



Научная статья/Research Article

УДК 633.4.41:631.81.3 (571.54)

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-3-13

Бэлэгма Цыденбаловна Цыренгармаева^{1✉}, Арюна Сыдынжаповна Сыренжапова²,
Инна Германовна Антропова³, Павел Анатольевич Гуляшинов⁴

^{1,2}Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова, Улан-Удэ, Республика Бурятия, Россия

^{3,4}Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Республика Бурятия, Россия

¹lamu-98@mail.ru

²arunass70@mail.ru

³inan@binm.ru

⁴gulpasha@mail.ru

КАЛИЙНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ БЕСХЛОРНЫХ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ

Цель исследования – определение влияния удобрений на основе сынныритов на урожайность картофеля и калийное состояние данной почвы в условиях сухой степи на каштановой супесчаной почве. В трехлетних микрополевых исследованиях на каштановой почве сухостепной зоны в Иволгинском районе Республики Бурятия изучена эффективность применения сыннырита и органоминерального удобрения на основе сыннырита и окисленного бурого угля на урожайность картофеля сорта Гала и калийное состояние почвы. Исходная опытная почва характеризовалась низким содержанием гумуса (до 2 %), обеспеченность фосфором – низкая, обменным калием – средняя, по гранулометрическому составу – супесчаная. В опыте применяли сульфат калия, сыннырит с месторождения Сыннырский и сыннырит обогащенный окисленным углем с Гусиноозерского месторождения. Содержание K_2O в исходном сыннырите составляло 18,6 %, в органоминеральном удобрении – до 14,5 %. Тонкоизмельченный сыннырит по влиянию на урожай не уступал стандартному калийному удобрению. Наибольшая прибавка урожайности картофеля достигалась в варианте с применением сыннырита обогащенного окисленным бурым углем до 7 т/га (33 %) относительно контрольного варианта. С применением сыннырита отмечено увеличение содержания валовой и обменной форм калия в 1,4 раза по отношению к контролю, обогащенного окисленным углем. Вариант с сынныритовой мукой показал увеличение содержания обменного калия до 2,5 раза и уменьшение валового калия в 0,9 раза по отношению к контрольному варианту. При внесении калийных удобрений наблюдалось увеличение содержания $K_{обм}$ с низкой обеспеченности до повышенной (по градации Мачигина). Невнесение калийсодержащих удобрений (контроль) приводило к снижению количества всех форм калия в почве. Установлена агрономическая эффективность применения калийных удобрений на основе сыннырита, а также процесса накопления доступных форм калия в почве.

Ключевые слова: урожайность картофеля, картофель, сыннырит, бесхлорные калийные удобрения, обменный калий, необменный калий, валовое содержание калия

Для цитирования: Цыренгармаева Б.Ц., Сыренжапова А.С., Антропова И.Г., и др. Калийное состояние почвы и урожайность картофеля при внесении бесхлорных калийных удобрений // Вестник КрасГАУ. 2026. № 4. С. 3–13. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-3-13.

Финансирование: работа выполнена в рамках проекта РФФ-Бурятия № 24-26-20061 «Влияние бесхлорных калийсодержащих удобрений на основе синныритов на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в условиях Бурятии».

Belegma Tsydenbalovna Tsyrengarmaeva^{1✉}, Aryuna Sydynzhapovna Syrenzhapova²,
Inna Germanovna Antropova³, Pavel Anatolyevich Gulyashinov⁴

^{1,2}Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov, Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia

^{3,4}Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Republic of Buryatia, Russia

¹lamu-98@mail.ru

²arunass70@mail.ru

³inan@binm.ru

⁴gulpasha@mail.ru

SOIL POTASSIUM STATE AND POTATO YIELD WITH CHLOROGEN-FREE POTASSIUM FERTILIZERS APPLICATION

The objective of this study is to investigate the effect of synnyrite-based fertilizers on potato yield and the potassium status of this soil in arid steppe conditions on sandy chestnut loam. A three-year microfield study on chestnut soil in the dry steppe zone of the Ivolskiy District of the Republic of Buryatia examined the effectiveness of synnyrite and an organomineral fertilizer based on synnyrite and oxidized brown coal on the yield of the Gala potato variety and the potassium status of the soil. The initial experimental soil had a low humus content (up to 2 %), low phosphorus content, and medium exchangeable potassium. The soil had a sandy loam texture. Potassium sulfate, synnyrite from the Synnyrsky deposit, and synnyrite enriched with oxidized brown coal from the Gusinozersk deposit were used in the experiment. The K₂O content in the original synnyrite was 18.6 %, while in the organomineral fertilizer it was up to 14.5 %. Finely ground synnyrite was comparable in yield to standard potash fertilizer. The greatest increase in potato yield was achieved with synnyrite enriched with oxidized brown coal, reaching 7 t/ha (33 %) relative to the control. The use of synnyrite resulted in a 1.4-fold increase in the total and exchangeable potassium content compared to the control enriched with oxidized carbon. The synnyrite flour treatment showed an increase in exchangeable potassium content up to 2.5 times and a 0.9-fold decrease in total potassium compared to the control. With the application of potassium fertilizers, the K content increased from low to high (according to the Machigin grading). Not applying potassium-containing fertilizers (the control) resulted in a decrease in the amount of all forms of potassium in the soil. The agronomic effectiveness of using synnyrite-based potassium fertilizers, as well as the accumulation of available forms of potassium in the soil, was established.

Keywords: potato yield, potato, synnyrite, chlorine-free potassium fertilizers, exchangeable potassium, non-exchangeable potassium, total potassium content

For citation: Tsyrengarmayeva BTs, Syrenzhapova AS, Antropova IG, et al. Potassium status of the soil and potato yield when applying chlorine-free potassium fertilizers. *Bulletin of KSAU*. 2026;(4):3-13 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-4-3-13.

Funding: this work was carried out under RSF-Buryatia Project No. 24-26-20061, "The Impact of Chlorine-Free Potassium-Containing Fertilizers Based on Synnyrites on the Yield and Quality of Agricultural Crops in Buryatia".

Введение. Известно, что источником пополнения почвенного раствора и поглощающего комплекса калием являются минералы. В настоящее время одной из центральных задач современной прикладной агроэкологии является

поиск и внедрение экологически и экономически обоснованных методик повышения урожайности агрокультур посредством использования альтернативных источников минерального питания. В условиях глобального изменения климата и

нарастающего дефицита традиционных минеральных ресурсов, а также в контексте устойчивого развития сельского хозяйства возникает необходимость в применении нетрадиционных источников минерального питания для растений. В качестве источника для получения новых бесхлорных калийных удобрений рассматри-

ваются калийсодержащие агроруды Сыннырского массива (Северо-Байкальский район Республики Бурятия) [1–3].

Сынныриты – ультракалиевые алюмосиликатные породы (K_2O 18–21 %), состоящие из калиевого полевого шпата (65–80 %) и химически активного кальсилита (20–25 %).

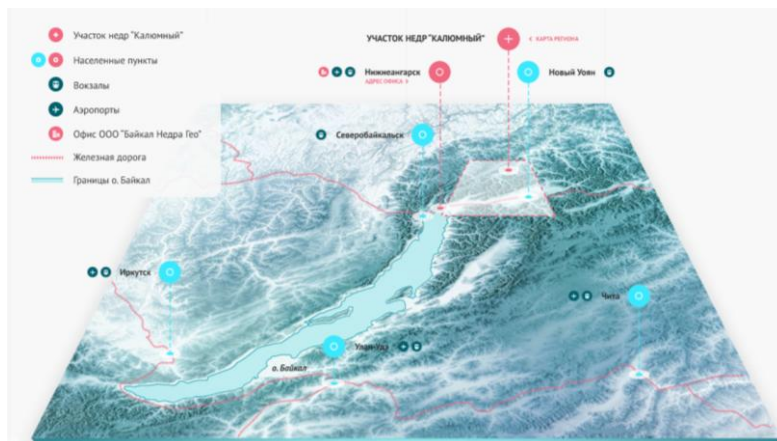


Рис. 1. Сыннырский массив, участок Калюмный
Synnyr massif, Kalyumny section

Минеральный состав сыннырита позволяет при глубокой его переработке получать растворимые соли калия и глинозем [4, 5]. Однако предлагаемые схемы являются при применении дорогостоящими и пока не находят практического применения.

Для достижения максимальной эффективности калийных удобрений необходимо хорошее обеспечение растений достаточным количеством азота и фосфора. На почвах, обедненных этими элементами, применение одних только калийных удобрений не даст положительного эффекта [6]. Сбалансированное применение калийных удобрений на каждый килограмм K_2O обеспечивает в среднем получение следующего количества товарной продукции, кг/га: сахарной свеклы 35–40, картофеля 20–33 и т. д. Окупаемость единицы калия возрастает на легких и торфянистых почвах. Внесение калийных удобрений в регионах России остается на низком уровне – менее 10 кг K_2O /га, а значительная часть регионов вносит менее 5 кг/га калийных удобрений. Почвы Бурятии характеризуются высоким содержанием валового калия по сравнению с Западно-Сибирской и Европейской территориями России. Это свойство почв обусловлено уникальным минералогическим составом подстилающих пород, богатых полевыми шпатами и слюдами [7, 8, 11].

Ранее [9] в микрополевым опыте были получены результаты прямого воздействия сыннырита, и сочетания его с различными дозами и соотношениями минеральных удобрений показали положительное влияние на продуктивность столовой свеклы. В вегетационном опыте (вегетационный домик БГСХА им. Филиппова) было изучено действие и последствие удобрений на продуктивность и питательную ценность райграса пастбищного. Выявлен пролонгированный эффект действия сынныритов на райграсе перед серноокислым калием в вегетационных условиях.

Цель исследования – определение влияния удобрений на основе сынныритов на урожайность картофеля и калийное состояние данной почвы в условиях сухой степи на каштановой супесчаной почве.

Объекты и методы. В 2023–2025 гг. проведены микрополевые исследования на каштановой почве в сухостепной зоне Иволгинского района Республики Бурятия. Географические координаты участка: 51.751955° с.ш., 107.418332° в.д. Площадь учетной делянки – 2,1 м², 4-кратная повторность. Все агротехнические работы проводились вручную в соответствии с общепринятыми в практике подобного рода требованиями.

Проводились исследования по изучению эффективности использования калийсодержа-

щих удобрений и сынныритов под картофель сорта Гала (*Solanum tuberosum*) как культуры высокого выноса калия в сухостепной зоне Бурятии на каштановой почве. В качестве опытной культуры применяли картофель сорта «Гала», сорт немецкой селекции, среднераннего срока созревания, столового назначения. В Государственном реестре селекционных достижений данный сорт картофеля зарегистрирован в 2008 г. Товарная урожайность 216–263 ц/га, максимальная урожайность – 390 ц/га.

Схема опыта включала следующие варианты: 1 – без удобрений (контроль); 2 – N₁₂₀P₆₀ (фон); 3 – N₁₂₀P₆₀ + K₂SO₄ (Кс); 4 – N₁₂₀P₆₀ + Сыннырит (С₁); 5 – N₁₂₀P₆₀ + Сыннырит + окисленный бурый уголь (3 : 1) (С₂). В опытах применялись следующие удобрения: простой суперфосфат, аммиачная селитра, сернокислый калий. Фосфор (простой суперфосфат), азот (селитра аммиачная) вносили из расчета N₁₂₀P₆₀ кг/га. В качестве калийного удобрения применяли сернокислый калий (Кс), измельченный сыннырит (С₁) и органоминеральное удобрение (С₂) из расчета K₁₅₀ кг/га.

Испытуемые варианты удобрения с сынныритами вносились в виде порошка. Органическое удобрение не вносили. Удобрения в опыте ежегодно вносили весной в почву осенью с посадкой картофеля в безветренную погоду. Высадку картофеля проводили во второй декаде мая на глубину 8–10 см, схема высадки 25 × 70 см, посадочный материал средней массой (50–80 г).

Учет и уборку урожая проводили в сентябре, во второй декаде месяца в теплую сухую погоду. Почвенные образцы на анализ отбирали во время уборки урожая. Определение агрохимических свойств почв проведены общепринятыми методами. Содержание подвижного и водорастворимого калия определяли пламенно-фотометрическим методом. Урожайность оценивали сплошным весовым методом с учетной площади каждой делянки. Математическая обработка результатов исследования выполнена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [10] с использованием программного обеспечения MS Excel.

Годы проведения исследований различались по температурному режиму (табл. 1), количеству осадков и их распределению в период вегетации культуры. Вегетационный период 2023 г. (май) характеризовался сухой и прохладной погодой: количество выпавших осадков наполовину ниже (– 50 %). Среднемесячная температура воздуха была ниже на 0,4 °С по сравнению со средними многолетними значениями. В июне и июле был зафиксирован дефицит атмосферных осадков. Основное количество осадков, составившее более 50 % от их суммарного объема за вегетационный период, выпало в августе. Температурный режим характеризовался повышением среднемесячных значений на 0,8–3,2 °С по сравнению с климатической нормой по региону, без возврата поздних летних и ранних осенних заморозков.

Таблица 1

Условия увлажнения и теплообеспеченности вегетационного периода за 2023–2025 гг.
Conditions of moisture and heat supply during the growing season for 2023–2025

Год	Показатель	Период	Месяц					За вегетационный период
			Май	Июнь	Июль	Август	Сент.	
Среднее многолетнее	Осадки, мм	Месяц	10,4	40,1	62,9	55,1	28,9	197,4
	Температура, °С	Месяц	9,5	16,1	18,6	16,9	8,5	13,9
2023 г.	Осадки, мм	I дек.	2,3	1,9	18,4	82,4	24,1	248,5
		II дек.	2,8	13,1	17,4	25,5	0,9	
		III дек.	0	6,6	21,8	18,4	12,9	
		Месяц	5,1	21,6	57,6	126,3	37,9	
		±, мм от средн.	–5,3	–18,5	–5,3	71,2	9,0	
	Температура, °С	I дек.	8,7	16,8	19,3	19,3	14,4	15,3
		II дек.	7,1	16,8	21,0	17,4	11,2	
		III дек.	11,6	19,3	20,9	16,3	9,4	
		Месяц	9,1	17,6	20,4	17,7	11,7	
		±, °С от средн.	–0,4	1,5	1,8	0,8	3,2	
2024 г.	Осадки, мм	I дек.	4,2	9,7	3,6	15,7	2,3	275,7
		II дек.	1,2	18,8	16,1	25,2	2,7	
		III дек.	34,8	28,7	92,8	19,9	0	
		Месяц	40,2	57,2	112,5	60,8	5	
		±, мм от средн.	29,8	17,1	49,6	5,7	–23,9	

2024 г.	Температура, °С	I дек.	9,1	16	24	19,7	13,2	16,0
		II дек.	13	18,3	21,6	20	7,9	
		III дек.	14,5	18	21,6	16,5	6,9	
		Месяц	12,2	17,4	22,4	18,7	9,3	
		±, °С от средн.	2,7	1,3	3,8	1,8	0,8	2,1
2025 г.	Осадки, мм	I дек.	0,1	7,5	2,3	17	22	216,9
		II дек.	0,9	3,4	5,3	54	2,0	
		III дек.	14	26	15	45	2,4	
		месяц	15	36,9	22,6	116	26,4	
		±, мм от средн.	4,6	-3,2	-40,3	60,9	-2,5	19,5
	Температура, °С	I дек.	9,7	14,3	20,6	19,5	12	15,6
		II дек.	8,6	18,1	22,3	17,2	10,1	
		III дек.	14,5	22,9	18,3	16,3	11	
		Месяц	11	18,4	20,4	17,6	11	
		±, °С от средн.	1,5	2,3	1,8	0,7	2,5	1,9

В 2024 г. температура воздуха была выше по всем месяцам на 1,3–3,8 °С. За май – сентябрь выпало 275,7 мм осадков, что на 78,3 мм больше, чем в среднем по годам. Наибольшее количество осадков выпало в июле и составило 112,5 мм. В сентябре всего выпало 5 мм, что ниже на 23,9 мм среднемноголетних данных.

Вегетационный период 2025 г. сложился крайне неблагоприятно, недостаток осадков наблюдался в мае–июле. В июне и июле выпало 36,9 и 22,6 мм осадков соответственно, что меньше нормы на – 40,3 мм от среднемноголетних значений. За вегетационный период выпало 216,9 мм осадков, что на 58,8 мм меньше, чем в среднем по годам. В августе 2025 г. Министерством сельского хозяйства и продовольствия

Республики Бурятия был объявлен режим чрезвычайной ситуации на территориях большинства муниципальных образований из-за сильнейшей почвенной засухи.

Почвенный покров экспериментального опытного участка однородный. Почва типичная каштановая мучнистокарбонатная, по гранулометрическому составу – супесчаная с низким содержанием гумуса (2,0 %), pH – нейтральная, обеспеченность фосфором низкая (14,6 мг/кг), обменным калием – средняя (110 мг/кг) по Мачигину. Сумма поглощенных оснований – высокая, с преобладанием катиона Са над Mg (табл. 2). По агропочвенному районированию территория Иволгинского района отнесена к сухостепной зоне.

Таблица 2

Характеристика исходного уровня плодородия почвы (2023 г., перед закладкой микрополевого опыта)

Characteristics of the initial level of soil fertility (2023, before the micro-field experiment)

Слой почвы, см	pH, ед. (KCl)	Гумус, %	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Содержание фракций, % размер, мм	
			мг/кг почвы			мг-экв/100 г почвы		< 0,01	< 0,001
0–20	6,7	2,0	0,81	14,6	110	17,5	6,4	20	8

Изучаемый сыннырит с Калюмного месторождения Сыннырского массива и сыннырит с окисленным бурым углем с Гусиноозерского месторождения [5] имели следующие характеристики, представленные в таблице 3.

Алюмокалиевые породы (сыннырит) содержат 50 % микроклина, ортоклаза до 18,7 % из группы калиевых полевых шпатов K[AlSi₃O₈] и 21,8 % кальсилита K[AlSiO₄] (табл. 3). Минералогический и химический составы сынныритов позволяют их рассматривать в качестве агроруды.

В опыте применялся измельченный сыннырит класса крупности – 0,071 мм с содержанием лимонно-растворимого калия 7,0 % и общего калия K₂O – 18,6 %, а также удобрение на основе сыннырита – удобрительная смесь, полученная в процессе совместной механоактивации сыннырита с окисленным бурым углем (ОБУ) Гусиноозерского месторождения в соотношении 3 : 1. Данная удобрительная смесь с содержанием окисленного угля 25 % содержала калия общего K₂O 14,5 %, лимонно-растворимого K₂O (ЛР) – 5,5 % и гуминовых веществ – 20 %.

**Минералогический и химический состав сыннырита Калюмного месторождения
Mineralogical and chemical composition of the sonnithite from the Kalyumnoye deposit**

Минерал		Содержание, %							
Калиевый полевой шпат (микроклин, ортоклаз) $K[AlSi_3O_8]$		68,7							
Кальсилит $K[AlSiO_4]$		21,8							
Калийсодержащий нефелин $Na,K[AlSiO_4]$		8,4							
Магнетит Fe_3O_4		0,8							
Биотит $K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH, F]_2$		0,3							
Содержание, %									
Al_2O_3	SiO_2	K_2O	Na_2O	MgO	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	P_2O_5	Rb_2O
22,70	55,19	18,60	0,80	0,10	0,30	0,05	2,10	0,07	0,09

Использованный окисленный бурый уголь характеризовался слабокислой реакцией среды, со значительным содержанием гуминовых кислот (до 90 %), небольшим содержанием влаги (9 %). Элементный состав окисленного бурого угля и гуминовых кислот Гусиноозерского месторождения приведены в таблице 4.

Содержание тяжелых металлов (Pb, Cu, Ni, Co, Mo, Cr, Zn, Mn, Cd) в окисленном буром угле (в пересчете на общую массу угля) Гусиноозерского месторождения не превышало токсикологические показатели для органических удобрений [5, 17].

**Технический и элементный состав окисленного бурого угля и гуминовых кислот
Гусиноозерского месторождения, %
Technical and elemental composition of oxidized brown coal and humic acids
from the Gusinozersk deposit, %**

Образец	Технический анализ, масс. %		Элементный анализ, масс. %				
	A^d	W^a	C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	S^{daf}	O^*
ОБУ	22,0	9,0	67,1	3,1	1,3	0,5	28,0
ГК	3,0	–	50,5	3,5	1,9	1,0	43,1

* Содержание кислорода вычислено по разности; W^a – влажность аналитическая.

Результаты и их обсуждение. Анализ данных таблицы 5 показал, что выход товарной продукции на контрольном варианте за трехлетний период составил в среднем 20,9 т/га, максимальная урожайность получена на варианте с применением сыннырита с ОБУ C_2 – 27,9 т/га. Положительное действие на урожайность картофеля в 2023 г. оказывали все удобрения, так как температурный режим и влагообеспеченность были благоприятнее, чем в последующие два года. Атмосферная засуха, даже при поливах, обусловила снижение эффективности минеральных удобрений в вегетационные сезоны 2024–2025 гг. по сравнению с 2023 г. Фоновое удобрение (азот, фосфор) показало достаточно низкую агрономическую эффективность: прибавка к контролю в среднем за 3 года составила 0,7 т/га, или 3,3 %. Внесение сернокислого калия (Кс) сформировало прибавку урожайности на 17,2 % к контролю и на 13,4 % по отношению к фону. Варианты C_1 и C_2

также показали прибавку в урожайности: дополнительно было получено от 4 до 7 т/га, или от 20,1 до 33,4 % товарной продукции по отношению к контролю, прибавка к фону составило от 16,2 до 29,1 % соответственно.

Наибольшая прибавка урожайности, полученная на варианте C_2 , вероятнее всего, обусловлена не только действием сыннырита, но и действием органической части бурого угля (гуминовых кислот).

Продуктивность растений напрямую зависит от уровня питательных веществ в почве. Калийный режим почв во многом зависит не только от природных факторов почвообразования, но и от антропогенных воздействий, в т. ч. от уровня агротехники, выращивания сельскохозяйственных культур, системы применения удобрений, севооборотов и системы мелиорации. Вышеперечисленные факторы воздействия на почвы создают новые условия функционирования почв [11–14].

Влияние удобрений на урожайность товарной продукции картофеля, т/га
Effect of fertilizers on the yield of marketable potato products, t/ha

Вариант	Урожайность, т/га			В среднем за 3 года	Прибавка к контролю		Прибавка к фону		Прибавка к K ₂ SO ₄	
	2023 г.	2024 г.	2025 г.		т/га	%	т/га	%	т/га	%
К	25,9	21,4	15,4	20,9	–	–	–	–	–	–
Фон	27,4	25,5	12,0	21,6	0,7	3,3	–	–	–	–
Кс	30,9	25,6	17,0	24,5	3,6	17,2	2,9	13,4	–	–
C ₁	32,7	27,8	15,0	25,1	4,2	20,1	4,2	16,2	0,6	2,4
C ₂	36,1	30,3	17,5	27,9	7,0	33,4	6,3	29,1	3,4	13,8
НСР _{0,5} т/га	4,01									

Каштановые почвы Забайкалья характеризуются высоким содержанием калия (2,57–3,19 %), что связано с минералогическим составом почвообразующих пород. Это в два раза больше, чем в каштановых почвах центральных районов России. Таким образом, все калийсодержащие минералы могут, в той или иной степени, служить непосредственными источниками калийного питания растений. Наибольшее количество калия зафиксировано в крупных гранулометрических частицах, минимум его зафиксирован в илстой фракции [1, 7, 8, 18].

Уровень калийного питания растений в почве определяется преимущественно по содержанию в ней обменного калия. В настоящее время имеется большой объем экспериментальных данных, свидетельствующих о низкой и средней обеспеченности почв Бурятии подвижными формами калия при его высоком содержании в валовом составе. Калий находится в силикатной трудно или практически недоступной форме для растений [11].

Большая часть калия удобрений закрепляется физико-химически и находится в обменно-поглощенном состоянии. Он способен переходить в почвенный раствор при вытеснении его другими катионами как самой почвы, так и внесимых удобрений. Однако передвижение калия происходит значительно медленнее, чем нитратов и хлоридов, что обусловлено особенностями калийного состояния почвы [7, 19, 20].

Подвижность содержания обменного калия в пахотном слое почвы показывает его изменчивость не только в период вегетации, но и в течение всего исследования. На рисунке 2 представлено изменение содержания обменного калия в слое почвы (0–20 см). Обеспеченность подвижным калием в исходном образце почвы находится на низком уровне – 110 мг/кг. За последующий трехлетний период исследования наблюдалось увеличение содержания обменно-

го калия в пахотном слое почвы. По фону (NP) обменный калий (K_{обм}) увеличился на 1,2 раза относительно контрольного варианта. При внесении сернокислого калия произошло увеличение K_{обм} на 1,6 раза, на 2,5 раза – на варианте с сынноритовой мукой, на 1,4 раза – на варианте с сынноритом, обогащенным углем. В 2024 г. наблюдается максимальное количество содержания K_{обм} до 377 мкг/кг почвы – это в 3,4 раза больше, чем на контроле. За 2 года внесения калийных удобрений наблюдалось увеличение содержания K_{обм} с низкой обеспеченности до повышенной. В 2025 г. довольно сильному иссушению подверглась вся толща верхнего слоя. Растительность сильно страдала от недостатка влаги, вследствие чего задерживалась их вегетация. Вероятнее всего, жесткий гидротермический режим почвы являлся причиной низкого уровня образования обменных форм калия на всех вариантах опыта. Весной и в начале лета поверхностные слои почвы (вплоть до глубины 0–50 см) сильно иссушались и влажность их, даже в период повышенного увлажнения, падала до величины ВЗ–ВРК [8].

В калийном питании растений участвуют все формы калия (обменный и необменный, водорастворимый, структурный), формирующие актуальные и потенциальные его запасы. Значительные запасы калия в почвах и динамическое равновесие между различными его формами затрудняют выбор показателей, характеризующих способность почвы обеспечить калийное питание растений. Реальную картину обеспеченности растений калием дает содержание в почве обменной и необменной форм этого элемента. Изменение содержания форм калия в почвах агроценозов при различной интенсивности калийного баланса, связь этих показателей с продуктивностью выращиваемых культур представлены в ряде работ [7, 14–16].

В таблице 6 показаны результаты содержания валовой, водорастворимой, обменной и необменной формы калия в почве после трех-летнего внесения удобрений.

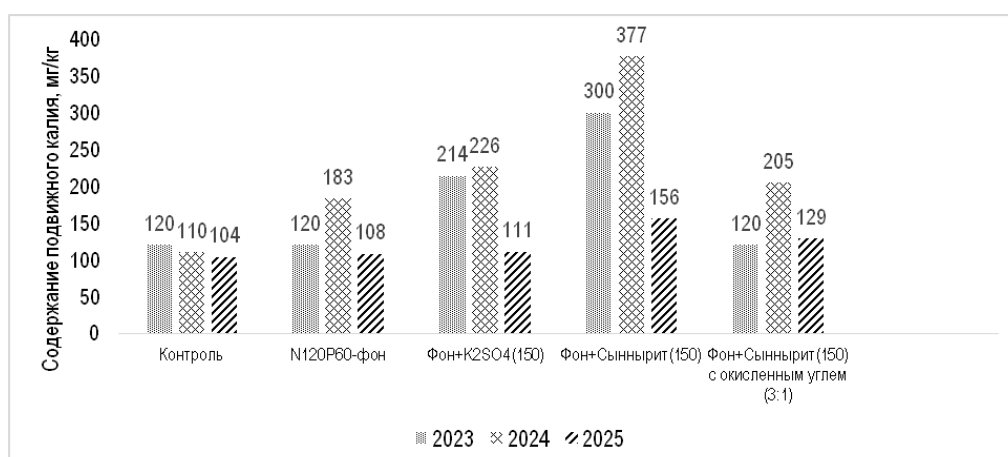


Рис. 2. Содержание обменного (подвижного) калия (по Мачигину) в пахотном слое по годам исследований на картофеле, мг/кг
Exchangeable (mobile) potassium content (according to Machigin) in the arable layer by year of research on potatoes, mg/kg

Таблица 6

Содержание форм калия (K₂O) в исследуемой почве в слое 0–20 см после 3 лет внесения удобрений под картофель, мг/100 г
Content of potassium forms (K₂O) in the studied soil in the 0–20 cm layer after 3 years of fertilization for potatoes, mg/100 g

Номер варианта	Вариант	Калий			
		Валовой	Водорастворимый	Обменный	Необменный
1	Исходная почва	1990	0,38	11,0/–	2075/–
2	К	1700	0,20	10,1/–0,9*	1792/–283*
3	Фон	1450	0,41	13,7/+2,7	1539/–536
4	К _с	2170	0,25	18,4/+7,3	2271/+196
5	С ₁	1924	0,25	27,8/+16,6	2038/–37
6	С ₂	2830	0,33	15,1/+4,0	2188/+113
	НСР _{0,5}	41	0,01	4,75	243,0

* Увеличение или уменьшение форм калия относительно исходной почвы опытного поля.

Водорастворимый калий поглощается картофелем [7], так как картофель – культура высокого выноса этого элемента. В связи с этим в испытываемых вариантах содержание калия водорастворимой форме не достигает 1 мг/100 г почвы. Максимальное значение по водорастворимому калию было достигнуто в варианте с фоном – 0,41 мг/100 г почвы, что даже превышает значение исходной почвы (0,38 мг/100 г почвы), а минимальное значение – в варианте без внесения удобрений К – 0,20 мг/100 г почвы.

Невнесение удобрений (контроль) снизило количество всех форм калия в почве, тогда как на вариантах К_с и С₂ фиксация К_{необм} существенно возрастает. В вариантах с К_с и С₂ прои-

зошла фиксация К_{необм} с положительным балансом +196 и +113 соответственно, в варианте С₁ отмечается незначительный отрицательный баланс (до –37), на вариантах с контролем и фоновым внесением NP удобрений снижение баланса – до –283 и –536 соответственно. Проявление фиксирующей способности почвы на варианте с внесением сынныйрита, обогащенного окисленным бурый углем, может быть обусловлено влиянием характера взаимодействия органического вещества с минеральной частью почвы.

Заключение. В микрополевых опытах, проведенных на каштановой почве сухостепной зоны в Иволгинском районе Республики Бурятия, была установлена не только агрономичес-

кая эффективность от применения калийных удобрений на основе сыннырита, но и процесс накопления доступных форм калия в почве.

Тонкоизмельченный сыннырит по влиянию на урожай не уступает стандартному калийному удобрению. Наибольшая эффективность по урожайности картофеля достигается в вариантах С₁ и С₂ с применением сынныритовой муки и сыннырита, обогащенного окисленным бурым углем от 4,2 до 7 т/га, или от 20,1 до 33 %, по сравнению с контролем. Прибавка урожайности к фону на вариантах с сынныритами составила от 16,2 до 29,1 %, а по отношению к сернокислому калию – от 2,4 до 13,8 %.

Во всех вариантах содержание водорастворимого калия не достигало значения 1 мг/100 г почвы, так как интенсивно поглощалось картофелем. Дефицит обменного калия наблюдается в контрольном варианте, максимальное накопление происходит на варианте с сынныритовой мукой С₁.

Таким образом, результаты проведенных исследований на картофеле показали, что удобрения на основе сыннырита доказывают перспективность дальнейших исследований в целях практического их применения.

Список источников

1. Убугунов Л.Л., Меркушева М.Г., Кожевникова Н.М. Агрохимическое минеральное сырье: природные цеолиты. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2012. 418 с.
2. Рогов В. Ю. Приоритеты в обеспечении минеральными элементами почв Байкальского региона. В сб.: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Развитие агропромышленного комплекса в условиях становления цифровой экономики в России и за рубежом». Иркутск, 21 октября 2021 г. Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. С. 205–214.
3. Хузиахметов Р.Х. Физико-химические основы переработки нетрадиционного агрорудного сырья на пролонгированные комплексные минеральные удобрения:[дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 2017. 35 с.
4. Antropova I.G., Budaeva A.D., Khomoksonova D.P., et al. A new method of obtaining potassium magnesium sulfate and magnesium aluminate spinel from synnyrite, a potassium-rich aluminosilicate raw material // Minerals Engineering. 2022. Vol. 187. Art. 107779. DOI: 10.1016/j.mineng.2022.107779.
5. Будаева А.Д., Антропова И.Г., Алексеева Е.Н. и др. Получение органоминеральных удобрений из отходов угледобычи и минерального сырья // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 12-3. С. 85–88. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.113. EDN:YNMNXX.
6. Муравин Э.А. Агрохимия. М.: КолосС, 2004. 384 с.
7. Убугунов Л.Л., Меркушева М.Г. Удобрение картофеля. Новосибирск: Наука, 2019. 264 с. DOI: 10.7868/978-5-02-038799-7.
8. Цыбжитов Ц.З., Цыбикдоржиев Ц.Ц., Цыбжитов А.Ц. Почвы бассейна озера Байкал. Т. 1. Генезис, география и классификация каштановых почв. Новосибирск: Наука, 1999. 128 с.
9. Сыренжапова А.С., Андреева И.М., Хубракова Б.Ц. Влияние бесхлорных калийсодержащих удобрений на продуктивность столовой свеклы при орошении. В сб.: Международная научно-практическая конференция, посвященная 85-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора, академика РАН, Заслуженного деятеля науки России Г.П. Гамзикова «Актуальные тенденции в развитии агрономической науки», Новосибирск, 30 января 2023 г. Новосибирск, 2023. С. 226–230.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 352 с.
11. Пигарева Н.Н., Пьянкова Н.А. Калийный фонд почв Бурятии // Плодородие. 2009. № 3. С. 8–9.
12. Билтуев А.С., Будажапов Л.В., Уланов А.К., и др. Калийное состояние каштановой почвы при длительном применении удобрений в сухой степи Забайкалья // Агрохимия. 2022. № 10. С. 14–18. DOI: 10.31857/S0002188122100040.

13. Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Шишков Д.Г., и др. Содержание различных форм калия в почвенном профиле дерново-подзолистой почвы Предуралья // Почвоведение. 2023. № 8. С. 943–952. DOI: 10.31857/S0032180X23600154.
14. Якименко В.Н. Баланс калия, урожайность культур и калийное состояние почвы в длительном полевом опыте в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2019. № 10. С. 16–24. DOI: 10.1134/S0002188119100156.
15. Лапа В.В. Ивахненко Н.Н., Грачева А.А. Длительность последствия остаточных количеств фосфорных и калийных удобрений // Почвоведение и агрохимия. 2014. № 1. С. 136–149.
16. Якименко В.Н. Формы калия в почве и методы их определения // Почвы и окружающая среда. 2018. Т. 1, № 1. С. 25–31. DOI: 10.31251/pos.v1i1.5.
17. Антропова И.Г., Будаева А.Д. Гуминовые вещества и калий, фосфорсодержащие органоминеральные удобрения на основе окисленных бурых углей и агоруд Бурятии // Наука и технологии Сибири. 2024. № 4. С. 94–98.
18. Алтаева О.А., Батудаев А.П. Агрохимические свойства каштановых почв склоновых агроландшафтов сухой степи Бурятии // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 6. С. 032–035.
19. Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований. М.: КолосС, 2004. 312 с.
20. Васильев И.П., Туликов А.М., Баздырева Г.И. Практикум по земледелию. М.: КолосС, 2005. 424 с.

References

1. Ubugunov LL, Merkusheva MG, Kozhevnikova N.M. *Agrochemical Mineral Raw Materials: Natural Zeolites*. Ulan-Ude: BSC SB RAS, 2012. 418 p. (In Russ.).
2. Rogov VYu. *Prioritety` v obespechenii mineral'ny`mi e`lementami pochv Bajkal'skogo regiona*. In: *Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya (s mezhdunarodnym uchastiem) «Razvitie agropromyshlennogo kompleksa v usloviyax stanovleniya cifrovoj e`konomiki v Rossii i za rubezhom»*. Irkutsk, 21 Oct 2021. Irkutsk: Irkutskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet im. A.A. Ezhevskogo; 2021. P. 205–214. (In Russ.).
3. Khuziaxmetov R.X. *Fiziko-himicheskie osnovy` pererabotki netradicionnogo agrorudnogo syr`ya na prolongirovannye kompleksnye mineral'nye udobreniya: dis. ... d-ra texn. nauk*, Kazan; 2017. 35 p. (In Russ.).
4. Antropova IG, Budaeva AD, Khomoksonova DP, et al. A new method of obtaining potassium magnesium sulfate and magnesium aluminate spinel from synnyrite, a potassium-rich aluminosilicate raw material. *Minerals Engineering*. 2022;187:107779. DOI: 10.1016/j.mineng.2022.107779.
5. Budaeva AD, Antropova IG, Alekseeva EN, et al. Obtaining organomineral fertilizers from coal mining waste and mineral raw materials. *International Research Journal*. 2017;12:85-88. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.113. EDN:YNMNXX.
6. Muravin EA. *Agroximiya*. Moscow: KolosS; 2004. 384 p. (In Russ.).
7. Ubugunov LL, Merkusheva MG. *Udobrenie kartofelya*. Novosibirsk: Nauka. 2019. 264 p. (In Russ.). DOI: 10.7868/978-5-02-038799-7.
8. Tsybzhитov TsZ, Tsybikdorzhiev TsTs, Tsybzhитov ATs. *Pochvy bassejna озера Байкал*. Т. 1. *Genezis, geografiya i klassifikaciya kashtanovyh pochv*. Novosibirsk: Nauka; 1999. 128 p.
9. Syrenzhapova AS, Andreeva IM, Khubrakova BTs. The effect of chlorine free potassium fertilizers on the productivity of table beets during irrigation. In.: *International scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the birth of Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the RAS, Honored Scientist of Russia G.P. Gamzikov "Current trends in the development of agronomic science"*. Novosibirsk; 2023. P. 226–230.
10. Dospekhov BA. *Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: ID Alliance; 2011. 352 p.
11. Pigareva NN, Pyankova NA. Potassium fund of soils of Buryatia. *Fertility*. 2009;3:8-9.

12. Biltuev AS, Budazhapov LV, Ulanov AK, et al. Potassium status of chestnut soil with long-term use of fertilizers in the dry steppe of Transbaikalia. *Agricultural chemistry*. 2022;10:14-18. DOI: 10.31857/S0002188122100040.
13. Zavyalova NE, Vasbieva MT, Shishkov DG, et al. The Content of Various Forms of Potassium in the Soil Profile of the Sod-Podzolic Soil of the Pre-Urals. *Eurasian Soil Science*. 2023;8:943-952. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0032180X23600154.
14. Yakimenko VN. Balance of Potassium, Yield and Potash Status of the Soil in Long-Term Field Experiments in Forest-Steppe of Western Siberia. *Agricultural chemistry*. 2019;10:16-24. (In Russ.). DOI: 10.1134/S0002188119100156.
15. Lapa VV, Ivakhnenko NN, Gracheva AA. Duration aftereffect of residual quantities of phosphoric and potash fertilizers. *Soil Science and Agrochemistry*. 2014;1:136-149. (In Russ.).
16. Yakimenko VN. Potassium forms in soil and methods of determination. *The Journal of Soils and Environment*. 2018;1(1):25-31. (in Russ.). DOI: 10.31251/pos.v1i1.5.
17. Antropova IG, Budaeva AD. Humic substances and potassium, phosphorus-containing organomineral fertilizers based on oxidized brown coals and agricultural ores of Buryatia. *Science and Technology of Siberia*. 2024;(4):94-98. (In Russ.).
18. Altaeva OA, Batudaev AP. Agrochemical properties of chestnut soils of slope agrolandscapes of the dry steppe of Buryatia. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2013;6:032-035.
19. Piskunov AS. Methods of agrochemical research. M.: KolosS, 2004. 312 p. (In Russ.).
20. Vasiliev IP, Tulikov AM, Bazdyreva GI. Workshop on agriculture. M.: KolosS, 2005. 424 p. (In Russ.).

Статья принята к публикации 22.12.2025 / The article accepted for publication 22.12.2025

Информация об авторах:

Бэлэгма Цыденбаловна Цыренгармаева, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

Арюна Сыдынжаповна Сыренжапова, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

Инна Германовна Антропова, заведующая лабораторией химии и технологии природного сырья, кандидат технических наук

Павел Анатольевич Гуляшинов, научный сотрудник лаборатории химии и технологии природного сырья, кандидат технических наук

Information about the authors:

Belegma Tsydenbalovna Tsyrengarmaeva, Associate Professor, Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Aryuna Sydynzhapovna Syrenzhapova, Associate Professor, Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Inna Germanovna Antropova, Head of the Laboratory of Chemistry and Technology of Natural Raw Materials, Candidate of Technical Sciences

Pavel Anatolyevich Gulyashinov, Researcher, Laboratory of Chemistry and Technology of Natural Raw Materials, Candidate of Technical Sciences

