

ФОРМЫ КАЛИЯ В ПОЧВЕ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

© 2018 В.Н. Якименко

*Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: yakimenko@issa.nsc.ru**В статье показана необходимость разделения общего пула калия в почве на отдельные фракции; обосновываются подходы к выделению различных калийных форм и приводятся методы их определения; предложена расширенная классификация форм калия в почве на основе прочности связи его катионов с почвенными минералами.***Ключевые слова:** калий в почве, формы калия, методы экстракции, классификация форм калия в почве**Цитирование:** Якименко В.Н. Формы калия в почве и методы их определения // Почвы и окружающая среда. № 1(1). С. 25-31

Общее содержание калия в почвах почти целиком определяется количеством и качеством почвенных калийсодержащих минералов, основные из которых показаны в табл. 1, а также степенью их выветренности. Однако валовое содержание элемента не характеризует те его количества, которые могут активно участвовать в биохимических циклах в системе почва-растение. В проведенных ранее исследованиях было показано отсутствие корреляции между валовым калием и его фракциями, экстрагируемыми из почвы используемыми растворителями (Якименко, 2003; и др.), что связано, прежде всего, с неодинаковыми позициями, занимаемыми ионами калия в структуре различных минералов. Все калийсодержащие минералы могут, в той или иной степени, служить непосредственными источниками калийного питания растений. В опыте О.А. Репиной (1978) с использованием полевых шпатов (ортоклаза и микроклина) в качестве источника питания растений калием величина частиц (от < 0,001 до 0,01 мм) не влияла на урожай (травы), вынос и коэффициент использования (5-7%) калия. В других исследованиях (Важенин, Карасева, 1959а) из микроклина илистой фракции было вынесено кукурузой и овсом 28% общего калия, а из фракций песка и пыли 1-3%; плохо, независимо от степени измельчения, усваивался калий из полевых шпатов травами в вегетационных опытах А.В. Петербургского и А.В. Кузнецова (1972).

Таблица 1. Основные калийсодержащие минералы (Барбер, 1988)

Минерал	Формула	Содержание К, %
Полевые шпаты		
Микроклин	$K_2AlSi_3O_8$	13,8
Ортоклаз	$K_2AlSi_3O_8$	13,7
Слюды		
Мусковит	$K_2Al_2Si_6Al_4O_{20}(OH)_4$	9,8
Биотит	$K_2Al_2Si_6(Fe^{2+}, Mg)_6O_{20}(OH)_4$	8,7
Глины		
Иллит (гидрослюда)	$K_{0,6}Mg_{0,25}Al_{2,3}Si_{3,5}O_{10}(OH)_2$	~ 7

Во всех исследованиях доступность калия слюд и гидрослюд была значительно выше. Коэффициент использования калия из слюд доходил до 39,2% (Репина, 1978), причем слюды (мусковит, биотит, флогопит) хорошо обеспечивали растения калием при размере фракции от илистой до песчаной (Важенин, Карасева, 1959а; Петербургский, Кузнецов, 1972). Глинистые минералы (иллит, глауконит) могут в некоторых случаях вообще использоваться в качестве калийных удобрений (Грим, 1967).

В целом из частиц одинакового размера относительная скорость высвобождения калия возрастает в ряду: микроклин < ортоклаз < мусковит < биотит (MacLean, Brydon, 1963; Горбунов, 1978; Пчелкин, 1966; Барбер, 1988; Середина, 2012; и др.).

Размеры высвобождаемого калия зависят не только от общего количества конкретного минерала, но и от содержания в нем калия, связанного со степенью выветренности. Так, на конечных стадиях выветривания минералов практически нет различий в общем содержании калия в илистых и песчаных фракциях слюд и гидрослюд ([The role..., 1968](#)).

Таким образом, определенные количества разных минералов могут обеспечить одинаковое общее количество калия в субстрате, но условия калийного питания растений при этом будут совершенно различными. Доступность растениям калия определяется, прежде всего, прочностью его связи с минеральной основой почвы. Позиции, занимаемые ионами калия в почвенных носителях этого элемента, по возрастанию степени энергии связи можно классифицировать следующим образом:

а) калий, адсорбированный на минеральных и органоминеральных коллоидных частицах почвенного поглощающего комплекса (ППК). Обменные катионы удерживаются вокруг внешних краев кремнезем-глиноземных элементов структурных слоев глинистых минералов с различной энергией, которая зависит от положения адсорбированного катиона на поверхности минерала ([Грим, 1967](#)), концентрации ионов и др. По степени селективности к калию выделяют три типа обменных позиций ([Barber et al., 1963](#); [Becket, 1964](#); [Rich, Black, 1964](#), [Nemeth et al., 1970](#); и др.): р (planar, внешние поверхности кристаллитов), е (edge, боковые сколы и клинообразные (wedge-shaped) межпакетные промежутки), і (interlattice, краевые зоны расширенных межпакетных промежутков трехслойных минералов) позиции. Прежде всего растения используют экстрамицеллярно поглощенный калий с обменных позиций (planar) с меньшей энергией связи. Интрамицеллярно поглощенный калий занимает высокоселективные (edge и, особенно, interlattice) к нему позиции и в гораздо меньшей степени доступен растениям;

б) калий, необменно поглощенный (не экстрагируется раствором нейтральной соли) межслоевым пространством почвенных минералов с расширяющимся типом решетки монтмориллонитового типа. Поглощенные катионы, проникающие между силикатными слоями этих минералов, переходят в менее подвижную форму, по сравнению с обменной, при сжатии решетки ([Горбунов, 1978](#)). Данная реакция, как правило, обратима при гидратировании коллоидов катионы могут снова переходить в раствор;

в) калий, расположенный в межплоскостном пространстве глинистых минералов с ненабухающей решеткой (гидрослюды). Ионы калия уравнивают дефицит заряда, вызванный изоморфными замещениями внутри кристаллической решетки, и поэтому удерживаются электростатическими силами достаточно прочно ([Грим, 1967](#)). Удаление данного калия будет устранять силы, связывающие между собой силикатные слои, и вызовет деградацию гидрослюды в минерал монтмориллонитового типа;

г) калий, входящий в кристаллическую структуру минералов с листовой решеткой (слюды);

д) калий минералов с каркасным типом кристаллической решетки (полевые шпаты).

В силу того, что валовой калий является индифферентным показателем обеспеченности выращиваемых культур этим элементом, возникает необходимость разделения общего калийного запаса на ряд фракций, лучше характеризующих условия питания растений. В этом направлении предпринимались многочисленные попытки, причем в основу подразделения ставились весьма различные показатели.

Одна из первых классификаций форм валового калия принадлежит К.К. Гедройцу ([1935](#)) и выглядит следующим образом: 1) калий почвенного раствора; 2) калий почвенно-поглощающего комплекса: а) интенсивно обменивающийся; б) экстенсивно обменивающийся; 3) калий почвенного скелета. Этот принцип построения лег в основу многих последующих разработок.

Выделение форм калия по неким абстрактным признакам активный - неактивный, доступный - недоступный, извлекаемый - неусвояемый, растворимый - нерастворимый и т.п. не нашло широкого применения.

Вообще следует отметить, что определения калия “доступный”, “усвояемый”, “подвижный” весьма условны; при рассмотрении уровня калийного питания растений, может быть, и допустимо вольное их использование, но при изучении калийного режима почв они неприемлемы. Термины “усвояемый” и “доступный” калий имеют смысл только в связи с конкретной культурой в определенных условиях ее выращивания. Подвижность это свойство ионов калия переходить из одного состояния, более прочно связанного с минеральной основой почвы, в другое, с меньшей степенью связи; подвижность является качественным признаком, характеризующим все формы калия.

Наиболее удачные, на наш взгляд, классификации форм почвенного валового калия сделаны И.Г. Важениным и Г.И. Карасевой (1959а):

- 1) калий почвенного раствора;
- 2) калий почвенно-поглощающего комплекса:
 - а) интенсивно обменивающиеся ионы,
 - б) экстенсивно обменивающиеся ионы,
 - в) необменные ионы;
- 3) калий почвенного скелета:
 - а) экстенсивно обменивающиеся ионы,
 - б) необменные ионы;
- 4) калий органических остатков в почве;

а также В.У. Пчелкиным (1966): 1) водорастворимый; 2) обменный; 3) труднообменный; 4) необменный; 5) калий нерастворимых силикатов; 6) калий органической части почвы. Подобный принцип деления используется и в большинстве зарубежных разработок (Rich, 1968; Кук, 1970; Soil..., 1973; Sparks, Huang, 1985; Bertsch, Thomas, 1985; и др.): 1) калий почвенного раствора; 2) обменный; 3) необменный; 4) минеральный (структурный).

По-видимому, подразделение форм калия на (а) водорастворимую (почвенного раствора) и (б) почвенно-поглощающего комплекса довольно условно, т.к. между двумя этими фазами происходит непрерывное взаимодействие. Выделение водорастворимого калия может быть оправдано лишь как показатель наиболее подвижной фракции обменного калия. Связанный с гумусом калий органической части почвы, в силу очень небольших величин, имеет, в основном, теоретическое значение.

Довольно перспективно деление общего запаса калия в почвах на резервы по приуроченности к тем или иным почвенным калийсодержащим минералам, предпринятое Н.И. Горбуновым (1978): 1) источники питания (растворимые соли); 2) непосредственный резерв (обменные катионы, малорастворимые соли); 3) ближний резерв (гидрослюды, вермикулит, монтмориллонит, необменные катионы); 4) потенциальный резерв (полевые шпаты, слюды). Непосредственный резерв составляет калий, извлекаемый солевыми вытяжками; ближний калий, находящийся в илистой фракции; потенциальный содержащийся в частицах $> 0,001$ мм.

Подразделение почвенного калия на формы по прочности связи позволяет дать лишь качественную оценку калийного статуса почвы с учетом масштабов носителей той или иной формы. Для целей диагностики калийного питания растений необходимо количественное выражение различных фракций калия.

Количественное определение содержания форм калия можно получить, используя различные по интенсивности воздействия на почву вытяжки, извлекающие, соответственно, катионы с различных по энергии связи позиций. Существует более 150 методов извлечения фракций почвенного калия (Прокошев, Дерюгин, 2000), авторы которых приводят определенные доводы в пользу предлагаемого экстрагента; поэтому выбор наиболее надежных методов почвенной калийной диагностики представляется непростой задачей.

Основная часть калия почвы входит в кристаллическую структуру полевых шпатов. Для перевода в раствор всех почвенных алюмосиликатов их обычно разлагают смесью плавиковой и серной кислот или спекают при высокой температуре с углекислым кальцием и хлористым аммонием. Определенное этими методами количество калия представляет собой его валовое содержание в почве, которое с точки зрения обеспеченности элементом выращиваемых культур характеризует лишь общий, потенциальный почвенный калийный запас.

Содержание в почве обменного калия до настоящего времени является основным, а часто и единственным показателем, по которому судят об уровне калийного питания растений. Поэтому большинство из существующих методов определения почвенного калия направлено на экстрагирование этой формы.

Наибольшее распространение среди исследователей, как в нашей стране, так и за рубежом имеет метод определения обменного калия в вытяжке $1M$ CH_3COONH_4 (в России известный как метод Масловой). Основанием для его использования является близость ионных радиусов аммония и калия, в результате чего NH_4^+ может хорошо замещать K^+ в почвенно-поглощающем комплексе (Якименко, 2003, 2009). Сравнительный анализ многочисленных способов определения обменного калия, проведенный И.Г. Важениным и Г.И. Карасевой (1959б), показал преимущество данного метода.

В системе Агрохимслужбы России обменный калий экстрагируют тремя методами: 1) 0,2М HCl для подзолистых почв (метод Кирсанова); 2) 0,5М CH₃COOH для некарбонатных почв (метод Чирикова); 3) 1% (NH₄)₂CO₃ для карбонатных почв (метод Мачигина), во многом, из-за возможности определения в этих же вытяжках фосфора.

Наиболее подвижную часть обменного калия (легкообменный) извлекают слабыми (0,0015-0,01М) солевыми растворами, чаще всего, CaCl₂ (Woodruff, McIntosh, 1961; Карпинский, 1965; Голубева, 1969). Считается, что ионы кальция вытесняют калий, в основном, с неспецифических (планарных) позиций.

Возможности пополнения обменного калия из резерва необменной формы В.У. Пчелкин (1966) предложил оценивать с помощью 2М HCl. В основу данного метода лег принцип различной растворимости минералов. Вытяжки 0,2М и 2М HCl извлекают одинаковое количество калия из минералов с трудной растворимостью (полевой шпат, мусковит); в биотите, гидрослюдах, монтмориллоните калий более подвижен разница между указанными вытяжками значительна. По мнению В.У. Пчелкина, калий, переходящий в вытяжку 2М HCl, соответствует необменно поглощенной форме элемента. Однако, как видим, количество экстрагируемого калия и диагностические возможности метода определяются особенностями минералогического состава почв. Так, если И.Г. Важенин, Г.И. Карасева (1959а), В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин (2000) высоко оценивают солянокислую вытяжку, то в исследованиях О.П. Медведевой (1973) удобренные и неудобренные почвы мало отличались по количеству калия, извлекаемому 2М HCl метод давал ненадежные результаты.

По данным О.П.Медведевой (1987) для определения необменного калия широко используется вытяжка 1М HNO₃ (Pratt, Morse, 1954). Количество калия, извлекаемое этим экстрагентом, примерно соответствует выносу элемента растениями в условиях истощающей культуры (Медведева, 1978; Ониани, 1981; Барбер, 1988). Этот метод сравнительно прост и дает хорошо воспроизводимые результаты. Предусмотренное в методе кипячение почвы с раствором способствует разрушению основной части глинистых частиц, в результате чего экстрагируется не только калий минералов с лабильной решеткой, но и жестких структур. Для извлечения необменного калия применяется также кипящий 2М (по Важенину) или 10% (по Гедройцу) раствор HCl.

Таблица 2. Классификация форм почвенного калия (Якименко, 2003)

Формы К и их подразделение		Почвенные носители форм К	Занимаемые позиции	Возможные экстрагенты
Обменный К	Легкообменный, в т.ч. почвенного раствора (экстрамицеллярно поглощенный)	Высокодисперсная минеральная фракция и органическое вещество	Внешние грани минералов и органическое вещество	0,0015 0,01М CaCl ₂ 1М CH ₃ COONH ₄
	Труднообменный (интрамицеллярно поглощенный)		Краевые зоны межпакетных промежутков кристаллитов	
Необменный К	Необменно поглощенный	Глинистые минералы с подвижным типом решетки (монтмориллонит, вермикулит)	Межслоевое пространство минералов	2М HCl 1М HNO ₃ , 2М или 10% HCl с кипячением
	Необменный	Глинистые минералы со стабильной решеткой (гидрослюды)		
Калий почвенного скелета	Структурный	Первичные минералы с листовой решеткой (слюды)	В структуре минералов	H ₂ SO ₄ концентрированная H ₂ SO ₄ + HF
	Матричный	Первичные минералы с каркасной решеткой (полевой шпат)	В кристаллической решетке	

Многочисленные опыты с чистыми минералами, используемыми в качестве источника калийного питания, показали, что растения могут достаточно эффективно усваивать калий, содержащийся в слюдах. Этот калий по своему положению в кристаллической структуре принципиально подобен калию, входящему в состав трехслойных глинистых минералов. Однако, меньшие дисперсность и гидратированность слюд обеспечивают более прочную связь элемента с матрицей. Оценить запасы этой формы калия можно, используя в качестве экстрагента концентрированные сильные кислоты или их крепкие растворы. По данным Р. Грима (1967) при обработке в течение 2 часов в 50% растворе HCl при температуре 80-85 °С растворимость минералов (катионная растворимость) составляет (в %): биотита 100, мусковита 5-32, галлуазита 6-15, каолинита 10, монтмориллонита 62; а при обработке в таких же условиях серной кислотой наблюдается полное растворение всех указанных минералов. Определение почвенных запасов калия при экстрагировании серной кислотой высоко оценено в ряде работ (Hunter, Pratt, 1957; Барбер, Хамберт, 1965).

Наиболее распространенные методы определения почвенного калия подробно описаны И.Г. Важениным (1975).

Следует подчеркнуть, что более сильный экстрагент извлекает и калий, переходящий в относительно слабые вытяжки. Например, в вытяжку 2М HCl, наряду с необменно поглощенным калием почвы, переходит и обменная форма элемента. Поэтому при необходимости определения конкретной формы калия обычно используют метод разности.

По обобщенным литературным данным и нашим представлениям о характере взаимодействия ионов калия с минеральной основой почв (Якименко, 2003), подразделение валового почвенного калия на формы можно изобразить в следующем виде (табл. 2).

Таким образом, несоответствие валового содержания калия в почвах и условий питания растений обуславливает необходимость выделения форм этого элемента как для диагностики обеспеченности выращиваемых культур, так и для мониторинга калийного состояния почв. Наиболее целесообразной основой классификации является прочность связи элемента с твердой фазой почвы, что выражается в степени проявления физико-химических процессов (адсорбция, фиксация, замещения в кристаллической решетке) и ассоциированности с носителем (преимущественно минеральным) той или иной формы калия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве. М.: Агропромиздат, 1988. 376 с.
2. Барбер С.А., Хамберт Р.П. Достижения в познании связей калия в почве и растениях // Удобрения. М.: Колос, 1965. С. 249-281.
3. Важенин И.Г., Карасева Г.И. О формах калия в почве и калийном питании растений // Почвоведение. 1959а. № 3. С. 11-21.
4. Важенин И.Г., Карасева Г.И. Об агрохимических методах определения подвижных форм калия в почве // Почвоведение. 1959б. № 8. С. 87-91.
5. Важенин И.Г. Методы определения калия в почве // Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 191-218.
6. Гедройц К.К. Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение. М., Л.: Сельхозгиз, 1935. 343 с.
7. Голубева А.П. Определение степени подвижности обменного калия // Пособие по проведению анализов почв и составлению агрохимических картограмм. М.: Россельхозиздат. 1969. С. 70-74.
8. Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв. М.: Наука, 1978. 293 с.
9. Грим Р. Минералогия и практическое использование глин. М.: Мир, 1967. 510 с.
10. Карпинский Н.П. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв // Действие удобрений на урожай и его качество. М.: Колос, 1965. С. 288-308.
11. Кук Д.У. Регулирование плодородия почвы. М.: Колос, 1970. 520 с.
12. Медведева О.П. Использование 2 Н раствора HCl для извлечения фиксированного почвой калия удобрений // Агрохимия. 1973. № 11. С. 123-130.
13. Медведева О.П. Об индексах оценки обеспеченности растений доступным калием // Агрохимия. 1978. № 11. С. 35-39.
14. Медведева О.П. К вопросу оценки обеспеченности растений доступным калием // Агрохимия. 1987. № 1. С. 116-138.
15. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999. 332 с.
16. Носов В.В., Соколова Т.А., Прокошев В.В., Исаенко М.А. Изменение некоторых показателей калийного состояния дерново-подзолистых почв под влиянием применения калийных удобрений в длительных опытах // Агрохимия. 1997. №5. С. 13-19.
17. Ониани О.Г. Агрохимия калия. М.: Наука, 1981. 200 с.

18. Петербургский А.В., Кузнецов А.В. О доступности растениям калия почвенных минералов // *Изв. ТСХА*. 1972. Вып.6. С. 97-104.
19. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 185 с.
20. Пчелкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения. М.: Колос, 1966. 336 с.
21. Ретина О.А. Калий в серых лесных почвах в связи с питанием растений и применением удобрений: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1978. 18 с.
22. Середина В.П. Калий и почвообразование. Томск: Изд-во ТГУ, 2012. 354 с.
23. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
24. Якименко В.Н. К вопросу оценки калийного состояния почв агроценозов // *Плодородие*. 2009. № 4. С.8-10.
25. Barber S.A., Walker J.M., Vasey E.H. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root // *Agric. Food Chemistry*. 1963. Vol. 11. P. 204-207.
26. Beckett P.H.T. Studies on soil potassium // *J. Soil Sci.* 1964. Vol. 15, No. 1. P.123.
27. Bertsch P.M., Thomas G.W. Potassium status of temperate region soils // *Potassium in agriculture. Madison. Wisc., USA, 1985. P. 131-162.*
28. Hunter A.H., Pratt P.F. Extraction of potassium from soil by sulfuric acid // *SSSAP*. 1957. Vol. 21. P.501-504.
29. MacLean A.J., Brydon J.E. Release and fixation of potassium in different size fractions of some Canadian soils as related to their mineralogy // *Can. J. Soil Sci.* 1963. Vol.43, №1. P.123-134.
30. Nemeth K., Mengel K., Grimme H. The concentration of K, Ca and Mg in the saturation extracts in relation to exchangeable K, Ca and Mg // *Soil Sci.* 1970. Vol.109, №3. P.179-185.
31. Pratt P., Morse H. Potassium release from exchangeable and non-exchangeable forms in Ohio soils // *Ohio Agric. Exp. Sta. Bull.* 1954. P.747-754.
32. Rich C.I., Black W.R. Potassium exchange as affected by cation size, pH and mineral structure // *Soil Sci.* 1964. Vol. 97, №.6. P.384-390.
33. Rich C.I. Mineralogy of soil potassium // *The role of potassium in agriculture. Madison. Wis., USA, 1968. P.79-108.*
34. Soil testing and plant analysis. Madison. Wis., USA, 1973. 491 p.
35. Sparks D.L., Huang P.M. Physical chemistry of soil potassium // *Potassium in agriculture. Madison. Wis., USA, 1985. P.201-276.*
36. The role of potassium in agriculture. Madison. Wisc., USA, 1968. 508 p.
37. Woodruff C.M., McIntosh J.L. Testing soil for K // *Proc. 7-th Int. Congr. Soil Sci.* 1961. Vol.3. P. 80-85.

*Поступила в редакцию 15.12.2017;
принята 29.01.2018; опубликована 30.01.2018*

Сведения об авторе:

Якименко Владимир Николаевич - доктор биологических наук, заведующий лабораторией агрохимии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г.Новосибирск, yakimenko@issa.nsc.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

POTASSIUM FORMS IN SOIL AND METHODS OF DETERMINATION

© 2018 V.N. Yakimenko

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: yakimenko@issa.nsc.ru

The article shows the necessity to divide soil total potassium pool into separate fractions to assess potassium availability to plants and justifies different approaches to recover various potassium forms from soil by extraction, describing extraction methods. The author proposes the extended system to classify soil potassium forms based on the strength of potassium binding to soil minerals.

Key words: soil potassium, potassium forms in soil, extraction methods, soil potassium forms classification

How to cite: Yakimenko V.N. Potassium forms in soil and methods of determination // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(1):25-31. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Barber S.A. Soil nutrient availability: A mechanistic approach, London, John Wiley, 1995, 384 p.
2. Barber S. A., Humbert R. P. Advances in knowledge of potassium relationships in the soil and plant in fertilizer technology and usage, Symposium Publ. by Soil Sci. Soc. Amer., Madison Wis., 1963.
3. Vazhenin I.G., Karaseva G.I. About potassium forms in soil and potassium nutrition of plants, *Pochvovedenie*, 1959a, No.3, p.11-21 (in Russian)

4. Vazhenin I.G., Karaseva G.I. About the agrochemical methods to determine labile potassium forms in soil, *Pochvovedenie*, 1959b, No.8, p.87-91 (in Russian)
5. Vazhenin I.G. Methods to determine potassium in soil. Agrochemical methods of soil analyses, Moscow, Nauka Pbs., 1975, p.191-218 (in Russian)
6. Hedroitz K.K. Soil complex, plant and fertilizer, Moscow, Leningrad, Selkhozgiz, 1935, 343 p. (in Russian)
7. Golubeva A.P. Estimating the degree of lability of exchangeable potassium. Manual to perform soil analyses and compose agrochemical cartograms, Moscow, Rosselkhozizdat, 1969, p.70-74 (in Russian)
8. Gorbunov N.I. Soil mineralogy and physical chemistry, Moscow, Nauka, 1978, 293 p. (in Russian)
9. Grim R. A. Clay mineralogy, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1968.
10. Karpinsky N.P. Agrochemical characterization of sod-podzolic soils. The effect of fertilizers on crop yield and its quality, Moscow, Kolos, 1965, p.288-308 (in Russian)
11. Cook D. Managing soil fertility, Moscow, Kolos, 1970, 520 p. (in Russian)
12. Medvedeva O.P. The use of 2N HCl solution to extract fertilizer potassium fixed in soil, *Agrochemistry*, 1973, No.11, p.123-130. (in Russian)
13. Medvedeva O.P. About available potassium supply to plants, *Agrochemistry*, 1987, No.1, p.116-138. (in Russian)
14. Medvedeva O.P. About the indices to assess available potassium supply to plants, *Agrochemistry*, 1978, No.11, p.35-39. (in Russian)
15. Mineev V.G. Agrochemistry and ecological functions of potassium. Moscow, MGU Pubs., 1999, 332 p. (in Russian)
16. Nosov V.V., Sokolova T.A., Prokoshev V.V., Isaenko M.A. Changes in some indicators of potassium status of sod-podzolic soils under potassium fertilization in long-term experiments, *Agrochemistry*. 1997, Iss.5, p.13-19 (in Russian)
17. Oniani O.G. Potassium agrochemistry, Moscow, Nauka, 1981, 200 p. (in Russian)
18. Peterburgsky A.V., Kuznetsov A.V. About about potassium availability from soil minerals to plants, *Proc. of the Timiryazev Agricultural Academy*, 1972, No.2, p.97-104. (in Russian)
19. Prokoshev V.V., Derugin I.P. Potassium and potassium fertilizers, Moscow, Ledum, 2000, 185 p. (in Russian)
20. Pchelkin V.U. Soil potassium and potassium fertilizers, Moscow, Kolos, 1966, 336 p. (in Russian)
21. Repina O.A. Potassium in grey wooded soils in relation to plant nutrition and fertilization, Summary of the cand.biolog.sci. dissertation, Moscow, 1978, 18 p. (in Russian)
22. Seredina V.P. Potassium and soil formation, Tomsk, Tomsk State University Pbs., 2012. 354 p. (in Russian)
23. Yakimenko V.N. Potassium in West Siberian Agrocoenoses, Novosibirsk, SB RAS, 2003, 231 p. (in Russian)
24. Barber S.A., Walker J.M., Vasey E.H. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root, *Agric. Food Chemistry*, 1963, Vol.11, p.204-207.
25. Beckett P.H.T. Studies on soil potassium, *J. Soil Sci.*, 1964, Vol. 15, No.1, p.123.
26. Bertsch P.M., Thomas G.W. Potassium status of temperate region soils, *Potassium in agriculture*. Madison, Wisc., USA, 1985. P. 131-162.
27. Hunter A.H., Pratt P.F. Extraction of potassium from soil by sulfuric acid, *SSSAP*, 1957, Vol. 21, p.501-504.
28. MacLean A.J., Brydon J.E. Release and fixation of potassium in different size fractions of some Canadian soils as related to their mineralogy, *Can. J. Soil Sci.*, 1963, Vol.43, No.1, p.123-134.
29. Nemeth K., Mengel K., Grimme H. The concentration of K, Ca and Mg in the saturation extracts in relation to exchangeable K, Ca and Mg, *Soil Sci.*, 1970, Vol.109, No.3, p.179-185.
30. Pratt P., Morse H. Potassium release from exchangeable and non-exchangeable forms in Ohio soils, *Ohio Agric. Exp. Sta. Bull.*, 1954, p.747-754.
31. Rich C.I., Black W.R. Potassium exchange as affected by cation size, pH and mineral structure, *Soil Sci.*, 1964, Vol.97, No.6, p.384-390.
32. Rich C.I. Mineralogy of soil potassium, *The role of potassium in agriculture*. Madison, Wis., USA, 1968. P.79-108.
33. Soil testing and plant analysis, Madison, Wis., USA, 1973. 491 p.
34. Sparks D.L., Huang P.M. Physical chemistry of soil potassium, *Potassium in agriculture*, Madison, Wis., USA, 1985, p.201-276.
35. The role of potassium in agriculture, Madison, Wisc., USA, 1968. 508 p.
36. Woodruff C.M., McIntosh J.L. Testing soil for K, *Proc.7-th Int. Congr. Soil Sci.*, 1961, Vol.3, p. 80-85.

Received 15 December, 2017; accepted 29 January 2017; published 30 January 2018

About the author:

Yakimenko Vladimir N. - Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of agrochemistry, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk city, Russia, yakimenko@issa.nsc.ru

The author read and approved the final manuscript.



The article are available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)