

УДК 631.81:631.559:633.491

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ КАЛИЙСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ НА КАЧЕСТВО И УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ[§]

© 2024 г. О. В. Броварова^{1,*}, Д. А. Шушков²¹Институт агробиотехнологий им. А.В. Журавского Коми НЦ УрО РАН
167023 Сыктывкар, ул. Ручейная, 27, Россия²Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
167982 Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, Россия

*E-mail: olbrov@mail.ru

Почвы Республики Коми характеризуются как дерново-подзолистые. Известно, что при сельскохозяйственном возделывании таким почвам необходимо внесение различных минеральных и органических удобрений, известкование, углубление пахотного слоя, борьба с эрозией. Почвы региона обеднены калием, часть которого выносят сельскохозяйственные культуры, поэтому калийные удобрения, где калий находится в доступной форме, являются одними из самых востребованных в сельском хозяйстве. В данной работе приведены результаты исследования вещественного состава и текстурных характеристик аналцимсодержащих алевролитов, калиевых щелочных сиенитов и кородревесной золы и возможного их использования в качестве калийных добавок для улучшения продуктивности картофеля.

Ключевые слова: картофель, калийсодержащие минеральные добавки, аналцим, цеолиты, иллит, смектит, глинистые минералы, санидин, сиениты, кородревесная зола.

DOI: 10.31857/S0002188124060067, **EDN:** CXUXOY

ВВЕДЕНИЕ

Используемые в сельском хозяйстве калийные удобрения – это дополнительный минеральный источник калия как одного из 3-х необходимых макроэлементов в питании растений. К питательным элементам, необходимым для нормального развития картофеля, относят азот, фосфор, калий, магний, железо, сера, бор, марганец и некоторые другие. Каждый элемент выполняет в жизни растения определенную роль и, в случае нехватки одного из них, нарушается нормальное развитие растений.

Среди большого количества элементов, которые принимают участие в почвенно-геохимических процессах, калию отводят особую и важную роль. Поведение элемента в почвах отражает как динамические, так и статические изменения в почвообразовании. Также калий является непосредственным участником почвенных и биологических процессов, поэтому его поведение в большей степени

определяет качество и уровень состояния экосистем [1]. Калий относят к элементам, способным накапливаться в живых организмах в большем количестве, чем в окружающей среде (биофильные элементы), и их участие в круговороте веществ определяется степенью захвата их живыми организмами [2, 3].

На сегодняшний день достаточно активно исследуют природные и экологически чистые источники калия, используемые в качестве удобрений для повышения урожайности и продуктивности сельскохозяйственных культур и снижения рисков при их удобрении [4–6].

Минеральные добавки, содержащие в своем составе калий, имеют ряд преимуществ по сравнению с применяемыми калийными солями [4]. Применение калийсодержащих минеральных добавок не загрязняет грунтовые воды различными анионами, не вызывает засоления почв. Например, глауконитовые породы, также рассматриваемые в качестве источника калия, содержат много микроэлементов, включая медь, цинк, железо, марганец, бор, селен, кобальт, молибден и др., которые являются незаменимыми для роста и развития растений [4, 7].

[§] Работа выполнена в рамках государственных заданий НИОКТР – 1021051101666-2-1.5.1; FUUU-202-0059 и НИОКТР 123033000036-5; FUUU-2023-0001.

Благодаря однородной гранулированной текстуре глауконитовые породы улучшают физические свойства почв, их пористость и проницаемость. Они характеризуются высокой сорбционной способностью и повышают влагоудерживающую способность почв. Многие исследователи описывают положительный эффект при использовании глауконита на рост сельскохозяйственных культур [4, 5, 8–10].

Кроме этого калийсодержащие минеральные добавки рассматривают как удобрения с пролонгированным высвобождением калия, что позволяет обеспечить растения необходимыми питательными микро- и макроэлементами в процессе вегетации и поддерживать низкий уровень содержания химических веществ в почвах сельскохозяйственного назначения [11]. Изучение химического и минерального составов калийсодержащих минеральных добавок в большей степени будет определять возможность их использования в качестве минеральных удобрений и дополнительного источника калия [12–14].

Одним из наиболее важных элементов питания при возделывании картофеля является калий. Калий, в отличие от азота, фосфора и серы, которые входят в состав разнообразных органических соединений, находится в ионной форме. Обеспеченность калием растений связана с интенсивностью фотосинтеза. Калий оказывает большое влияние на углеводный обмен, положительно влияет на урожайность и качество картофеля. Он необходим для образования и формирования клубней, лучшего передвижения крахмала из листьев в растущие клубни. В ботве картофеля калия содержится больше, чем в клубнях, и этот калий придает растению устойчивость к заморозкам.

Цель работы – изучение влияния добавок минерального сырья и промышленных отходов Республики Коми с различным содержанием K_2O на урожайность и качество клубней картофеля.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования служили аналцим-содержащие алевролиты, калиевые щелочные сиениты, кородревесная зола (далее по тексту – минеральные добавки). Аналцимсодержащие алевролиты были отобраны с проявления “Весляна” на Западном Притиманье, калиевые щелочные сиениты – из дайки в верховьях р. Верхняя Ворыква на Среднем Тимане (Республика Коми). Кородревесная зола, образующаяся при сжигании коры деревьев и древесины на ТЭЦ, предоставлена АО “Монди СЛПК” (г. Сыктывкар) и является техногенным отходом. По данным [15], в 2010 г. объем золы составил >5000 т.

Химический состав минеральных добавок определяли с помощью волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра Lab Center XRF-1800, Shimadzu с учетом потерь при прокаливании.

Минеральный состав добавок исследовали методом рентгеновской дифракции на дифрактометре Shimadzu XRD6000 (излучение $CuK\alpha$, Ni фильтр, 30 кВ, 30 мА). Порошковую пробу снимали в диапазоне $2-65^\circ 2\theta$ со скоростью $1^\circ/\text{мин}$ и шагом сканирования $2\theta 0.05^\circ$. Фазовый состав глинистой фракции определяли методом рентгеновской дифракции ориентированных образцов, подвергнутых стандартным диагностическим обработкам. Диагностику и количественное определение минерального состава проводили методом Ритвельда с помощью программы Profex 5.1.0 [6].

Удельную площадь поверхности, объем микро- и мезопор, общий объем пор определяли методом низкотемпературной физической сорбции азота с помощью анализатора площади поверхности и размера пор NOVA 1200e, Quantachrome при температуре -196°C с предварительной дегазацией при 350°C в вакууме в течение 2 ч. Удельную площадь поверхности рассчитывали методом ВЕТ, объем мезопор – методом ВЖН, объем микропор – методом Дубинина–Астахова.

Испытания минеральных добавок проводили на опытных полях Института агробиотехнологий им. А.В. Журавского ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в соответствии с методическими указаниями [16]. Схема посадки – 0.7×0.3 м. Площадь учетной делянки – 5.25 м^2 , повторность опыта – четырехкратная. Минеральные добавки крупностью 1.0 мм вносили вручную, непосредственно при посадке картофеля, в каждую лунку один раз за все время вегетации. В качестве сельскохозяйственной культуры был выбран картофель сорта Невский. Масса добавок составляла 5 г/растение. Урожайность картофеля определяли на 65- и 85-е сут.

Агрохимические показатели почвы определяли в соответствии с ГОСТами и методиками, используемыми в химии почв: рН водной и солевых вытяжек – ионометрическим методом по ГОСТ 26483-85, содержание гумуса – по методу Тюрина в модификации Симакова [17], гидролитическую кислотность – по ГОСТ 26212-91, содержание подвижных форм фосфора и калия – по ГОСТ 54650-2011, обменных катионов кальция и магния – по ГОСТ 26487-85.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика минеральных добавок. По данным рентгенофлуоресцентного анализа (табл. 1),

содержание K_2O в анализимсодержащем алевролите составляло ≈ 2 масс. %.

Методом рентгендифрактометрического анализа диагностированы кварц, анализим, глинистые минералы, минералы полевых шпатов, гетит (рис. 1).

Глинистые минералы представлены слабоупорядоченным иллит/сметитом с различным содержанием разбухающих слоев и гидратированным иллитом [18]. Содержание анализима в породе составляло 21, глинистых минералов – 29%. Калий находился в структуре глинистых минералов вместе с катионами Na^+ и Ca^{2+} , располагающимися в межслоевом промежутке, и был способен к эквивалентному обратимому обмену с другими катионами.

Удельная площадь поверхности анализимсодержащего алевролита составила $45.6 \text{ м}^2/\text{г}$ (табл. 2).

Изотерма адсорбции–десорбции азота, представленная на рис. 2а, относится к IV(a) типу согласно классификации IUPAC [19].

Она характеризуется наличием петли гистерезиса и является типичной для мезопористых сорбентов. В области низких давлений на адсорбционной кривой наблюдают резкий подъем, свидетельствующий о наличии в образце микропор ($< 2 \text{ нм}$). Подъем кривой адсорбции при относительном давлении, близком к 1, указывает на присутствие макропор. Петлю гистерезиса можно отнести к типам H3 и H4, поскольку в образце присутствуют и глинистые минералы, и цеолиты.

Сиениты, согласно [19, 20], сложены калиевым полевым шпатом, содержание которого составляло

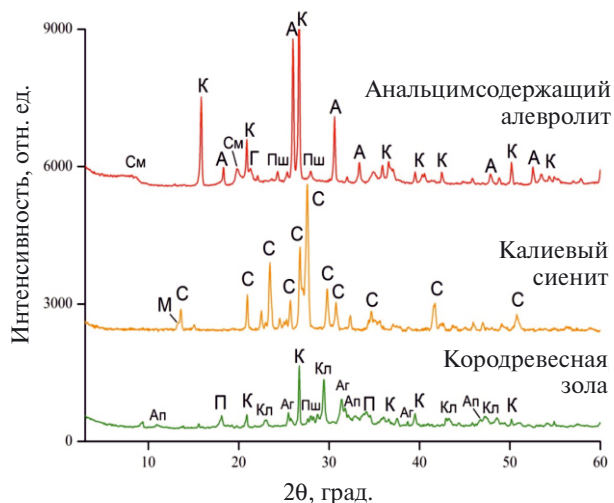


Рис. 1. Дифрактограммы анализимсодержащего алевролита, калиевого сиенита и кородревесной золы. К – кварц, А – анализим, Г – гетит, Пш – минералы полевых шпатов, См – смешанослойные глинистые минералы, М – морденит, С – санидин, Ап – апатит, Кк – кальцит, П – портландит, Аг – ангидрит.

до 90%. По данным рентгеновской дифракции, калиевый полевой шпат был моноклинным, слабоупорядоченным санидином. Вторичные минералы представлены цеолитами (в основном морденитом) и смешанослойными глинистыми минералами. В акцессорных количествах присутствовали фосфаты (фторапатит) и титановые минералы (титаномагнетит, ильменит, анатаз). Содержание калия

Таблица 1. Химический состав минеральных добавок, масс. %

Соединение	Анализимсодержащий алевролит	Калиевый щелочной сиенит	Кородревесная зола
SiO_2	56.36	55.59	8.24
TiO_2	0.78	2.26	0.12
Al_2O_3	19.47	19.89	7.26
Fe_2O_3 общ	5.5	2.07	3.30
MnO	0.05	0.02	2.17
MgO	1.78	0.21	3.42
CaO	0.9	0.7	35.17
Na_2O	3.0	0.21	1.73
K_2O	1.96	17.14	5.70
P_2O_5	0.08	0.26	4.91
SO_3	н.д.	0.12	5.61
Cl	н.д.	н.д.	1.07
CO_2	0.26	0.1	10.23
п.п.п.	9.21	1.3	20.50
Сумма	99.09	99.84	99.99

Примечание. п.п.п. – потери при прокаливании, н.д. – не диагностировано.

Таблица 2. Текстурные характеристики минеральных добавок

Образец	Удельная поверхность, м ² /г	Общий объем пор	Объем мезопор		Объем микропор	Средний радиус пор, нм
			см ³ /г			
Анальцимсодержащий алевролит	45.6	7.718×10^{-2}	6.156×10^{-2}	0.024	3.147	
Калиевый сиенит	4.4	4.772×10^{-3}	3.636×10^{-3}	0.002	2.162	
Кордревесная зола	9.3	1.43×10^{-2}	1.177×10^{-2}	0.006	3.088	

в сиенитах достигало 17.14%. Калий главным образом находился в калиевом полевоом шпате, в небольшом количестве присутствовал в мордените и глинистых минералах. В структуре полевого шпата катионы калия располагаются в узких каналах, вследствие чего миграция из них калия в почву происходит медленно. В мордените катионы калия, а также натрия и кальция расположены в каналах и способны к катионному обмену. В структуре глинистых минералов катионы Na⁺, K⁺, Ca²⁺ располагаются в межслоевом промежутке и также способны к эквивалентному обратимому обмену с другими катионами.

Калиевый сиенит характеризуется низкой удельной площадью поверхности, которая составила 4.4 м²/г (табл. 2). Изотерма адсорбции–десорбции азота имела петлю гистерезиса и относится к IV(a) типу (рис. 2б). На кривой адсорбции в области низких давлений отсутствует подъем, свидетельствующий об отсутствии микропор в образце. При относительном давлении, близком к 1, наблюдали небольшой подъем, который указывал на незначительное присутствие макропор. Петля гистерезиса относится к типу Н4.

Кордревесная зола представляет собой дисперсное вещество, получаемое в ходе сжигания растительного сырья, а именно древесины и коры. Содержание К₂О в кордревесной золе составляло 5.70%. Кроме этого, в ней присутствовало довольно значительное количество СаО (35.17%), а также 4.91% Р₂О₅. В минеральном составе золы найдены карбонаты (кальцит), фосфаты (апатит), сульфаты (ангидрит). Также выявлены кварц, портландит и минералы полевых шпатов. По данным рентгеноспектрального микроанализа, калий находится в сульфатах и минералах полевых шпатов, его высвобождение из данных фаз в почву происходит медленно.

Удельная площадь поверхности кордревесной золы составила 9.3 м²/г (табл. 2). Изотерма адсорбции–десорбции азота характеризовалась наличием петли гистерезиса и относится к IV(a) типу (рис. 2б). На кривой адсорбции в области низких давлений отсутствовал подъем, свидетельствующий об отсутствии микропор в образце. При относительном давлении, близком к 1, наблюдали подъем, который указывал на присутствие макропор. Петля гистерезиса относится к типу Н3.

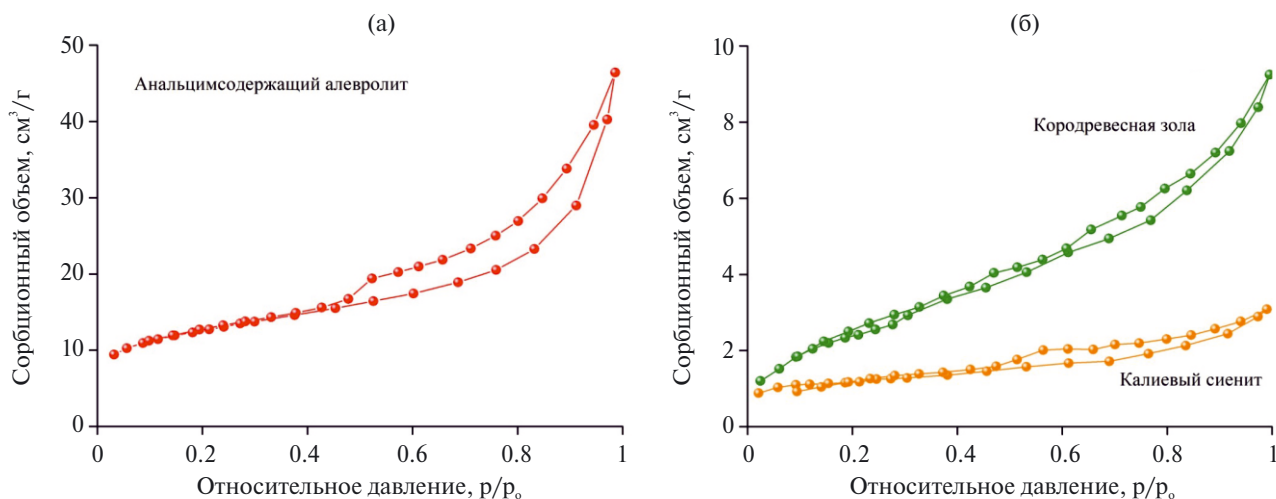


Рис. 2. Изотермы адсорбции–десорбции азота анальцимсодержащим алевролитом (а), калиевым сиенитом и кордревесной золой (б).

На основании полученных данных минерально-го и химического составов калийсодержащих минеральных добавок, можно оценить влияние препаратов на урожайность и продуктивность сельскохозяйственных растений. Полевой эксперимент проводили на опытных полях в четырехкратной повторности. Почва делянок – дерново-подзолистая, легкосуглинистая. На момент закладки опыта ее агрохимическая характеристика была следующей: содержание гумуса – 7.81%, pH_{KCl} 6.23 ед., содержание подвижного фосфора по Кирсанову – 671, подвижного калия – 250, обменного кальция – 13.8, обменного магния – 3.50 мг/кг, гидролитическая кислотность – 1.46 ммоль/100 г почвы.

В период вегетации растений картофеля проводили фенологические наблюдения. При применении калиевого сиенита на момент появления всходов картофель взшел не равномерно, чего не наблюдали при добавлении анальцимсодержащих алевролитов и кородревесной золы. Возможно, на данном этапе повлияли засушливые погодные условия. Сумма выпавших осадков за первую декаду июня составила всего 2.9 мм. При этом в первой декаде июня преобладала сухая и солнечная погода со средней температурой 16°C. В целом в опыте в процессе вегетации все фазы развития картофеля соответствовали средним показателям для региона.

Известно, что нарастание массы клубней картофеля определяется развитием и активностью работы фотосинтетического аппарата растений, на который существенно влияют способы применения, дозы препаратов и погодные условия. Поэтому был

проведен учет урожайности клубней картофеля на 65-е и 85-е сут после посадки (табл. 3).

В результате полевого эксперимента установлено, что добавка сиенитов в почву привела к снижению урожайности на 6.3% на 65-е сут и на 0.5% – на 85-е сут. Вероятно, миграция калия из санидина в почву была затруднена из-за низкой способности полевых шпатов к катионному обмену в нормальных условиях [1]. Несмотря на низкое содержание калия в анальцимсодержащих алевролитах и кородревесной золе их внесение повысило урожайность на 65-е и 85-е сут на 33.7 и 18.1 и на 21.1 и 7.4% соответственно. Положительное влияние на урожайность кородревесной золы и анальцимсодержащих алевролитов было вызвано факторами, для выяснения которых необходимы дополнительные исследования. В целом исследованные минеральные добавки на основе анальцимсодержащих алевролитов и кородревесной золы положительно повлияли на вегетирующие растения картофеля и обеспечили достоверную прибавку накопления массы клубней по сравнению с контрольным вариантом.

Главным показателем качества картофеля является его химический состав, т.е. содержание в нем основных питательных веществ. Калийные минеральные добавки в различной степени оказывали влияние на химический состав картофеля (табл. 4).

При внесении калиевого сиенита показатели химического состава клубней были несколько меньше, чем при применении анальцимсодержащих алевролитов и кородревесной золы. В целом при внесении минеральных добавок с различным содержанием обменного калия содержание

Таблица 3. Урожайность картофеля при внесении калийсодержащих минеральных добавок, т/га

Вариант	Урожайность клубней картофеля	
	время после посадки клубней	
	65 сут	85 сут
Контроль без добавок	9.5 ± 0.10	21.6 ± 0.60
Анальцимсодержащие алевролиты	12.7 ± 0.70	25.5 ± 0.40
Калиевый щелочной сиенит	8.9 ± 0.26	21.5 ± 0.70
Кородревесная зола	11.5 ± 0.54	23.2 ± 0.27
<i>HCP</i> ₀₅	1.3 ± 0.31	1.5 ± 0.38

Таблица 4. Влияние минеральных добавок на химический состав клубней картофеля

Вариант	Сухое вещество, %	Крахмал, %	Витамин С, мг %	Нитраты, мг/кг сырой массы
Контроль	18.7	11.9	30.8	108
Анальцимсодержащие алевролиты	19.3	12.9	32.6	96
Калиевый щелочной сиенит	17.9	11.8	29.7	115
Кородревесная зола	18.3	12.5	30.7	110

сухого вещества в клубнях оставалось практически на уровне контрольного варианта.

Потребительские качества картофеля определяются прежде всего содержанием крахмала, величина которого тесно взаимосвязана с количеством сухого вещества. На содержание крахмала и сухого вещества влияют как агротехнические условия возделывания картофеля, так и уровень и сбалансированность минерального питания растений. В варианте без применения минеральных добавок содержание крахмала в клубнях картофеля составляло 11.8%. Содержание крахмала в картофеле зависело от содержания обменного калия в минеральных добавках, наибольшая крахмалистость клубней отмечена в варианте применения аналцимсодержащих алевролитов и составляла 12.9%.

Картофель – хороший источник витаминов, одним из которых является витамин С. Его содержание зависит от многих факторов и варьирует от 5 до 50 мг% в сыром веществе [21, 22]. Использование при выращивании картофеля минеральных добавок аналцимсодержащих алевролитов и кородревесной золы значительно повысило содержание витамина С в клубнях по сравнению с минеральной добавкой калиевого щелочного сиенита. Содержание нитратов в клубнях картофеля составило 96–115 мг/кг сырой массы, что не превышало ПДК (250 мг/кг).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследовано влияние добавок на основе минерального сырья (аналцимсодержащих алевролитов, калиевых щелочных сиенитов) и техногенных отходов (кородревесной золы) с различным содержанием K_2O на урожайность клубней картофеля. Наибольшее содержание K_2O (17.14%) выявлено в щелочных сиенитах, наименьшее – в аналцимсодержащих алевролитах (1.96%), содержание K_2O в кородревесной золе составляло 5.70%.

Несмотря на низкое содержание калия в аналцимсодержащих алевролитах и кородревесной золе, данные добавки положительно повлияли на вегетирующие растения картофеля и повысили урожайность на 65-е и 85-е сут на 33.7 и 18.1, на 21.1 и 7.4% соответственно. Добавка калиевых сиенитов в почву привела к снижению урожайности на 6.3% на 65-е сут и на 0.5% на 85-е сут. Вероятно, это было связано с низкой миграционной способностью калия из структуры полевых шпатов.

Минеральные добавки на основе аналцимсодержащих алевролитов и кородревесной золы способствовали увеличению содержания в картофеле крахмала и витамина С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Середина В.П.* Калий и почвообразование: Уч. пособ. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2012. 354 с.
2. *Ковда В.А.* Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 263 с.
3. *Фокин А.Д.* Роль растений в формировании транспортных потоков вещества в почвах и организация почвенных систем. Пущино: ИФХБШ РАН, 2007. Т. I. С. 50–52.
4. *Franzosi C., Castro L.N., Celeda A.M.* Technical evaluation of glauconies as alternative potassium fertilizer from the Salamanca Formation // Patagonia, Southwest Argentina. Nat. Resour. Res. 2014. № 23. P. 311–320.
<https://doi.org/10.1007/s11053-014-9232-1>
5. *Karimi E., Abdolzadeh A., Sadeghipour H.R., Aminei A.* The potential of glauconitic sandstone as a potassium fertilizer for olive plants // Arch. Agron. and Soil Sci. 2012. № 58. P. 983–993.
6. *Рудмин М.А., Галиханов А.В., Стеблецов М.Д.* Глауконит Баккчарского месторождения (Западная Сибирь): Особенности химического состава и возможность использования в агрохозяйстве // Матлы V Рос. школы по глинистым минералам – “Argilla Studium-2017”. 2017. С. 98–103.
7. *Rudmin M., Banerjee S., Makarov B., Mazurov A., Ruban A., Oskina Y., Tolkachev O., Buyakove A., Shal-dybin M.* An investigation of plant growth by the addition of glauconitic fertilizer // Appl. Clay Sci. 2019. V. 180. P. 105–178.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105178>
8. *Torgetti S.T.S., Boldrin K.V.F., do Nascimento A.M.P., Paiva P.D.O., Furtini Neto A.E., Luz I.C.A.* Alternative potassium source for the cultivation of ornamental sunflower. Fonte alternativa de potassio no cultivo do girassol ornamental // Ciencia e Agrotecnologia. 2016. V. 40. P. 257–264.
<https://doi.org/10.1590/1413-70542016403036115>
9. *Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A., Makarov B., Martemyanov D.* Economic potential of glauconitic rocks in Bakchar deposit (S-E Western Siberia) for alternate potash fertilizer // Appl. Clay Sci. 2017. 150. P. 225–233.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.09.035>
10. *Dias K.G. de L., Guimaraes P.T.G., do Carmo D.L., Reis T.H.P., Lacerda J.J. de J.* Alternative sources of potassium in coffee plants for better soil fertility, productivity, and beverage quality // Pesq. Agrop. Brasil. 2018. V. 53. P. 1355–1362.
<https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018001200008>
11. *Liang D., Zhang Q., Zhang W., Liu L., Liang H., Quirino R.L., Chen J., Liu M., Lu Q., Zhang C.* Tunable thermo-physical performance of castor oil-based polyurethanes with tailored release of coated fertilizers // J. Clean. Prod. 2019. V. 210. P. 1207–1215.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.11.047>

12. *Васильев А.А.* Глауконит – эффективное природное минеральное удобрение картофеля // Аграрн. вестн. Урала. 2009. № 6(60). С. 35–37.
13. *Назаров В.А., Медведев И.Ф., Зеленова А.Н.* Влияние глауконита на физико-химические и биологические свойства чернозема южного // Аграрн. научн. журн. 2015. № 10. С. 10–13.
14. *Castro L., Tourn S.* Direct application of phosphate rocks and glauconite as alternative sources of fertilizer in Argentina // Explor. Mining Geol. 2003. № 12. P. 71–78.
15. Управление продажами непрофильной продукции ОАО “Монди СЛПК”. URL: <https://studfile.net/preview/9536651/page:4> (дата обращения: 09.02.2023).
16. *Доспехов Б.А.* Методика полевого эксперимента (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
17. *Луганская В.Д., Луганский В.Н.* Химический анализ почв. Методические указания для проведения лабораторных занятий студентов очной и заочной форм обучения. Екатеринбург, 2011. С. 9–11.
18. *Shushkov D.A., Kotova O.B., Ibrahim J.-E.F.M., Harja M., Gomze L.A., Shchemelinina T.N., Ignatiev G.V.* Analcime-bearing rocks as advanced sorbents // Epiřanyag Journal of Silicate Based and Composite Materials. 2020. V. 72. № 5. P. 156–164.
19. *Thommes M., Kaneko K., Neimark A.V., Olivier J.P., Rodriguez-Reinoso F., Rouquerol J., Sing K.S.W.* Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report) // Pure Appl. Chem. 2015. V. 87. № 9–10. P. 1051–1069.
20. *Удортатина О.В., Травин А.В., Куликова К.В., Варламов Д.А.* Свидетельства раннепермского импульса ультракалиевого магматизма на Среднем Тимане // Бюл. Моск. общ-ва испытателей природы. Отдел геол. 2016. Т. 91. Вып. 2–3. С. 29–35.
21. *Коршунова А.В.* Картофель России. В 3-х кн. М.: ВНИИКХ, 2003. 1535 с.
22. *Власенко Н.Е.* Удобрение картофеля. М.: Агропромиздат, 1987. 219 с.

Investigation of the Potential of Potassium-Containing Additives Based on Mineral Raw Materials and Industrial Waste on the Quality and Yield of Potatoes

O. V. Brovarova^{a,#}, D. A. Shushkov^b

^a*A. V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the RAS,
ul. Rucheynaya 27, Syktyvkar 167023, Russia*

^b*Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the RAS,
ul. Pervomayskaya 54, Syktyvkar 167982, Russia*

[#]*E-mail: olbrov@mail.ru*

The soils of the Komi Republic are characterized as sod-podzolic. It is known that agricultural cultivation of such soils requires the introduction of various mineral and organic fertilizers, liming, deepening of the arable layer, and erosion control. The soils of the region are depleted of potassium, part of which is carried out by agricultural crops, therefore potash fertilizers, where potassium is in an affordable form, are among the most in demand in agriculture. This paper presents the results of a study of the material composition and textural characteristics of analcime-containing siltstones, potassium alkaline syenites and bark ash and their possible use as potash additives to improve potato productivity.

Keywords: potatoes, potassium-containing mineral additives, analcime, zeolites, illite, smectite, clay minerals, sanidine, syenites, bark ash.