарный вид, соответствующий сортовым особенностям, моркови, капусты, томатов, огурцов.

В последние годы в связи с сокращением количества применяемых в крупных хозяйствах удобрений потеряла злободневность проблема повышенного содержания в овощах нитратов. Однако она сохранилась на индивидуальных участках, где ради высокого урожая порой вносят очень высокие дозы азота. Наиболее радикальным способом сдерживание уровня нитратов в продуктивной части овощных культур, особенно зеленных, до экологически безопасного является применение повышенных доз калийных удобрений.

Сбалансированное содержание калия в питательной среде плодовых культур, также как и овощных, улучшает биохимические показатели продукции (кислотность, содержание витаминов и сахаров) и товарные качества урожая (окраска, величина плода, аромат). В опытах под Москвой средняя масса плода яблони (с. Антоновка) при внесении калия увеличивалась на 10 г. Доказуемо возрастал выход стандартных плодов яблони при сборе и хранении урожая. При недостаточном калийном питании страдают все плодовые культуры, но особенно с недостаточно развитой корневой системой. Ягоды земляники без калия обычно плохого качества, слабо окрашены, плохо хранятся. Ягоды крыжовника и смородины созревают неравномерно. Как правило, все плодовые, не обеспеченные калием, теряют устойчивость к заморозкам.

Недостаточно оценена специалистами сельского хозяйства роль калия в повышении устойчивости сельскохозяйственных культур к болезням и вредителям. Повышая урожай и улучшая его качество калийные удобрения одновременно заметно сдерживают масштабы поражения растений, тем самым сокращая необходимость в использовании химических средств защиты растений, как известно не всегда безобидных. При достаточном калийном питании утолщаются клеточные стенки, укрепляются защитные пленки на поверхности листа, в целом увеличивается прочность поверхностных тканей, что препятствует проникновению патогенных микроорганизмов, снижает поражение насекомыми. Особенно опасна разбалансированность питания растений. Одностороннее внесение азотных удобрений приводит к повышению содержания в растениях низкомолекулярных растворимых органических соединений в результате ослабления, из-за недостатка калия, процессов, связанных с синтезом белков и сложных органических соединений. В частности, ослабляется синтез фенольных соединений — основы многих защитных механизмов. Как неизбежное следствие создается благоприятная среда для развития облигатных паразитов и факультативных сапро-

трофов. На основании данных крупного обобщения Международного института калия (табл. 10) следует однозначный вывод о сдерживающем действии калия на поражение растений большинством групп паразитов. [4].

Калий и хлор

Более 90% производимых в мире калийных удобрений составляет хлористый калий. Это связано с химическим составом основных калийсодержащих месторождений и значительно более дешевым технологическим процессом получения удобрений. Несмотря на почти вековую историю успешного применения хлористого калия, тем не менее приходится сталкиваться с «пещерным» представлением о вредном действии хлора, особенно в рекламных целях. В английских текстах вместо «potassium chloride» часто используют менее «страшное» название удобрения «muriate potassium».

Между тем общеизвестно, что ни один человек не обходится без ежедневного потребления в пищу хлора в виде NaCl. Близкий аналог этой соли — KCl вводится внутривенно (!) при сердечных приступах. Но почему-то многие считают вредным внесение KCl в почву. Следует отметить, что заметно больше вносится хлора (30—50 кг/га) с навозом и ежегодно поступает с осадками (20—50 кг/га).

При концентрации 2—20 мг/кг сухого вещества хлор в растении незаменим для поступления и реутилизации катионов, поддержания водного режима, энергетических процессов, ограничения высокого содержания нитратов, повышения устойчивости к болезням. При капельной технологии выращивания растений в теплицах, особенно огурцов, на малообъемных заменителях грунтов, калий хлористый не используется, т.к. в больших дозах повышает концентрацию почвенного раствора, не являясь при этом «вредным» для питания человека элементом.

Земледельцу следует знать, что на «богатой» почве с оптимальным pH анионы — антагонисты: NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HPO_3^- , а также радикалы органических гуминовых кислот создают нейтральную среду почвенного раствора, в которой растения устойчивы к любой форме одностороннего удобрения. На истощенной минеральной почве растения более чувствительны к концентрации солей, поэтому калийные удобрения в этом случае следует вносить заблаговременно — осенью или раз в 2—3 года, контролируя состояние кислотности почвы.

Бытующее у экологов мнение, что хлор в составе

Таблица 10

Действие калийных удобрений на поражение растений болезнями и вредителями

Группа паразитов	Число случаев	Поражение, %		
		Снижалось	Не менялось	Повышалось
Грибы	1549	70	7	23
Бактерии	144	69	10	21
Вирусы	186	41	7	52
Насекомые и клещи	459	63	9	28
Нематоды	111	33	4	63
Всего	2449	65	7	28

Таблица 11

Влияние калийных удобрений на содержание ^{137}Cs (Бк/кг) в урожае сельхозкультур

Вариант, K_2O кг/га	Ячмень, зерно	Овес, зерно	Картофель, клубни	Кукуруза, зел. масса	Многолетние травы	
					1 укос	2 укос
0	18,5	32,9	52,9	90,6	118,4	162,8
К 120	17,4	21,5	22,2	72,2	50,0	62,9
К 240	13,7	14,8	11,1	29,6	42,9	48,1

вносимых калийных удобрений отрицательно влияет на состав грунтовых вод и опасен для здоровья человека, при нынешнем и даже будущем уровне химизации земледелия, вызывает недоумение. В 10 раз большее применение хлористого калия в Европе, Японии и др. не вызывает сомнений в его полезности, при более строгой системе контроля, чем у нас, и подтверждается статистикой средней продолжительности жизни населения этих стран.

Калий и радиоактивность

В природе калий находится в виде трех изотопов ^{39}K (93,1%), ^{41}K (6,9%) и слаборадиоактивный ^{40}K (0,012%). Из общего количества ^{40}K 88% приходится на «мягкое» излучение и только 12% на «жесткое» излучение. На общем фоне природных источников излучения ^{40}K составляет 12%, а космические лучи — 15,5%. Земная биосфера, включая человека, зародилась и развивалась в окружающей среде с определенным уровнем радиации, в том числе за счет ^{40}K и полностью к ней адаптировалась.

В естественных условиях удельная радиоактивность почвы составляет 300—400 беккерелей (Бк)/кг. Длительное применение калийных удобрений увеличивает эту величину в 1,5 раза. Для сравнения, человек имеет радиоактивность крови 4000 Бк, а при купании в морской воде он получает без всякого вреда 130000 Бк.

Важнейшая экологическая функция калия — антагонизм по отношению к радиоактивным ^{137}Cs и ^{90}Sr , была установлена давно, а после аварии на Чернобыльской АЭС полностью подтверждена научными исследованиями и практикой земледелия в России и Беларуси.

По данным полевых опытов в Новозыбковском районе Брянской области, наиболее пострадавшем при аварии, внесение калийных удобрений существенно сдерживало поступление радиоактивных изотопов в растение (табл. 11).

Практикой земледелия в зоне чернобыльской аварии, установлено, что дозы калийных удобрений в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения необходимо увеличивать в 1,8—3,0 раза. Антирадиационные параметры содержания обменного калия в почве определены в размере 250—350 мг K_2O на кг почвы. Со временем этот высокий уровень необходимо поддерживать, применяя дозы калийных удобрений не ниже 70—80% от хозяйственного выноса калия с урожаем.

Многолетний опыт мирового земледелия свидетельствует о том, что страны, решившие проблему аграрной независимости, развиваются успешно и в других направлениях. Залогом же этой независимости является высокая сельскохозяйственная культура, немыслимая в современных условиях без применения минеральных удобрений, включая калийные туки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. Практическое руководство. М.: Ледум, 2000, 185 с.
2. Кудеяров В.Н. и др. Экологические проблемы применения удобрений. Под ред. В.А. Ковды. М.: Наука, 1984, 211 с.
3. Головков Б.Ю., Ломакин А.Г., Рейбман Л.А. Калий в прошлом, настоящем и будущем. С-Пб.: ООО «П.Р.П.», 2001, 179 с.
4. Potash Facts. International Potash Institute. Basel, 1990, 123 p.