

**ОЦЕНКА ДОСТУПНОГО РАСТЕНИЯМ КАЛИЯ В СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ ПРИ ЭКСТРАКЦИИ 0,1М РАСТВОРОМ СУЛЬФАТА МАГНИЯ**© 2020 П.А. Барсуков , Н.Б. Смоленцев, О.А. Русалимова *Адрес:* ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия*E-mail:* barsukov@issa-siberia.ru, n-smolentsev@issa-siberia.ru, rusalimova@issa-siberia.ru**Цель исследования:** Поиск метода определения доступного растениям калия для почвенной диагностики, не требующего использования дорогостоящих методов пламенной фотометрии или атомно-абсорбционной спектрометрии.**Место и время проведения.** Западная и Средняя Сибирь, 2016-2019 гг.**Методология.** Сравнение методами регрессионного анализа содержания пула калия, экстрагируемого 0,1М раствором MgSO₄ с обменным калием, экстрагируемым 1М раствором NH₄OAc (по ГОСТ 26210-91), в 100 почвенных образцах агрочерноземов и агротемносерых почв различного гранулометрического состава.**Основные результаты.** Обменный калий показал наилучшую корреляцию с выносом элемента растениями и урожаем в самых различных почвенно-климатических условиях. Установлено, что зависимость между индексами доступности калия при экстракции раствором ацетата аммония (KAI_{Ac}) и раствором MgSO₄ удовлетворительно ($R^2 = 0,88$) описывается простой линейной функцией для почв с гранулометрическим составом от легкосуглинистых до легкоглинистых и хорошо ($R^2 = 0,92$) – степенной функцией для средне-, тяжелосуглинистых и легкоглинистых почв. Для 81% обследованных почв различия между расчетными (по степенному уравнению) и фактическими значениями KAI_{Ac} составили не более 20%, а для 97% почвенных разностей - не превышали 30%. Стоимость аналитического оборудования, необходимого для анализа калия в целях почвенной диагностики, в 7-60 раз меньше при определении KAI_{Mg}, по сравнению с KAI_{Ac}.**Заключение.** Индекс доступности калия KAI_{Mg} можно использовать наряду со стандартным индексом доступности KAI_{Ac} для почв с гранулометрическим составом от среднесуглинистых до легкоглинистых. Пересчет KAI_{Mg} в KAI_{Ac} возможен по формуле: $KAI_{Ac} = 8,108 \cdot KAI_{Mg}^{0,793}$ **Ключевые слова:** калий; почвенная диагностика; индекс доступности; метод определения; калийные удобрения; гранулометрический состав; агрочерноземы; агротемносерые почвы; Западная Сибирь; Средняя Сибирь**Цитирование:** Барсуков П.А., Смоленцев Н.Б., Русалимова О.А. Оценка доступного растениям калия в суглинистых почвах при экстракции 0,1М раствором сульфата магния // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 1. e114. doi: 10.31251/pos.v3i1.114**ВВЕДЕНИЕ**

Калий является одним из трех важнейших биофильных элементов, недостаток которых наиболее часто лимитирует продуктивность растений в сельскохозяйственных экосистемах. Для удовлетворения потребности культурных растений в калии часто необходимо внесение калийных удобрений. Дозы удобрений зависят от содержания доступного для растений калия в почве и, в меньшей степени, от генетически определенного уровня ассимиляции этого питательного элемента той или иной культурой. Диагностика содержания в почве доступных растениям форм элементов питания является одним из наиболее экономически эффективных инструментов управления актуальным почвенным плодородием. Это мероприятие, в частности, позволяет оценивать обеспеченность почв калием, доступным для различных сельскохозяйственных культур, принимать решения о внесении удобрений, рассчитывать их оптимальные дозы и формы по отдельным полям хозяйства (Сох, 1994).

Для почвенной диагностики калийного питания растений были разработаны многочисленные методы. В нашей стране в системе Агрохимической службы официально приняты к использованию четыре метода для различных типов почв, соответствующие ГОСТам 26210-91, 26207-91, 26204-91 и 26205-91. Для всех четырех методов калий, после его экстракции из почвы, рекомендуется определять на пламенном фотометре. В настоящее время широкое

распространение имеет также определение калия на атомно-абсорбционном спектрометре. Эти методы требуют дорогостоящего оборудования и расходных материалов, квалифицированного персонала, что не всегда доступно для небольших лабораторий. Следовательно, менее затратный метод определения обменного калия позволил бы шире применять почвенную диагностику калийного питания растений и, соответственно, более обоснованно определять потребность в калийных удобрениях и более точно рассчитывать их дозы.

В связи с этим целью нашей работы был поиск менее затратного метода определения доступного растениям калия для почвенной диагностики, т.е. метода, не предусматривающего использования относительно дорогостоящей пламенной фотометрии или безусловно дорогостоящей атомно-абсорбционной спектрометрии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования. В качестве объекта исследования было выбрано 100 почвенных образцов агрогенных автоморфных почв (агротемносерых и агрочерноземов) лесостепной зоны Западной Сибири и Средней Сибири с различным гранулометрическим составом: от легкоуглинистого до легкоглинистого. Тип/подтип почв, включенных в выборку, и их гранулометрический состав были определены преимущественно по почвенным картам конкретных хозяйств (сделанных областными филиалами ГИПРОЗЕМа в 70-80-е годы прошлого века).

Почвенные образцы были отобраны в различных хозяйствах Новосибирской, Томской, Кемеровской областей и Красноярского края при проведении почвенно-агрохимических обследований пахотных угодий этих хозяйств в 2016-2019 гг. (табл. 1). В каждом году почвенные образцы отбирали в период с 3-й декады сентября по 2-ю декаду октября.

Таблица 1

Название и местоположение хозяйств, в которых были отобраны почвенные образцы

Административный регион	Административный район	Название хозяйства
Новосибирская область	Краснозерский	ООО «Рубин», ИП «Вайс А.Э.», ЗАО «Черемошенское», КХ «Доброволец», ИП «Глава КФХ Мирошник Д.И.», ЗАО «Новомайское»
	Новосибирский	ООО «Совхоз Морской», опытные поля ИЦиГ и СибНИИРС СО РАН
	Колыванский	ООО «Соколово», ООО «Краснооктябрьское»
	Коченевский	КХ «Царик А.Я.», СПК «Урожай», ООО «Раздольное», КФХ «Брик Е.В.»
	Купинский	ООО «Медяковское», ООО «Сибирская Зернопромышленная Компания»
	Доволенский	ООО «АПХ Кристалл-Суздальское»
	Черепановский	ОАО «Крутишинское», ООО МЖК «Альва-Фарм»
	Ордынский	ИП «Леонидов А.П.», ЗАО «Пичуги», КХФ «Водолей»
	Барабинский	СПК «Нива»
Кемеровская область	Ленинск-Кузнецкий	ООО «КХ Рошупкин С.И.»
	Гурьевский	ИП «Мовсесян А.А.», ИП «Глава КФХ Надеев Н.В.»
Томская область	Кожевниковский	ООО «Авангард», КФХ «Летяжье»
Красноярский край	Шарыповский	ИП «Рапана К.И.»
	Новоселовский	ЗАО «Светлолобовское»

Отбор почвенных образцов. Образцы отбирали из пахотного слоя гумусово-аккумулятивного горизонта почв почвенным буром диаметром 40 мм. Все анализируемые образцы представляют собой объединенные пробы, которые составляли из 3-11 смешанных образцов с одного поля. Один смешанный образец составляли из 5-7 индивидуальных (точечных) образцов с одного элементарного участка внутри поля. Таким образом, объединенная проба достаточно репрезентативно характеризует то или иное поле в целом.

Химические анализы. Сразу после отбора почвенные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. В почвенных образцах определяли два пула калия, экстрагируемые растворами ацетата аммония или сульфата магния. Для приготовления растворов использовали деионизованную воду, полученную с помощью системы очистки воды Purelab option-Q7/15 (ELGA LabWater, UK).

Содержание обменного калия определяли по методу Масловой (ГОСТ 26210-91). Навеску почвы экстрагировали раствором 1М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH=7,0) в соотношении почва : экстрагирующий раствор 1:10. Почвенную суспензию перемешивали на ротаторе 1 ч, затем фильтровали. В фильтрате определяли содержание калия на атомно-абсорбционном спектрометре с пламенной атомизацией Квант-2А (Россия).

Второй метод определения пула почвенного калия включал экстракцию почвы раствором 0,1М MgSO_4 при соотношении почва : раствор 1:10. Суспензию почвы с раствором перемешивали на ротаторе 1 ч, затем фильтровали. В фильтрате определяли содержание калия потенциометрическим способом с использованием иономера АНИОН-4151 (Россия), ион-селективного по калию электрода ЭЛИТ-031 и электрода сравнения ЭСр-10101, заполненного 1М раствором ацетата лития.

Статистическую обработку данных проводили методами регрессионного, корреляционного и вариационного анализов с помощью пакета программ прикладной статистики Snedecor v.5.80 (Сорокин, 2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание двух пулов калия, экстрагируемых ацетатом аммония и сульфатом магния в почвах различного гранулометрического состава

Из проанализированных нами почвенных образцов 13% представлено агротемносерыми почвами/Luvic Phaeozems (Albic, Anthric) и 87% - различными агрочерноземами, в основном агрочерноземами глинисто-иллювиальными/Luvic Chernozems (Anthric), а также агрочерноземами сегрегационными/Haplic Chernozems (Pachic, Anthric) и агрочерноземами текстурно-карбонатными/Calcic Chernozems (Anthric). Названия почв даны в соответствии с российской (Классификация..., 2004) и международной WRB (IUSS..., 2015) классификациями почв. По гранулометрическому составу выборка почв включала 28 легкосуглинистых почв, 59 среднесуглинистых, 8 тяжелосуглинистых и 5 легкоглинистых. Все почвенные образцы были отобраны с пахотных угодий, имеющих разную историю применения удобрений, возделывания сельскохозяйственных культур, способов обработки почвы. Внесение калийных удобрений на этих полях представляется маловероятным, по крайней мере, в последние 15-20 лет, за исключением трех образцов легкосуглинистой почвы с опытных полей ИЦиГ СО РАН и четырех образцов среднесуглинистой почвы СибНИИРС СО РАН. Общим для всех почв является лишь то, что они находятся в длительном сельскохозяйственном использовании не менее 50 лет. Как отмечено выше, тип/подтип и гранулометрический состав почв, участвующих в выборке, был определен в большинстве случаев по почвенным картам конкретных хозяйств, что является весьма приблизительной оценкой. Данная выборка почв приблизительно отражает распространенность типов/подтипов почв с присущим им гранулометрическим составом в пахотном фонде исследуемого региона, т.е. южных частей Западной и Средней Сибири.

Почвенные образцы были проанализированы на содержание обменного калия по методу Масловой и путем экстракции раствором 0,1М MgSO_4 (табл. 2).

Таблица 2

Содержание обменного калия (по методу Масловой) и калия, экстрагируемого раствором сульфата магния, в агрочерноземах и агротемносерых почвах различного гранулометрического состава

ГС*	K1 [#]	K2 [®]	ГС	K1	K2	ГС	K1	K2	ГС	K1	K2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
В	20	42	В	79	192	С	377	812	С	90	280
В	21	41	В	122	271	С	172	507	С	124	361
В	16	55	В	92	150	С	102	351	С	96	297
В	51	112	С	81	309	С	71	212	С	85	280
В	79	119	С	73	268	С	238	700	С	306	812
В	184	345	С	230	608	С	145	471	С	90	233
В	378	812	С	54	185	С	104	332	С	108	265
В	84	181	С	289	634	С	117	361	С	188	555
В	63	131	С	88	295	С	118	342	С	246	579
В	79	201	С	72	201	С	68	212	С	74	214
В	76	181	С	82	206	С	60	212	С	98	316

Продолжение табл.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B	65	151	C	73	181	C	76	212	C	71	274
B	79	190	C	78	181	C	109	351	D	146	342
B	74	216	C	100	361	C	148	481	D	252	572
B	58	190	C	226	516	C	98	268	D	201	445
B	85	220	C	95	379	C	41	177	D	305	874
B	75	220	C	100	297	C	151	409	D	151	471
B	171	301	C	112	387	C	95	233	D	115	432
B	82	190	C	174	531	C	128	361	D	208	445
B	92	211	C	119	379	C	318	903	D	548	1191
B	85	201	C	74	278	C	288	591	E	102	316
B	84	211	C	75	342	C	151	555	E	95	274
B	106	284	C	117	369	C	116	361	E	74	282
B	149	324	C	99	387	C	134	481	E	92	312
B	113	214	C	198	498	C	254	845	E	103	328

Примечание. * – гранулометрический состав почв; **B** – легкосуглинистые, **C** – среднесуглинистые, **D** – тяжелосуглинистые и **E** – легкоглинистые почвы; # – калий, экстрагируемый раствором 0.1M MgSO₄, мг K₂O/кг; & – обменный калий (по Масловой), мг K₂O/кг.

Полученные результаты были сгруппированы в соответствии с гранулометрическим составом почв, для каждой из групп рассчитаны некоторые показатели вариационной статистики (табл. 3). Несмотря на различные истории полей, с которых были отобраны образцы (уровень применения удобрений, способ обработки почв, предшествующие культуры), усредненные значения обоих индексов доступности калия (средние арифметические и медианы) существенно различались для почв разного гранулометрического состава, возрастая в ряду от легкосуглинистых к тяжелосуглинистым почвам. Однако в легкоглинистых почвах содержание калия было даже ниже, чем в среднесуглинистых. Последнее можно объяснить крайне малой выборкой для легкоглинистых почв (n=5), а также тем, что эти почвенные образцы были отобраны в пределах только одного хозяйства с полей, почвенный покров которых представлен агротемносерыми почвами.

Средние размеры пула обменного калия (по Масловой) в 2,2–2,9 раза превышали пул калия, экстрагируемого сульфатом магния, для суглинистых почв и в 3,2 – для легкоглинистых почв.

Таблица 3

Вариационная статистика величин содержания обменного калия (по методу Масловой) и калия, экстрагируемого раствором сульфата магния, сгруппированных по гранулометрическому составу

Содержание калия, мг K ₂ O/кг	Гранулометрический состав	n	Среднее арифметическое	Стандартная ошибка	V*, %	Медиана	Асимметрия
Обменный калий	B	28	213	26.4	66	197	2.8
	C	59	390	23.2	46	351	1.1
	D	8	597	102.2	48	458	1.3
	E	5	302	10.4	8	312	-0.3
	B, C, D, E	100	352	20.3	58	305	1.5
Калий, экстрагируемый раствором сульфата магния	B	28	95	12.8	71	81	2.7
	C	59	133	9.8	56	104	1.4
	D	8	241	49.0	58	205	1.5
	E	5	93	5.2	13	95	-1.0
	B, C, D, E	100	129	8.6	66	100	2.1

Примечание. * – коэффициент вариации. Обозначения гранулометрического состава почв: **B** – легкосуглинистые, **C** – среднесуглинистые, **D** – тяжелосуглинистые, **E** – легкоглинистые.

Коэффициенты вариаций величин содержания калия достигали высоких значений, составляя в среднем для всех проанализированных образцов 58% для обменного калия (по Масловой) и 66% для калия, экстрагируемого раствором сульфата магния. Это свидетельствует о включении в нашу выборку почв с достаточно разнообразными свойствами в отношении калийного режима. Внутри группы легкосуглинистых почв коэффициенты вариации величин содержания калия были наиболее высокими

(66-71%), для средне- и тяжелосуглинистых почв – несколько ниже (46-58), и наиболее низкими (8-13%) – для легкоглинистых почв, что опять же объясняется малой выборкой последней группы почв. Для всех трёх групп суглинистых почв получена положительная (правосторонняя) асимметрия, достигающая существенных значений (более 1,1), т.е. в этих выборках большая часть почвенных образцов имеет значения содержания калия ниже средних арифметических. Это же подтверждается тем, что медианные значения пулов калия меньше средних арифметических для всех групп суглинистых почв (см. табл. 3): различия достигали 8-23% для обменного калия (по Масловой) и 15-22% для калия, экстрагируемого сульфатом магния. Наиболее значительное отклонение распределения содержания калия от нормального получено для выборки легкосуглинистых почв, где коэффициент асимметрии был равен такому высокому значению, как 2,7-2,8, для обоих пулов калия.

Помимо изучения вариационных характеристик этих двух пулов калия в различных по гранулометрическому составу почвах представляет несомненный интерес их оценка с точки зрения обеспечения растений доступными для них формами (фракциями) почвенного калия.

Доступные растениям фракции калия в почвах

Известно, что валовое содержание калия в почве крайне слабо коррелирует с его доступностью растениям. Последнее в гораздо большей степени определяется фракционным составом калийного фонда почв. Фракции (формы) калия физически различаются по прочности связи иона калия с минеральными и органоминеральными коллоидными частицами почвенного поглощающего комплекса (Якименко, 2018). Существует несколько классификаций форм почвенного калия, которые приводятся, например, в недавнем обзоре В.Н. Якименко (2018). Поскольку рассмотрение всего калийного фонда почв находится за рамками настоящей статьи, остановимся только на тех формах калия, которые могут быть непосредственно доступны растениям в ходе текущего/ближайшего вегетационного сезона. Такими формами, безусловно, являются:

(а) калий почвенного раствора;

а также обменный калий, подразделяемый на:

(б) легкообменный калий – экстрамицеллярно поглощенный на внешних поверхностях / гранях минералов и органоминеральных коллоидов;

(в) труднообменный калий – интрамицеллярно поглощенный в краевых зонах межпакетных промежутков кристаллитов (Якименко, 2003).

Кроме того, имеется предположение, что небольшая часть необменного калия переходит в раствор при экстракции 1М ацетатом аммония (Naby et al., 1990) и может быть использована растениями. В настоящее время различают две фракции необменного калия: (i) K^+ , поступивший в почву (например, с удобрениями) и фиксируемый необменно на деформированных краях и клиновидных участках 3-слойных глинистых минералов и (ii) K^+ , содержащийся в межслоевом пространстве 3-слойных глинистых минералов (Breker, 2017). Учитывая, что катионы NH_4^+ и K^+ имеют практически одинаковый ионный радиус, низкую энергию гидратации и характеризуются схожим поведением в процессах сорбции-десорбции глинистыми минералами (Nommik, Vahtras (1982), мы можем «переносить» выводы о процессах, происходящих с NH_4^+ на K^+ . В опытах с внесением меченных ^{15}N аммонийных удобрений установлено, что определенная доля $^{15}NH_4^+$ очень быстро фиксируется необменно, однако в ходе того же вегетационного сезона частично высвобождается и поглощается растениями. Причем скорость десорбции недавно фиксированного (экзогенного) NH_4^+ из необменных позиций существенно выше, чем нативного (эндогенного) аммония (Kowalenko, Ross, 1980; Nieder et al., 2011). Наряду с «недавно фиксированным» аммонием, был введен термин «промежуточно-фиксированный» аммоний, который характеризуется более быстрыми процессами сорбции и десорбции, чем нативный аммоний (Nieder et al., 2011). В отношении необменно фиксированного калия было также введено понятие «нативного» (т.е. эндогенного, почвенного) калия, отличающегося от необменно фиксированного калия внесенных удобрений (Dhillon et al., 1989). Вероятно, недавно фиксированный и промежуточно фиксированный K^+ и NH_4^+ занимают одни и те же позиции: на деформированных краях и клиновидных участках 3-слойных глинистых минералов, которые находятся в процессе разрушения. Таким образом, мы полагаем, что, наряду с вышеприведенными формами калия (а), (б) и (в), растениям также частично доступен промежуточно фиксированный необменный калий, особенно из недавно внесенных калийных удобрений.

Обменные формы калия (б) и (в) составляют большую часть пула доступного растениям калия. По определению Д.С. Орлова (цит. по Якименко, 2003) обменный калий, как и любые

обменные катионы, вытесняются из почвы многократной обработкой нейтральными растворами нейтральных солей. При однократной обработке почвы 1М ацетатом аммония в раствор переходит значительная доля (хотя и не полностью) обменного калия. В случае применения в качестве вытесняющего раствора 0,1М $MgSO_4$ в раствор поступает в среднем для всех проанализированных образцов в 2,7 раза меньше калия, чем при использовании 1М ацетата аммония в качестве экстрагента. Наиболее вероятно, в этом случае в раствор переходит преимущественно экстрамицеллярно поглощенный калий, расположенный на поверхностях органоминеральных коллоидов и на внешних планарных поверхностях вторичных минералов, а также их боковых сколах и в клиновидных межпакетных промежутках.

Индексы доступности калия

Помимо упомянутых выше объективно (физически) существующих форм калия, в русскоязычной агрохимической литературе часто используются такие весьма условные термины, как «подвижный», «усвояемый», «доступный» калий. В.Н. Якименко (2018) отмечает, что применение этих терминов при изучении калийного режима почв неправильно, но может быть допустимо при рассмотрении уровня калийного питания растений. Полагаем, что наиболее корректно называть тот или иной пул калия по экстрагирующему раствору. Например, калий, экстрагируемый 0,2М HCl. Однако для удобства в практических целях предлагается использовать термин «индекс доступности», под которым подразумевается оценка содержания пула предположительно доступного растениям элемента минерального питания, экстрагируемого определенным раствором. Например, индекс доступности калия при экстракции 0,2М HCl. Термин «индекс доступности» («availability index») широко используется в англоязычной научной литературе по отношению к калию (Knudsen et al., 1982) и другим питательным элементам.

В системе Агрохимической службы Российской Федерации приняты четыре метода определения обменного/подвижного калия, на основании которых делают вывод об обеспеченности растений этим элементом в соответствующих почвах:

в дерново-подзолистых, серых лесных, черноземах, красноземах и других почвах определяют обменный К (по Масловой, экстрагент 1М ацетат аммония) в соответствии с ГОСТ 26210-91;

в подзолистых, дерново-подзолистых, серых лесных и других почвах лесной зоны определяют подвижный К (по Кирсанову, экстрагент 0,2М HCl) в соответствии с ГОСТ 26207-91;

в черноземах, серых лесных и других почвах степной и лесостепной зон определяют подвижный К (по Чирикову, экстрагент 0,5М CH_3COOH) в соответствии с ГОСТ 26204-91;

в сероземах, серо-бурых, бурых, каштановых, черноземах и других почвах пустынной, полупустынной, сухостепной и степной зон, в карбонатных почвах других зон определяют подвижный К (по Мачигину, экстрагент 1% $(NH_4)_2CO_3$) в соответствии с ГОСТ 26205-91.

В.В. Прокошев и И.П. Дерюгин (2000) обобщили методы определения подвижного калия (под которым подразумевают сумму водорастворимого и обменного), опубликованные с 30-х по 80-е годы прошлого века. Авторы делают вывод, что наличие около 100 методов определения подвижного калия свидетельствует о том, что «не найдено реактива, воздействие которого на почву было бы устойчиво эквивалентно усвояющей способности корневой системы растений» (Прокошев, Дерюгин, 2000, с. 31). Тем не менее, определение калия при экстракции почвы 1М ацетатом аммония было принято (на конец 80-х годов) в качестве стандартного (рутинного) метода для исследовательских целей и массовых анализов во многих странах: Австралия, Австрия, Великобритания, Гондурас, Индия, Индонезия, Иордания, Испания, Китай, Малайзия, Мексика, Новая Зеландия, Пакистан, Перу, Филиппины, Шри-Ланка, ЮАР (Novozamsky, Nouba, 1987: цит. по: Прокошев, Дерюгин, 2000).

В таблице 4 мы обобщили некоторые результаты более поздних исследований по использованию различных индексов доступности калия, принятых для определенных почв и/или показывающих хорошую корреляцию с выносом элемента растениями и урожаем в различных почвенно-климатических условиях.

Таблица 4

Индексы доступности калия, принятые для использования в различных почвах / регионах

Индекс доступности: экстрагент и название метода по автору	Область испытания / использования	Примечание (рекомендуемый метод, корреляция с выносом калия культурой, урожаем)	Литературный источник
0,0025M CaCl ₂ (по Карпинскому)	Основные пахотные почвы Западной Сибири	Хорошо коррелирует с урожайностью растений в многолетних полевых и вегетационных опытах	Якименко, 2003
1M NH ₄ OAc и Mehlich 3 ^{&}	Различные почвы штата Айова, США	Высокая корреляция между этими индексами доступности; индекс 1M NH ₄ OAc при естественной влажности почв лучше коррелирует с урожаем кукурузы и сои	Barbagelata, 2006
1M NH ₄ OAc	Почвы Северо-центрального региона США	Рекомендовано в качестве основного метода оценки обеспеченности почв калием в регионе	Warncke, Brown, 2011
1M NH ₄ OAc	Различные почвы штата Калифорния, США	Рекомендовано в качестве основного метода оценки обеспеченности почв калием в регионе	Allen et al., 1994
1M NH ₄ OAc	Различные почвы штата Северная Дакота, США	Наиболее высокая корреляция с урожаем зерна кукурузы	Breker, 2017
1M NH ₄ OAc	Любые почвы, США	Наиболее широко используемый метод	Knudsen et al., 1982
Mehlich-3	Alfisols и Inceptisols, Индия	Хорошо коррелирует с урожаем риса	Seth et al., 2018
1M NH ₄ OAc	Почвы центральной Индии	Рекомендовано в качестве основного метода оценки обеспеченности почв калием в регионе	Baghel, 2012
2M HNO ₃ и 0,2M NaTPB	Почвы рисовых полей, Китай	Пул К, извлекаемый обоими методами хорошо коррелирует с урожаем риса; высокая корреляция с индексом доступности при экстракции 1M NH ₄ OAc	Li et al., 2018
1M NH ₄ OAc	9 различных почв Австралии	Наиболее высокая корреляция с поглощением калия пшеницей и урожаем пшеницы	Zhang et al., 2017
0,5M NaHCO ₃ (pH 8,5) (по Colwell)	Почвы Австралии: от слабокислых до щелочных	Рекомендовано для широкого использования; в той же вытяжке определяется фосфор	Soil Test Interpretation Guide, 2019
1M NH ₄ OAc и 0,2M NaTPB [#]	14 различных почв Чехии	Наиболее высокая корреляция с урожаем многолетнего райграса; высокая корреляция между этими индексами доступности	Madaras, Koubová, 2015
1M NH ₄ OAc	36 различных почв Чехии	Наиболее высокая корреляция с урожаем ячменя	Matula, 2009
1M NH ₄ OAc	Различные почвы Нигерии	Наиболее высокая корреляция с урожаем сорго	Affinnih et al., 2014
1M NH ₄ OAc	110 почвенных разности, ЮАР	Наиболее высокая корреляция с другими 6 индексами доступности (Olsen, Ambic, Bray-2, 0.5M NH ₄ Cl, лимонная кислота и Mehlich-3)	Thompson, 1995
1M NH ₄ OAc	18 различных почв Таиланда	Наиболее высокая корреляция с поглощением калия просяной культурой	Darunsontaya et al., 2010

Примечание. * Ас – ацетил ($\text{CH}_3\text{CO}-$); & экстрагент Mehlich-3 включает смесь 0,2М CH_3COOH + 0,25М NH_4NO_3 + 0,015М NH_4F + 0,013М HNO_3 + 0,001М EDTA; # NaTPB – тетрафенилборат натрия

Таким образом, в большинстве самых разнообразных почвенно-климатических условиях, калий, экстрагируемый 1М ацетатом аммония, показывает наилучшую корреляцию с выносом элемента растениями, урожаем и отзывчивостью на внесение калийных удобрений, а также демонстрирует высокую корреляцию с другими индексами доступности калия, что дает основание принять этот индекс в качестве стандартного.

Сравнение двух индексов доступности калия для суглинистых почв южной части Западной и Средней Сибири

На примере нашей выборки почв было проведено сравнение стандартного индекса доступности калия – обменного калия, экстрагируемого раствором 1М NH_4OAc , и индекса доступности калия, определяемого при экстракции почвы раствором 0,1М MgSO_4 , которые ниже будут обозначаться как KAI_{Ac} и KAI_{Mg} , соответственно. В результате регрессионного анализа была установлена зависимость между этими индексами, хорошо описываемая простым уравнением линейной регрессии:

$$\text{KAI}_{\text{Ac}} = 64,7 + 2,227 \cdot \text{KAI}_{\text{Mg}} \quad (1)$$

с коэффициентами детерминации 0,88 и корреляции 0,94 (рис. 1.). Коэффициенты регрессии в уравнении были достоверны: вероятность ошибки P для обоих коэффициентов равна 0,0000.

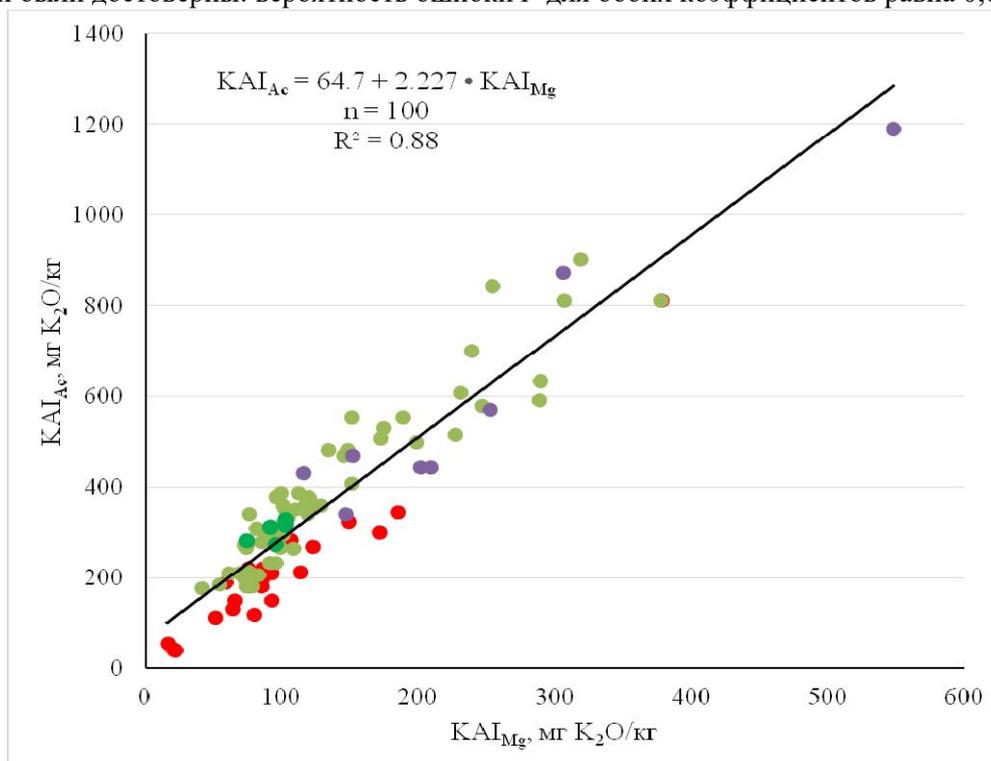


Рисунок 1. Сравнение индексов доступности калия KAI_{Ac} (экстрагент 1М NH_4OAc) и KAI_{Mg} (экстрагент 0,1М MgSO_4) для 100 почвенных разностей, включающих легко-, средне-, тяжелосуглинистые и легкосуглинистые почвы.

Красные точки соответствуют легкосуглинистым почвам, свето-зеленые – среднесуглинистым, фиолетовые – тяжелосуглинистым, ярко-зеленые – легкосуглинистым.

Различия (%) между фактическими значениями KAI_{Ac} и рассчитанными по формуле (1) существенно зависели от гранулометрического состава (табл. 5). Для легкосуглинистых почв эти различия в среднем достигали 43%, а для других, более тяжелых почв – лишь 3–5%. Такое значимое отличие между этими почвами позволяет предположить, что индекс доступности KAI_{Mg} можно использовать наряду со стандартным индексом доступности KAI_{Ac} для почв с гранулометрическим составом от среднесуглинистого до легкосуглинистого, но не для почв с большим содержанием песчаных фракций.

Таблица 5

Сравнение фактических и рассчитанных индексов доступности калия KAI_{Ac} (экстрагент 1М NH_4OAc), сгруппированных по гранулометрическому составу почв

Индекс доступности	Гранулометрический состав	n	Среднее арифметическое	Стандартная ошибка	Медиана
KAI_{Ac} , рассчитанные по уравнению (1)	B	28	276	28,5	244
	C	59	362	21,8	296
	D+E	13	475	80,1	390
Различия (%) между фактическими значениями KAI_{Ac} и рассчитанными по уравнению (1)	B	28	-43	8,0	-29
	C	59	5	1,9	10
	D+E	13	3	9,0	4
KAI_{Ac} , рассчитанные по уравнению (3)	C	59	384	21,7	322
	D+E	13	491	73,1	422
Различия (%) между фактическими значениями KAI_{Ac} и рассчитанными по уравнению (3)	C	59	-1	2,0	2
	D+E	13	-3	4,9	3

Примечание. Обозначения гранулометрического состава почв: **B** – легкосуглинистые, **C** – среднесуглинистые, **D** – тяжелосуглинистые и **E** – легкоглинистые почвы.

Факт влияния гранулометрического состава почв на оптимальный уровень обменного калия широко известен и описан в работах отечественных и зарубежных авторов (Якименко, 2003). В частности, гранулометрический состав предложено учитывать в градациях обеспеченности почв обменным калием (Якименко, Бойко, 2019), хотя в системе Агрохимической службы России до сих пор используется лишь одна шкала обеспеченности обменным калием для почв разного гранулометрического состава (Сычев, 2000). Наряду с определением обеспеченности почв обменным калием (экстрагент 1М NH_4OAc) была изучена возможность использования легкообменного калия (экстрагент 0,0025М $CaCl_2$) для целей почвенной диагностики (Якименко, Бойко, 2019) и сделан вывод, что этот пул калия является более универсальным показателем, независимым от гранулометрического состава почв, и что «сходные условия калийного питания растений на различных почвенных разновидностях отмечаются при близких значениях содержания в этих почвах легкообменного калия, тогда как уровни других калийных форм в них могут значительно различаться» (Якименко, Бойко, 2019).

Предлагаемый нами экстрагент 0,1М $MgSO_4$ при определении индекса доступности KAI_{Mg} является промежуточным по концентрации раствора между 0,0025М $CaCl_2$ и 1М NH_4OAc . Учитывая это, считаем обоснованным предположение, что степень влияния гранулометрического состава на содержание доступного растениям калия в почвах снижается в следующем ряду соответствующих индексов доступности экстрагирующих растворов: 1М $NH_4OAc > 0,1М MgSO_4 > 0,0025М CaCl_2$. Следовательно, индекс доступности KAI_{Mg} должен меньше зависеть от гранулометрического состава почв, по сравнению со стандартным индексом доступности KAI_{Ac} .

Исключив легкосуглинистые почвы из нашей выборки, мы получили следующее уравнение линейной регрессии между двумя индексами доступности:

$$KAI_{Ac} = 104,1 + 2,124 \cdot KAI_{Mg} \quad (2)$$

с коэффициентом детерминации, равным 0,90, и коэффициентом корреляции – 0,95.

Несколько лучше описывает соотношение между двумя индексами доступности степенное уравнение:

$$KAI_{Ac} = 8,108 \cdot KAI_{Mg}^{0,793} \quad (3)$$

с коэффициентами детерминации 0,92 и корреляции 0,96 (рис. 2). Коэффициенты регрессии для уравнений (2) и (3) были достоверны: вероятность ошибки P для обоих коэффициентов равна 0,0000.

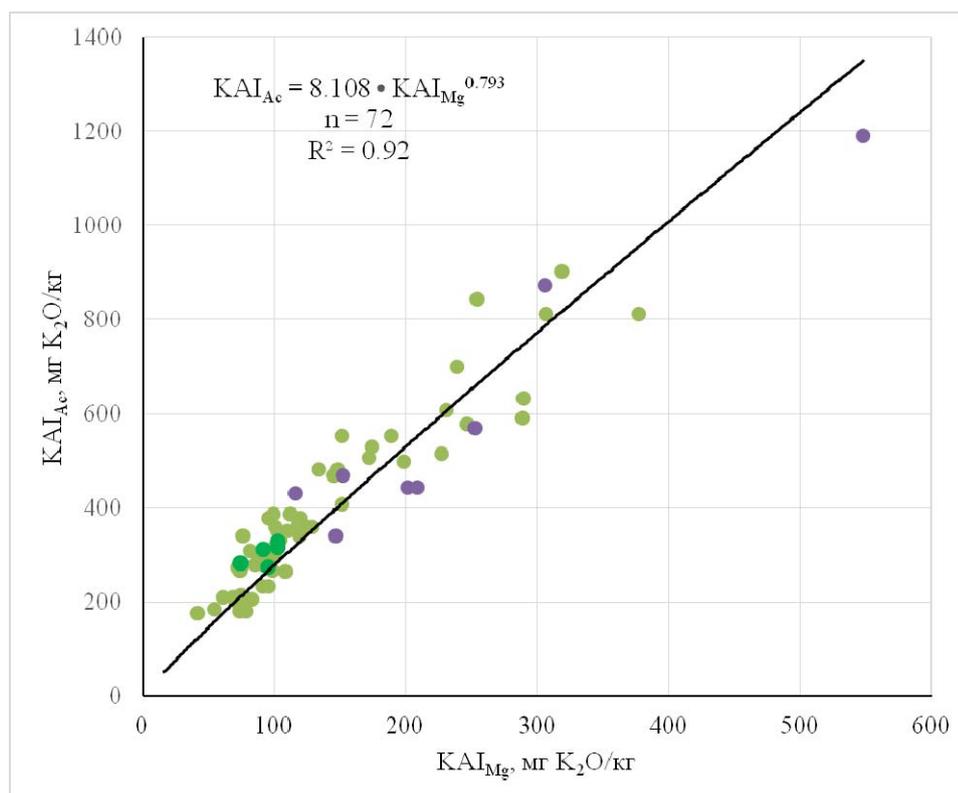


Рисунок 2. Сравнение индексов доступности калия KAI_{Ac} (экстрагент 1М NH_4OAc) и KAI_{Mg} (экстрагент 0,1М $MgSO_4$) для 72 почвенных разностей, включающих средне-, тяжелосуглинистые и легкоглинистые почвы.

Светло-зеленые точки соответствуют среднесуглинистым почвам, фиолетовые – тяжелосуглинистым, ярко-зеленые – легкоглинистым.

На основании уравнения (3) были рассчитаны индексы доступности KAI_{Ac} . Средние величины этих индексов были ближе к фактическим значениям (как средние арифметические, так и медианы) и, соответственно, различия между расчетными и фактическими значениями были меньше, по сравнению с KAI_{Ac} , рассчитанными по уравнению (1). Получено, что для 81% обследованных почвенных разностей различия между расчетными по уравнению (3) и фактическими значениями KAI_{Ac} составили не более 20%, а для 97% различия не превышали 30%.

Таким образом, считаем обоснованным, что для почв с гранулометрическим составом от среднесуглинистого до легкоглинистого, уравнение (3) можно использовать для расчета индекса доступности калия KAI_{Ac} на основании определения индекса доступности KAI_{Mg} .

Отметим также, что публикаций по применению предложенного нами 0,1М раствора $MgSO_4$ для экстракции каких-либо форм калия нами в литературе не обнаружено. В упомянутой выше монографии (Прокошев, Дерюгин, 2000) приводится лишь два из ~100 методов, которые для экстракции калия используют соли, содержащие магний: 0,03% $MgSO_4$ (Дашевский и др., 1955: цит. по: Прокошев, Дерюгин, 2000) и 0,25 М $Mg(CH_3COO)_2$ (Conyers, McLean, 1969: цит. по: Прокошев, Дерюгин, 2000).

Преимущества определения индексов доступности калия потенциометрическим способом с использованием ионно-селективных электродов (ИСЭ) по сравнению с пламенной фотометрией (ПФ) или атомно-абсорбционной спектроскопией (ААС)

Классическое определение обменного калия по ГОСТ 26210-91 предусматривает определение калия в экстракте на ПФ или ААС. Стоимость ПФ в настоящее время составляет от 200 тыс. руб. Поскольку ПФ имеет ряд ограничений (по количеству определяемых элементов, сравнительно низкая чувствительность и пр.), большинство аналитических учреждений предпочитают приобретать ААС. Стоимость последних на порядок выше, чем ПФ, и начинается от 2 млн руб. Оба типа приборов требуют относительно дорогостоящих расходных материалов. Кроме этого, запуск и эксплуатация этих приборов (периодическая поверка, текущий уход) требует квалифицированного (и высокооплачиваемого) персонала.

Применение предлагаемого нами метода экономически гораздо выгоднее. Требуется лишь иономер или рН-метр с функцией иономера, стоимость которого варьирует в пределах 25–35 тыс. руб. Более того, дополнительного приобретения этого оборудования в подавляющем большинстве лабораторий не требуется, поскольку для проведения анализа можно использовать имеющиеся в лаборатории иономеры/рН-метры, применяемые для проведения самых простых рутинных анализов (нитраты, рН, электропроводность). Потенциометрия, в целом, гораздо более дешевый (как сами приборы, так и расходные материалы) и простой в аппаратурном исполнении метод, менее требовательный к квалификации персонала, который наряду с этим позволяет проводить измерения в полевых условиях. Таким образом, для анализа индекса доступности калия по предлагаемому методу необходимо лишь приобретение твердоконтактного калий-селективного электрода и электрода сравнения. Стоимость этих двух электродов в сумме составляет менее 5 тыс. руб. При этом сколько-либо дорогостоящих расходных материалов и реактивов вообще не требуется.

Определение почвенного калия в экстракте 1М NH₄OAc потенциометрическим способом невозможно, так как, во-первых, катион аммония, имеющий наиболее близкий ионный радиус с катионом калия, оказывает гораздо большее мешающее действие (снижающее селективность) по сравнению с двухвалентным катионом магния, а во-вторых, общая концентрация раствора при определении KAI_{Mg} в 10 раз меньше, чем при определении KAI_{Ac}.

Таким образом, стоимость оборудования (даже без учета расходов на текущее обслуживание), необходимого для анализа почв на доступный калий в 7–60 раз меньше при определении KAI_{Mg}, по сравнению с KAI_{Ac}.

Различие в затратах на определение обменного/подвижного калия (по ГОСТам) и KAI_{Mg} можно также продемонстрировать на примере расценок за анализы, осуществляемые различными сертифицированными лабораториями РФ. Учитывая, что предлагаемый нами метод определения KAI_{Mg} потенциометрическим способом включает те же операции, что и при определении солевого рН, и мало отличается по время-, ресурс- и трудозатратам, мы провели сравнение стоимости выполнения анализов почвенных образцов на солевой рН и обменный/подвижный калий с анализом элемента в экстракте с помощью ПФ или ААС. В выборку вошли некоторые областные агрохимцентры, центры лабораторного анализа и технических измерений, межобластные ветеринарные лаборатории, референтные центры Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору. Несмотря на значительное расхождение в расценках за анализы, предлагаемые различными аналитическими центрами и лабораториями, можно сделать вывод, что предлагаемый нами метод определения доступного калия будет для заказчика (землепользователя) в 4–6 раз дешевле, чем по ГОСТ 26210-91.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ 100 образцов агрочерноземов и агротемносерых почв Западной и Средней Сибири на определение индексов доступности калия позволил сделать следующие выводы.

Индекс доступности калия KAI_{Mg} (экстрагент 0,1М MgSO₄) может быть использован наряду со стандартным индексом доступности KAI_{Ac} (экстрагент 1М NH₄OAc) для почв с гранулометрическим составом от среднесуглинистых до легкоглинистых. С высокой степенью достоверности ($R^2 = 0,92$ и $R = 0,96$) пересчет KAI_{Mg} в KAI_{Ac} возможен по формуле:

$$KAI_{Ac} = 8,108 \cdot KAI_{Mg}^{0,793}$$

Отклонения расчетных значений индексов доступности от фактических не превышали 20% для 81% обследованных почв и практически для всех почв (97%) укладывались в интервал 30%.

Включенные в выборку средне-, тяжелосуглинистые и легкоглинистые агрочерноземы и агротемносерые почвы составляют основу пахотного фонда почв Западной и Средней Сибири. Поэтому расширение проведения диагностики калийного питания растений в этих почвах имеет большое практическое значение. Предложенный метод определения индекса доступности при экстракции раствором 0,1М MgSO₄ обладает значительным преимуществом по сравнению с официально рекомендуемыми (ГОСТы) методами определения KAI_{Ac}, за счет снижения стоимости этого анализа, так как в первом случае анализ калия в экстрагенте выполняется потенциометрическим способом с использованием ИСЭ, а во втором – на ПФ или ААС. В результате стоимость оборудования, необходимого для анализа калия (даже без учета расходов на

текущее обслуживание) в 7-60 раз меньше при определении KAI_{Mg} , по сравнению с KAI_{Ac} . Это находит свое отражение в расценках за анализы: определение индекса доступности калия KAI_{Mg} в одном почвенном образце обойдется землепользователю в 4-6 раз дешевле, чем KAI_{Ac} .

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН в рамках программы с № государственной регистрации АААА-А17-117030110078-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ГОСТ 26210-91 Почвы*. Определение обменного калия по методу Масловой. Москва: Издательство стандартов. 1992. 6 с.
2. *ГОСТ 26207-91 Почвы*. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1992. 9 с.
3. *ГОСТ 26204-91 Почвы*. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1992. 9 с.
4. *ГОСТ 26205-91 Почвы*. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1992. 11 с.
5. *Классификация и диагностика почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
6. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. *Калий и калийные удобрения*. Москва: Ледум. 2000. 185 с.
7. Сорокин О.Д. *Прикладная статистика на компьютере, 2-е издание*. Новосибирск. 2012. 282 с.
8. Сычев В.Г. Возможности совершенствования градаций содержания «доступного» калия // *Агрохимический вестник*. 2000. № 5. С. 30-34.
9. Якименко В.Н. *Калий в агроценозах Западной Сибири*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
10. Якименко В.Н. Формы калия в почве и методы их определения // *Почвы и окружающая среда*. 2018. Том 1. №1. С. 25-31. doi: [10.31251/pos.v1i1.5](https://doi.org/10.31251/pos.v1i1.5)
11. Якименко В.Н., Бойко В.Н. Диагностика калийного состояния почв лесостепи Западной Сибири // *Почвы и окружающая среда*. 2019. Том 2. № 2. с74. doi: [10.31251/pos.v2i2.74](https://doi.org/10.31251/pos.v2i2.74)
12. Affinnih K.O., Salawu I.S., Isah A.S. Methods of Available Potassium Assessment in Selected Soils of Kwara State, Nigeria // *Agrosearch*. 2014. Vol.14(1). P. 76-87. doi: [10.4314/agrosh.v14i1.8](https://doi.org/10.4314/agrosh.v14i1.8)
13. Allen E.R., Johnson G.V., Unmh L.G. *Current approaches to soil testing methods: Problems and solutions*. In book: Havlin J.L., Jacobsen J.S. (Eds.), *Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendation*. SSSA Special Publications, vol. 40. Soil Science Society of America, Madison, WI: USA, 1994. P. 203–220.
14. Baghel S.S. *Determination of potassium in soil and plant* // CAFT on Advances in Agrotechnologies for improving soil, plant, atmosphere system, 2012. P. 23-25.
15. Barbagelata P.A. *Evaluation of potassium soil tests and methods for mapping soil fertility properties in Iowa corn and soybean fields* Diss. of PhD Sci. Iowa State University Ames, Iowa, USA, 2006. 117 p.
16. Breker J.S. *Recalibration of soil potassium test for corn in North Dakota*. Diss. of Master Sci. Fargo, North Dakota, USA, 2017. 170 p.
17. Cox F.R. *Current phosphorous availability indices: characteristics and shortcomings*. In book: Havlin J.L., Jacobsen J.S. (Eds.), *Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendation*. SSSA Special Publications, vol. 40. Soil Science Society of America, Madison, WI: USA, 1994. P. 101 – 113.
18. Darunsontaya T., Suddhiprakarn A., Kheoruenromne I., Gilkes R.J. A comparison of extraction methods to assess potassium availability for Thai upland soils. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1–6 August 2010, Brisbane, Australia*. Published on DVD. [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/profile/R_Gilkes/publication/265194501_A_comparison_of_extraction_methods_to_assess_potassium_availability_for_Thai_upland_soils/links/548e58f50cf2d1800d8423fe/A-comparison-of-extraction-methods-to-assess-potassium-availability-for-Thai-upland-soils.pdf (appeal date 08/23/2020)
19. Dhillon S.K., Sidhu P.S. and Bansal R.C. Release of potassium from some benchmark soils of India // *Journal of Soil Science*. 1989. Vol. 40. P. 783-797. doi: [10.1111/j.1365-2389.1989.tb01318.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1989.tb01318.x)
20. Haby V.A., Russelle M.P., Skogley E.O. *Testing soils for potassium, calcium and magnesium*. // Westerman R.L. (ed.) *Soil Testing and Plant Analysis*. Madison, WI: SSSA, 1990. P. 181–227.
21. *IUSS Working Group, World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. 2015. 192 p.
22. Knudsen D., Peterson G.A. and Pratt P.F. *Lithium, sodium and potassium*. In book: *Methods of Soil Analysis, Agronomy 9, Part 2, 2nd ed.* Eds AL Page, RH Miller & DR Keeney. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 1982. P. 225–246.
23. Kowalenko C.G., Ross G.J. Studies on the dynamics of “recently” clay-fixed NH_4 using ^{15}N // *Canadian Journal of Soil Science*. 1980. Vol. 60. P. 61–70. doi: [10.4141/cjss80-007](https://doi.org/10.4141/cjss80-007)

24. Li X.K., Zhang Y.Y., Wang W.N., Khan M.R., Cong R.H., Lu J.W. Establishing grading indices of available soil potassium on paddy soils in Hubei province, China // *Scientific Reports*. 2018. Vol.8. e1638. doi:10.1038/s41598-018-33802-3
25. Madaras M., Koubová M. Potassium availability and soil extraction tests in agricultural soils with low exchangeable potassium content // *Plant, Soil and Environment*. 2015. Vol. 61. No. 5. P. 234–239. doi: 10.17221/171/2015-PSE
26. Matula J. A relationship between multi-nutrient soil tests (Mehlich 3, ammonium acetate, and water extraction) and bioavailability of nutrients from soils for barley // *Plant, Soil and Environment*. 2009. Vol. 55, No. 4. P. 173–180. doi: 10.17221/29/2009-PSE
27. Nommik H., Vahtras. K. *Chapter 4. Retention and Fixation of Ammonium and Ammonia in Soils*. In book: Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy Monograph 22. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, WI, USA, 1982. P. 123-171.
28. Nieder R., Benbi D.K., Scherer H.W. Fixation and defixation of ammonium in soils: a review // *Biology and Fertility of Soils*. 2011. Vol.47. P. 1–14. doi: 10.1007/s00374-010-0506-4
29. Seth A., Sarkar D., Masto R.E., Batyabal K., Saha S., Murmu S., Das R., Padhan D., Mandal, B. Critical limits of Mehlich 3 extractable phosphorous, potassium, sulfur, boron and zinc in soils for nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2018. Vol.18. No. 2. P. 512-523. doi: 10.4067/S0718-95162018005001601
30. Soil Test Interpretation Guide // APAL Agricultural Laboratory, 2019. URL: <https://www.apal.com.au/SoilTesting.aspx>
31. Thompson G.R. A comparison of methods used for the extraction of K in soils of the Western Cape // *South African Journal of Plant and Soil*. 1995. Vol. 12 (1). P. 20-26. doi: 10.1080/02571862.1995.10634329
32. Zhang Y., Nachimuthu G., Mason S., McLaughlin M.J., McNeill A., Bell M.J. Comparison of soil analytical methods for estimating wheat potassium fertilizer requirements in response to contrasting plant K demand in the glasshouse // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. e11391. doi:10.1038/s41598-017-11681-4
33. Warncke D., Brown J.R. *Chapter 7. Potassium and other basic cations* // *Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region*. 2011. No221. P. 31-33.

Поступила в редакцию 19.09.2020

Принята 19.10.2020

Опубликована 15.11.2020

Сведения об авторах:

Барсуков Павел Анатольевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); barsukov@issa-siberia.ru

Смоленцев Николай Борисович – ведущий инженер лаборатории биогеохимии почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); n-smolentsev@issa-siberia.ru

Русалимова Ольга Александровна – младший научный сотрудник лаборатории агрохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); rusalimova@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



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

ESTIMATION OF PLANT AVAILABLE POTASSIUM IN LOAMY SOILS BY EXTRACTION WITH MAGNESIUM SULFATE SOLUTION

© 2020 P.A. Barsukov , N.B. Smolentsev, O.A. Rusalimova 

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: barsukov@issa-siberia.ru, n-smolentsev@issa-siberia.ru, rusalimova@issa-siberia.ru

The aim of the study. To find a method to estimate plant available potassium for soil testing that does not require expensive flame photometry or atomic absorption spectrometry.

Location and time of the study. Southern parts of West and Central Siberia, 2016-2019.

Methodology. Comparison the potassium pool, extractable by 0,1M MgSO₄ solution, with exchangeable potassium, extractable by 1M NH₄OAc solution (according to GOST 26210-91) by regression analysis of the contents in 100 soil samples of arable soils (Luvic, Haplic and Calcic Chernozems, and Luvic Phaeozems) with different granulometric composition.

Results. Exchangeable potassium showed the best correlation with the uptake of the element by plants and with yield in a variety of soil and climatic conditions. It was found that the relationship between potassium availability indices KAI_{Ac} (potassium extracted by 1M NH_4OAc) and KAI_{Mg} (potassium extracted by 0,1M $MgSO_4$) was satisfactorily described ($R^2 = 0.88$) by a simple linear function for soils with texture classes from sandy loam to sandy/silty clay and well described ($R^2 = 0.92$) by a power function for silt loam, clay loam and sandy/silty clay. In 81% of the soils surveyed the difference between the calculated (according to the power equation) and actual KAI_{Ac} values was no more than 20%, and for 97% of the studied soils it did not exceed 30%. The cost of analytical equipment required for potassium analysis for soil testing is 7–60 times lower for KAI_{Mg} determination as compared with KAI_{Ac} .

Conclusions. The KAI_{Mg} potassium availability index can be used alongside the standard KAI_{Ac} availability index for soils with soil texture classes from silt loam to sandy/silty clay. Conversion of KAI_{Mg} into KAI_{Ac} can be made by the following formula: $KAI_{Ac} = 8,108 \cdot KAI_{Mg}^{0,793}$.

Key words: potassium; soil testing; availability index; method of determination; potassium fertilizer; soil texture; particle size distribution; Chernozems; Phaeozems; West Siberia; Central Siberia

How to cite: Barsukov P.A., Smolentsev N.B., Rusalimova O.A. Estimation of plant available potassium in loamy soils by extraction with magnesium sulfate solution // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(1). e114. doi: [10.31251/pos.v3i1.114](https://doi.org/10.31251/pos.v3i1.114) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. GOST 26210-91 Soils. Determination of exchangeable potassium by Maslova method. Moscow: Standard Publishing House, 1992, 6 p. (in Russian)
2. GOST 26207-91 Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Chirikov method in CINAO modification. Moscow: Standard Publishing House, 1992, 9 p. (in Russian)
3. GOST 26204-91 Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Kirsanov method in CINAO modification. Moscow: Standard Publishing House, 1992, 9 p. (in Russian)
4. GOST 26205-91 Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by Machigin method in CINAO modification. Moscow: Standard Publishing House, 1992, 11 p. (in Russian)
5. *Soil classification and diagnostic of Russia* / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004, 342 p. (in Russian)
6. Prokoshchev V.V., Deryugin I.P. *Potassium and potassium fertilizers*. Moscow, Ledum Publ., 2000, 185 p. (in Russian)
7. Sorokin O.D. *Applied statistics on a computer, 2nd edition*. Novosibirsk, 2012, 82 p. (in Russian)
8. Sychev V.G. Possibilities to improve graduations of "available" potassium content, *Agrochemical Bulletin*, 2000, № 5, p. 30-34. (in Russian)
9. Yakimenko V.N. *Potassium in agrocenoses of West Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 2003, 231 p. (in Russian)
10. Yakimenko V.N. Forms of potassium and methods of its determination, *The Journal of Soils and Environment*, 2018, No. 1(1), p. 25-31. doi: [10.31251/pos.v1i1.5](https://doi.org/10.31251/pos.v1i1.5) (in Russian)
11. Yakimenko V.N., Boyko V.N. Diagnostics of potassium status of soils in the forest-steppe of West Siberia, *The Journal of Soils and Environment*, 2019, Vol. 2, No. 2, e74. doi: [10.31251/pos.v2i2.74](https://doi.org/10.31251/pos.v2i2.74)
12. Affinnih K.O., Salawu I.S., Isah A.S. Methods of Available Potassium Assessment in Selected Soils of Kwara State, Nigeria, *Agrosearch*, 2014, Vol.14(1), p. 76-87. doi: [10.4314/agrosh.v14i1.8](https://doi.org/10.4314/agrosh.v14i1.8)
13. Allen E.R., Johnson G.V., Unmh L.G. *Current approaches to soil testing methods: Problems and solutions*. In book: Havlin J.L., Jacobsen J.S. (Eds.), *Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendation*. SSSA Special Publications, vol. 40. Soil Science Society of America, Madison, WI: USA, 1994, p. 203–20.
14. Baghel S.S. *Determination of potassium in soil and plant*, CAFT on Advances in Agrotechnologies for improving soil, plant, atmosphere system, 2012, p. 23-25.
15. Barbagelata P.A. *Evaluation of potassium soil tests and methods for mapping soil fertility properties in Iowa corn and soybean fields* Diss. of PhD Sci. Iowa State University Ames, Iowa, USA, 2006, 117 p.
16. Breker J.S. *Recalibration of soil potassium test for corn in North Dakota*. Diss. of Master Sci. Fargo, North Dakota, USA, 2017, 170 p.
17. Cox F.R. *Current phosphorous availability indices: characteristics and shortcomings*. In book: Havlin J.L., Jacobsen J.S. (Eds.), *Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendation*. SSSA Special Publications, vol. 40. Soil Science Society of America, Madison, WI: USA, 1994, p. 101 – 113.
18. Darunsontaya T., Suddhiprakarn A., Kheoruenromne I., Gilkes R.J. A comparison of extraction methods to assess potassium availability for Thai upland soils. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1–6 August 2010, Brisbane, Australia*. Published on DVD. [Electronic resource]. URL: https://www.researchgate.net/profile/R_Gilkes/publication/265194501_A_comparison_of_extraction_methods_to_assess_potassium_availability_for_Thai_upland_soils/links/548e58f50cf2d1800d8423fe/A-comparison-of-extraction-methods-to-assess-potassium-availability-for-Thai-upland-soils.pdf (appeal date 08/23/2020)

19. Dhillon S.K., Sidhu P.S. and Bansal R.C. Release of potassium from some benchmark soils of India, *Journal of Soil Science*, 1989, Vol. 40, p. 783-797. doi: 10.1111/j.1365-2389.1989.tb01318.x
20. Haby V.A., Russelle M.P., Skogley E.O. *Testing soils for potassium, calcium and magnesium*. In book: Westerman R.L. (ed.) *Soil Testing and Plant Analysis*. Madison, WI: SSSA, 1990, p. 181–227.
21. *IUSS Working Group, World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. 2015. 192 p.
22. Knudsen D., Peterson G.A. and Pratt P.F. *Lithium, sodium and potassium*. In book: *Methods of Soil Analysis, Agronomy 9, Part 2, 2nd ed.* Eds AL Page, RH Miller & DR Keeney. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 1982, p. 225–246.
23. Kowalenko C.G., Ross G.J. Studies on the dynamics of “recently” clay-fixed NH₄ using ¹⁵N, *Canad. J. of Soil Sci.* 1980, Vol.60, p. 61–70. doi: 10.4141/cjss80-007
24. Li X.K., Zhang Y.Y., Wang W.N., Khan M.R., Cong R.H., Lu J.W. Establishing grading indices of available soil potassium on paddy soils in Hubei province, China, *Scientific Reports*, 2018, Vol.8, e1638. doi:10.1038/s41598-018-33802-3
25. Madaras M., Koubová M. Potassium availability and soil extraction tests in agricultural soils with low exchangeable potassium content, *Plant, Soil and Environment*, 2015, Vol. 61, No. 5. p. 234–239. doi: 10.17221/171/2015-PSE
26. Matula J. A relationship between multi-nutrient soil tests (Mehlich 3, ammonium acetate, and water extraction) and bioavailability of nutrients from soils for barley, *Plant, Soil and Environment*, 2009, Vol. 55, No. 4, p. 173–180. doi: 10.17221/29/2009-PSE
27. Nommik H., Vahtras. K. *Chapter 4. Retention and Fixation of Ammonium and Ammonia in Soils*. In book: *Nitrogen in Agricultural Soils*. Agronomy Monograph 22. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, WI, USA, 1982, p. 123-171.
28. Nieder R., Benbi D.K., Scherer H.W. Fixation and defixation of ammonium in soils: a review, *Biology and Fertility of Soil*, 2011, Vol. 47, p. 1–14. doi: 10.1007/s00374-010-0506-4
29. Seth A., Sarkar D., Mastro R.E., Batyabal K., Saha S., Murmu S., Das R., Padhan D., Mandal, B. Critical limits of Mehlich 3 extractable phosphorous, potassium, sulfur, boron and zinc in soils for nutrition of rice (*Oryza sativa* L.), *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2018, Vol.18, No. 2, p. 512-523. doi: 10.4067/S0718-95162018005001601
30. *Soil Test Interpretation Guide*, APAL Agricultural Laboratory, 2019.
31. Thompson G.R. A comparison of methods used for the extraction of K in soils of the Western Cape, *South African Journal of Plant and Soil*, 1995, Vol. 12 (1), p. 20-26. doi: 10.1080/02571862.1995.10634329
32. Zhang Y., Nachimuthu G., Mason S., McLaughlin M.J., McNeill A., Bell M.J. Comparison of soil analytical methods for estimating wheat potassium fertilizer requirements in response to contrasting plant K demand in the glasshouse, *Scientific Reports*, 2017, Vol. 7, e11391. doi:10.1038/s41598-017-11681-4
33. Warncke D., Brown J.R. *Chapter 7. Potassium and other basic cations*. In book: *Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region*, 2011, No221, p. 31-33.

Received 19 September 2020

Accepted 19 October 2020

Published 15 November 2020

About the authors:

Barsukov Pavel A.– Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); barsukov@issa-siberia.ru

Smolentsev Nikolai B.– Principal Engineer in the Laboratory of Soil Biogeochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); n-smolentsev@issa-siberia.ru

Rusalimova Olga A.– Junior Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); rusalimova@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



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