

СОДЕРЖАНИЕ, ЗАПАСЫ И ФОРМЫ КАЛИЯ В КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ ЗАБАЙКАЛЬЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОРОШЕНИЯ И ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ (на фоне NPS) ПОД КАРТОФЕЛЬ¹

© 2020 г. М. Г. Меркушева^{1,*}, Л. Л. Убугунов¹, Л. Н. Болонева¹, И. Н. Лаврентьева¹

¹ Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, Россия

*E-mail: merkusheva48@mail.ru

Поступила в редакцию 15.08.2019 г.

После доработки 23.09.2019 г.

Принята к публикации 10.12.2019 г.

Длительное орошение каштановых супесчаных почв привело к уменьшению содержания и запасов калия за счет сокращения его структурной формы. Такое же действие отмечено при использовании фоновых удобрений (NPS) и высоких доз K180–360 в орошаемой почве под картофелем. Однако количество водорастворимого и обменного калия увеличивалось при орошении и удобрении. Баланс калия при применении возрастающих доз удобрений был отрицательным, кроме дозы K360. Установлено, что за период внесения удобрений содержание обменного калия по сравнению с исходным его количеством снизилось.

Ключевые слова: каштановые почвы, орошение, картофель, калийное состояние почвы, удобрение, баланс калия.

DOI: 10.31857/S0002188120030102

ВВЕДЕНИЕ

Калий играет огромную роль в регулировании процессов перераспределения ассимилятов между вегетативными и запасающими органами картофеля. При его недостатке у картофеля замедляется рост и цветение, меняется форма куста, уменьшается размер клубней, их форма становится удлинённой, снижается содержание крахмала. Поскольку калий влияет на отток углеводов и усложнение их структуры, то дефицит калийного питания нарушает в первую очередь углеводный метаболизм и ухудшает качество клубней картофеля [1], приводит к ослаблению устойчивости культур к возбудителям заболеваний как в период роста, так и при хранении. Особенно большое значение имеет обеспеченность калием растений картофеля в условиях орошения, когда интенсивность его выноса существенно возрастает, и запасы этого элемента в почве со временем снижаются. Для поддержания плодородия почв, их калийного фонда и увеличения урожая картофеля, его качества и сохранности клубней при лежке необходимо применение калийных удобрений. Картофель требует высоких доз внесения калия, которые сопоставимы или даже больше, чем азота [2–5].

В отечественной и зарубежной литературе приведены результаты эффективности калийных удобрений на урожай и качество клубней картофеля [6–8]. Установлено, что рост, урожай и экономическая эффективность выращивания картофеля существенно зависят от размера дозы калийных удобрений [9, 10]. Дана оценка применения возрастающих доз калийных удобрений под картофель [11–13].

Доступность калия растениям зависит от превращений его подвижных и неподвижных форм в почвах, т.е. процессов мобилизации и иммобилизации питательного элемента. Выраженность этих процессов определяется рядом факторов: типом почвы, степенью насыщенности ее калием, минералогическим составом, содержанием илстой фракции и энергией связи калия с гранулометрическими фракциями, внесением удобрений, фиксирующей способностью, а также их водным режимом [14, 15]. В почвах фиксация калия осуществляется в основном минералами с лабильной кристаллической структурой [16, 17].

Современные исследования [18] показали, что значительные запасы калия в почвах и динамическое равновесие между различными его формами затрудняют выбор показателей, характеризующих способность почвы обеспечить калийное питание растений. В той или иной степени, прямо или косвенно в процесс обеспечения растений

¹ Работа выполнена в рамках темы Госзадания № госрегистрации АААА-А17-117011810038-7.

Таблица 1. Характеристика некоторых свойств неорошаемых и орошаемых каштановых супесчаных почв

Горизонт	Глубина, см	Фракции (мм), %		рН _{H₂O}	Обменные катионы, ммоль(экв)/100 г			Плотность твердой фазы (d), г/см ³	CaCO ₃	Гумус	N _{общ}
		<0.001	<0.01		Ca ²⁺	Mg ²⁺	сумма				
Целина											
Ad	0–5	10.5	16.2	7.7	8.66	3.64	12.30	1.43	–	1.37	0.09
A1	10–20	9.6	17.7	7.7	11.07	3.59	14.66	1.55	–	1.31	0.08
AB	30–40	10.5	16.4	8.0	10.19	2.41	12.60	1.54	1.46	0.40	0.04
BCa	70–80	8.7	14.2	8.4	Не определяли			1.57	4.55	0.15	0.02
C	80–100	8.6	14.1	8.3	Не определяли			1.50	4.14	0.13	0.02
Пашня орошаемая											
Апах	0–30	11.6	19.9	7.4	11.38	4.04	12.42	1.30	–	1.58	0.11
AB	40–50	8.3	17.2	7.8	10.0	3.00	13.0	1.45	2.07	1.23	0.05
BCa	70–80	8.4	13.3	8.2	Не определяли			1.46	6.60	0.30	0.03
C	90–100	6.8	12.9	8.3	Не определяли			1.45	6.19	0.28	0.03

Примечание. Прочерк – отсутствует.

калием вовлекаются все формы калия. Поэтому невосполнение его запасов за счет калийных удобрений приводит к ухудшению плодородия почв в отношении этого элемента. В литературе имеются лишь единичные данные [19], посвященные динамике калийного состояния почв во время фаз развития растений картофеля в зависимости от внесения минеральных удобрений в богарных условиях.

Каштановые почвы Забайкалья, несмотря на высокое валовое содержание калия, характеризуются в основном низким и очень низким количеством его обменной формы и слабо выраженной динамикой ее содержания как в течение вегетационного периода, так и по годам [20]. Основной причиной недостаточного образования подвижно-обменных форм калия в каштановых почвах является их неблагоприятный водный режим. Поэтому для картофеля, как культуры высокого выноса, особенно при орошении, необходимо внесение калийных удобрений. Однако исследования по воздействию длительного орошения и возрастающих доз калийных удобрений на калийное состояние почв отсутствуют.

Цель работы – изучение многолетнего орошения на калийное состояние каштановых почв Западного Забайкалья, миграционную способность калийных удобрений, а также влияние их возрастающих доз на содержание и состав форм калия в почвах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Многолетнее исследование влияния орошения на калийное состояние каштановых орошаемых супесчаных почв проводили в 1986–2006 гг., воздействие возрастающих доз калийных удобрений

под картофель сорта Волжанин на калийный фонд орошаемых почв было изучено в 2003–2006 гг. (Иволгинский р-н Республики Бурятия, N 51° 44.6158' 0", E 107° 16.813' 0", h – 544 м н. у.м.). Некоторые характеристики их свойств приведены в табл. 1. Установлено, что длительное орошение вызвало перераспределение гранулометрических фракций, снижение содержания обменных катионов и увеличение количества карбонатов, гумуса и азота по сравнению с целиной. Это сравнение обусловлено тем, что неорошаемые пахотные каштановые почвы расположены на склонах, что исключало их орошение.

Основные свойства каштановых почв определяли общепринятыми методами [21–23], содержание и формы калия – по Пчелкину [22]. Калийный фонд почвы по этому методу представлен 4-мя взаимосвязанными формами, учитывающими прочность связей тех или иных групп катионов калия с почвенной твердой фазой: калий водорастворимый – обменный – необменный – минерального скелета (структурный).

Для учета динамики содержания обменного калия в каштановых карбонатных почвах под картофелем и в зависимости от возрастающих доз калийных удобрений (на фоне NPS) использовали метод Мачигина (1% (NH₄)₂CO₃). Определение калия проводили методом пламенной фотометрии на приборе ПФА-378.

Система обработки почвы и технология возделывания культуры – общепринятые для региона. Схема опыта, варианты: 1 – контроль (без удобрений), 2 – N120P60S30 (фон), 3 – фон + K60, 4 – фон + K120, 5 – фон + K180, 6 – фон + K360. Во всех вариантах, кроме контроля, вносили микроудобрения в дозах Zn5Cu5Co1. Площадь опытной делянки 12.5 м², повторность 4–четырекратная.

Таблица 2. Содержание форм калия (K_2O) в неорошаемых и орошаемых каштановых супесчаных почвах

Горизонт	Валовый, % ($n = 5$)	Запасы, т/га 0–20 см 0–50 см	$t_{\text{факт.}}$	Водорастворимый	Обменный	Необменный	Структурный	$K_{\text{необм}} : K_{\text{обм}}$
				мг $K_2O/100$ г				
Целина								
Ad	2.95 ± 0.15	75.0 ± 2.9		3.5	8.6	78.9	2760	9.2
A1	2.65 ± 0.14	192 ± 7		1.1	7.6	67.8	2570	8.9
AB	2.57 ± 0.15			0.6	3.0	27.1	2540	9.0
BCa	3.20 ± 0.17			0.6	6.4	41.9	3140	6.5
C	2.95 ± 0.16			0.8	4.8	52.4	2900	10.9
Пашня орошаемая								
Апах	2.36 ± 0.12	62.3 ± 3.2	2.9	0.8	10.7	116.3	2240	10.9
AB	2.50 ± 0.13	169 ± 6	2.5	0.6	5.2	37.5	2460	7.2
BCa	3.03 ± 0.17			0.4	6.8	56.0	2960	8.2
C	3.01 ± 0.17			0.4	4.4	57.6	2950	13.1

Макроудобрения вносили ежегодно: азотные – в виде $N_{\text{аа}}$, фосфорные – $P_{\text{сд}}$, калийные – $K_{\text{х}}$ и серные – в виде сульфата аммония (с обязательным учетом содержащегося в нем азота) под глубокую предпосадочную культивацию. Фоновые микроудобрения в виде сульфатов цинка, меди и кобальта также применяли под культивацию один раз в расчете на 3 года.

Орошение проводили дождеванием с поливной нормой $300 \text{ м}^3/\text{га}$. Количество поливов корректировали в зависимости от погодных условий конкретного вегетационного сезона. Влажность почвы поддерживали на уровне 70% НВ, что достигалось 5–7-ю поливами. Однако следует отметить, что в засушливые вегетационные сезоны в мае–июне влажность почвы в слое 0–20 см в основном составляла 52–55% НВ из-за высоких фильтрационных свойств супесчаной почвы.

Баланс калия рассчитан разностным методом [24], который дает возможность комплексной оценки и прогноза изменения калийного состояния почв в различных агроценозах и степени изменения эффективного плодородия и истощения доступных форм калия.

Модельный опыт по оценке миграционной способности калия в зависимости от доз удобрений и норм полива проводили на площадках размером 1 м^2 . Испытывали 2 уровня калийных удобрений: средний – K120 и высокий – K240 при норме полива 350 и $700 \text{ м}^3/\text{га}$ на каштановой супесчаной почве с большим коэффициентом фильтрации ($2.6 \text{ м}/\text{сут}$). Удобрения в виде $K_{\text{х}}$ вносили в верхний слой 0–10 см почвы. Спустя 1 сут был проведен полив нормой 350 и $700 \text{ м}^3/\text{га}$, а через 24 ч были отобраны образцы на содержание обменного калия и хлора в почве.

Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли в среде электронной таблицы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние орошения на калийное состояние каштановых почв. Длительное орошение пахотной каштановой супесчаной почвы под агроценозами без внесения компенсационных доз калийных удобрений достоверно снизило запасы валового калия в корнеобитаемом слое по сравнению с целиной за счет уменьшения содержания его структурной формы (табл. 2). Известно, что при орошении происходит постепенное растворение минералов, гидролиз расположенных на их поверхности соединений, внедрение катионов раствора в меж-слоевое пространство набухающих минералов, особенно в верхнем слое почвы. Механизм разрушения минералов водой состоит в удалении катионов с поверхности в межслоевых промежутках набухающих минералов и в октаэдрах и тетраэдрах минералов, что приводит к уменьшению запасов зольных элементов [25].

Содержание калия в почвенном растворе является универсальным диагностическим показателем обеспеченности растений и составляет в пределах $2\text{--}3 \text{ мг}/100 \text{ г}$ независимо от типа почвы и ее гранулометрического состава. По нашим данным, количество водорастворимого калия в каштановых почвах было $<1 \text{ мг}/100 \text{ г}$ по всему профилю. Выращивание культур высокого выноса калия в условиях орошения привело, согласно градациям В.Н. Якименко [13], практически к истощенному калийному состоянию пахотного горизонта по соотношению $K_{\text{необм}}/K_{\text{обм}}$, что подтверждено также снижением содержания водо-

Таблица 3. Содержание валового калия в гранулометрических фракциях неорошаемых и орошаемых каштановых супесчаных почв (слой почвы 0–20 см)

Диаметр частиц, мм	Содержание фракций, %		K ₂ O, %	
	1	2	1	2
1–0.25	38.8	36.8	3.01	3.25
0.25–0.05	29.6	26.4	1.84	1.75
0.05–0.01	11.6	16.7	1.87	1.84
0.01–0.005	3.1	1.3	1.93	1.93
0.005–0.001	4.4	7.0	2.34	2.23
<0.001	9.8	11.6	2.66	2.45

Примечание. В графе 1 – целина, 2 – орошаемая пашня.

растворимого калия по всему профилю почвы и структурной формы – в корнеобитаемом слое. Это связано с длительным орошением (15 лет) супесчаных каштановых почв, приводящим к интенсификации внутрпочвенного выветривания.

Содержание гранулометрических фракций при орошении несколько изменилось за счет снижения доли песчаной и возрастания – пылевой и ила (табл. 3). Например, доля песчаной фракции уменьшилась с 68.4% в неорошаемой почве до 63.2% в орошаемой, пылевой фракции – возросла с 19.1 до 25.0 и ила с 9.8 до 11.6% соответственно. В первичных минералах крупных фракций орошаемых почв отмечено возрастание пелитизации полевых шпатов, уменьшение количеств слюд, амфиболов и др. Продукты разрушения этих минералов пополняли илистую фракцию, увеличивая ее количество в основном в верхних горизонтах [26, 27].

Вклад гранулометрических фракций в формирование калийного фонда существенно различался в зависимости от свойств почв и их минералогического состава [28]. Относительно высокое содержание калия в крупных песчаных фракциях каштановых супесчаных почв определялось их обогащенностью полевыми шпатами и слюдами [29]. Длительное орошение снизило концентрацию калия в мелкопылевой фракции и иле, что привело к уменьшению обогащенности почв обменным калием, что, по-видимому, характерно для почв сухостепной зоны [30].

Оценка потенциальной устойчивости вымывания калия из удобрений при орошении почв. Калийные соединения минеральных удобрений легко растворимы в воде, поэтому они быстро вступают во взаимодействие с почвой, и большая их часть адсорбируется коллоидами почвы [31]. Адсорбиционно связанный на поверхности коллоидов калий легко переходит в раствор при обмене на другие катионы. При правильном орошении, обеспечивающем равномерное увлажнение почвы без

подсушивания и перегрева, повышается доступность и необменно поглощенного калия растениями. Часть калия удобрений поглощается микроорганизмами, входя в состав их клеток, что достигает до 40 кг K₂O/га.

Несоблюдение технологии орошения вызывает не только негативные изменения свойств почв, но и приводит к непродуктивному перерасходу воды и минеральных удобрений. Интенсивность вымывания питательных веществ из почвы располагается в следующем убывающем порядке: орошение и количество выпадающих осадков; гранулометрический состав почвы; дозы, формы и сроки внесения удобрений; характер использования угодья; особенности выращивания культуры – длительность периода вегетации, урожай и т.д.

Согласно полученным результатам (рис. 1а), при поливах оптимальной нормой (350 м³/га) внесение возрастающих доз калийных удобрений способствовало увеличению содержания обменного калия в пахотном горизонте каштановой почвы. Отмечено практически полное отсутствие миграции калия удобрений по профилю почв. Помимо адсорбции калия, было возможно влияние карбонатного горизонта (40–100 см), как барьера.

Воздействие большей поливной нормы воды (700 м³/га) на содержание и распределение обменного калия по профилю каштановой супесчаной почвы было значительным. Разница в содержании обменного калия в слое 0–20 см почвы между поливными вариантами была вызвана, на наш взгляд, усилением фиксации внесенного калия удобрений в условиях переувлажнения.

В почву вместе с калийными удобрениями вносят значительное количество подвижного хлора в форме хлор-иона. Принято считать, что хлорсодержащие калийные удобрения оказывают неоднозначное, скорее отрицательное воздействие на урожай и качество клубней, потому что картофель чувствителен к влиянию хлоридов. Однако известно, что хлор-ион не сорбируется почвой и мигрирует по профилю. Установлено, что картофель способен накапливать значительные количества хлоридов из почвы в начальный период роста клубней, а хлор-ион выносится картофелем лишь из поверхностного слоя [32]. При этом существенного влияния хлоридов на урожай и суммарную органолептическую оценку клубней не отмечено [33]. По данным [34], внесение возрастающих доз калийных удобрений не привело к накоплению хлора в корнеобитаемом слое почвы. Хлор-анион свободно мигрировал в почвенном профиле вследствие значительной растворимости большинства его солей во время снеготаяния, выпадения осадков и тем более при орошении, что подтверждено нашими данными (рис. 1б).

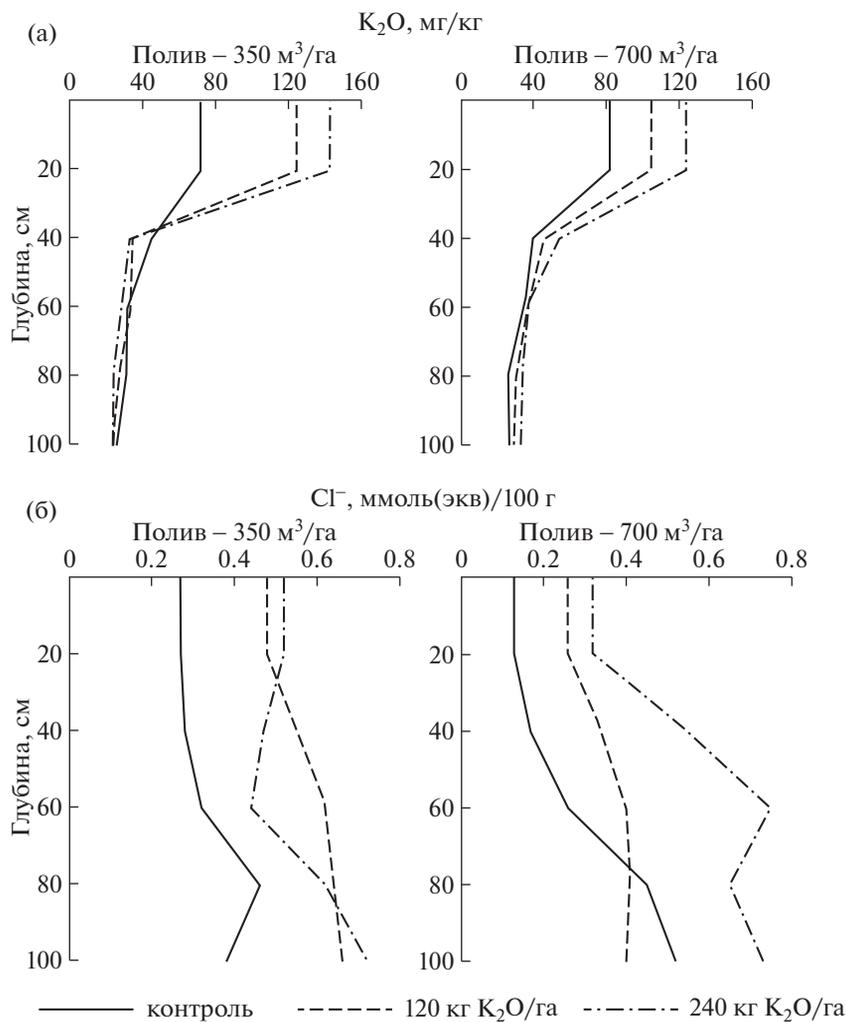


Рис. 1. Влияние норм полива и доз калийных удобрений на содержание и распределение обменного калия (а) и хлорид-иона (б) в каштановой почве.

Калийное состояние орошаемых каштановых почв при внесении возрастающих доз калийных удобрений под картофель. Следует отметить, что после окончания опытов срок орошения составил 20 лет, а содержание валового калия в контроле каштановой супесчаной почвы уменьшилось по сравнению с 15-летним орошением (табл. 4).

По нашим данным, невнесение калийных удобрений (фон) снизило количество обменного, необменного и структурного калия, в результате чего уменьшилось содержание и валового K_2O . Возрастание размеров доз калия после 3-х лет его внесения способствовало повышению количества водорастворимой и обменной форм калия, тогда как накопление необменной формы достоверно возрастало только при внесении $K360$. Растения картофеля интенсивно поглощали водорастворимый калий, его концентрация не достигала $1 \text{ мг}/100 \text{ г}$ даже при высоких дозах внесения калийных удобрений.

Использование доз $K180$ и $K360$ снизило содержание структурного калия, как и невнесение калийных удобрений. Калийное состояние почв в контроле и особенно фоновом варианте отнесено к слабо обеспеченным, при внесении возрастающих доз калийных удобрений оно повышалось до оптимально обеспеченных градаций.

Применение возрастающих доз калийных удобрений способствовало накоплению водорастворимого и обменного калия, тогда как запасы необменного оставались практически неизменными по сравнению с контролем (табл. 5), что обусловлено низким содержанием ила и невысокой емкостью катионного обмена. Отмечено снижение запасов структурного калия, особенно в фоновом варианте и при внесении доз $K180$ и $K360$, что было связано с длительным орошением.

Распределение обменного калия по почвенному профилю каштановой супесчаной почвы выявило, что калий удобрений преимущественно

Таблица 4. Содержание форм калия (K_2O) в каштановой почве (слой 0–20 см) после 3-х лет внесения калийных удобрений под орошаемый картофель, мг/100 г

Вариант	Валовый	Водорастворимый	Обменный	Необменный	Структурный	$K_{необм} : K_{обм}$
Контроль	2000	0.42	8.5	85.0	1910	10.0
N120P60S30 (фон)	1840	0.50	7.4	78.8	1750	10.6
Фон + K60	2000	0.56	9.8	80.0	1910	8.2
Фон + K120	2000	0.62	10.2	81.6	1910	8.0
Фон + K180	1930	0.75	11.5	83.1	1840	7.2
Фон + K360	1940	0.85	12.6	88.8	1840	7.0
HCP_{05} , мг/100 г	50	0.04	1.6	3.0	20	

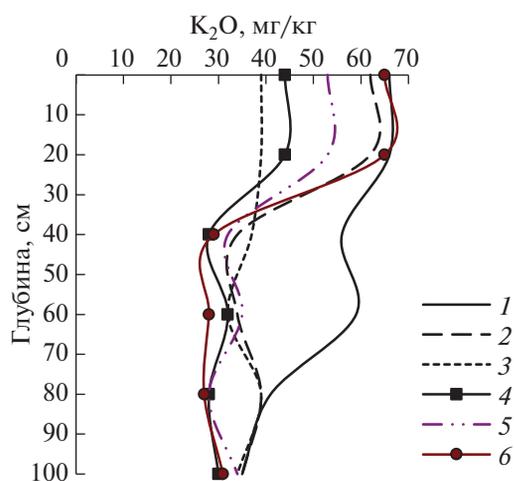
Таблица 5. Запасы форм калия (K_2O) в каштановой почве (слой 0–20 см) после 3-х лет внесения калийных удобрений под орошаемый картофель

Вариант	Водорастворимый	Обменный	Необменный	Структурный	Валовой
	кг/га		т/га		
Контроль	11.0	221	2.2	49.6	52.0
N120P60S30 (фон)	13.0	192	2.0	45.6	47.8
Фон + K60	14.6	255	2.1	49.6	52.0
Фон + K120	16.1	265	2.1	49.6	52.0
Фон + K180	19.5	290	2.2	47.7	50.2
Фон + K360	22.1	328	2.3	47.8	50.4

закреплялся в пахотном горизонте (рис. 2), что неоднократно отмечали ранее [35]. В то же время известно, что в легких почвах миграция калия может наблюдаться до 100 см [36].

Баланс калия после 3-х лет внесения возрастающих доз калийных удобрений (на фоне NPS) при выращивании картофеля на орошаемой каш-

тановой супесчаной почве был отрицательным, кроме варианта K360 (табл. 6). Известно, что при положительном балансе калия происходит накопление в почве его обменной формы [37]. Однако при положительном балансе в варианте K360 накопления обменного калия не отмечено по сравнению с его исходным количеством. Установлено, что при возделывании картофеля на легких почвах обогащение их обменным калием за счет минеральных удобрений происходило очень медленно [38]. Известно также, что обменного калия накапливается больше в сухие периоды, чем в дождливые [39]. Поэтому можно предположить, что в сухие весенне-раннелетние вегетационные сезоны, типичные для зоны каштановых почв, количество обменного калия в пахотном горизонте будет возрастать за счет его миграции вверх из более глубоких слоев. Учитывая вынос калия урожаями картофеля совместно с ботвой, по величинам запасов доступного калия можно рекомендовать дозу K180 на фоне N120P60S30 для ежегодного внесения для формирования достаточной продуктивности клубней картофеля и поддержания калийного состояния каштановых почв.

**Рис. 2.** Содержание и распределение обменного K_2O в орошаемых каштановых почвах при внесении возрастающих доз калийных удобрений, варианты: 1 – контроль, 2 – N120P60S30 – (фон), 3 – фон + K60, 4 – фон + K120, 5 – фон + K180, 6 – фон + K360.

ВЫВОДЫ

1. Длительное орошение каштановых супесчаных почв привело к снижению валового содержа-

Таблица 6. Баланс калия (K_2O) и изменение содержания его обменной формы в каштановой почве под орошаемым картофелем после 3-х лет внесения возрастающих доз калийных удобрений

Вариант	Внесено, K_2O	Вынос, K_2O	Баланс, +/-	Интенсивность баланса, %	Содержание K_2O (по Мачигину)		Прирост (+), убыль (-)
					исходное	конечное	
	кг/га				мг/кг		
Контроль	0	128	-128	0	100	66	-34
N120P60S30 (фон)	0	140	-140	0	100	62	-38
Фон + K60	60	171	-111	35.1	100	39	-61
Фон + K120	120	204	-84.1	58.8	100	44	-56
Фон + K180	180	234	-54.2	76.9	100	53	-47
Фон + K360	360	258	+102	139	100	65	-35

ния калия за счет уменьшения его структурной формы по сравнению с целиной. При этом отмечено увеличение количества обменной и необменной форм калия. Длительное орошение способствовало перераспределению гранулометрических фракций со снижением песчаных и возрастанием пылеватых фракций и ила. В последних выявлено снижение содержания валового калия.

2. Устойчивость обменного калия из удобрений (K_x) к миграции обеспечивалась при соблюдении технологии поливов, не превышающих норму $350 \text{ м}^3/\text{га}$ и не способствующих накоплению хлор-иона по всему профилю.

3. Внесение возрастающих доз калийных удобрений на фоне NPS достоверно повышало содержание водорастворимого и обменного калия, тогда как в фоновом варианте отмечено снижение содержания всех форм калия, приводившее к истощенному состоянию орошаемой почвы по этому элементу. Запасы усвояемых форм калия в каштановой почве после 3-х лет внесения удобрений позволили установить дозу калия $180 \text{ кг}/\text{га}$ (на фоне NPS) для продуктивного обеспечения ими культур.

4. Баланс калия при применении возрастающих доз удобрений был отрицательным, кроме дозы K360. Установлено, что за период внесения удобрений содержание обменного калия в орошаемой почве по сравнению с исходным его количеством снизилось.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коршунов А.В. Управление урожаем и качеством картофеля. М.: ВНИИКК, 2001. 369 с.
2. Tindall T.A. Potassium in potatoes // Proc. Univ. Idaho Winter Commodity Schools. 1992. V. 24. P. 123–124.
3. Tindall T.A., Westermann D.T. Potassium fertility management of potatoes // Proc. Univ. Idaho Winter Commodity Schools. 1994. V. 26. P. 239–242.
4. Tindall T.A., Westermann D.T., Stark J.C. Potassium management in irrigated potato systems of Southern Idaho // Proc. Univ. Idaho Winter Commodity Schools. 1993. V. 25. P. 149–154.
5. Westermann D.T., Tindall T.A., James D.W., Hurst R.L. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: yield and specific gravity // Amer. Potato J. 1994. V. 71. P. 417–431.
6. Westermann D.T., Tindall T.A., James D.W., Hurst R.L. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: sugars and starch // Amer. Potato J. 1994. V. 71. P. 433–453.
7. Lang N.S., Stevens R.G., Thornton R.E., Pan W.L., Victory S. Potato nutrient management for central Washington // Bull. EB-1871. Washington State Univ. Coop. Extension, Pullman, WA, 1999. 17 p.
8. Westermann D.T., Tindall T.A. Managing potassium in potato production systems of Idaho // Proc. Idaho Potato School. 1995. P. 201–242.
9. Moinuddin S.K., Bansal S.K., Pasricha N.S. Influence of graded levels of potassium fertilizer on growth, yield, and economic parameters of potato // J. Plant Nutr. 2004. V. 27. Iss. 2. P. 239–259.
10. Kumar G., Verama M. M., Singh J. Effect of potassium and nitrogen on yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers // Indian J. Agr. Biochem. 2004. V. 17. Iss. 1. P. 45–46.
11. Panique E., Kelling K.A., Schulte E.E., Hero D.E., Stevenson W.R., James R.V. Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction // Amer. Potato J. 1997. V. 74. Iss. 6. P. 379–398.
12. Elkhatib H.A., Elkhatib E.A., Khalaf Allah A.M., El-Sharkawy A.M. Yield response of salt-stressed potato to potassium fertilization: A preliminary mathematical model // J. Plant Nutr. 2004. V. 27. № 1. P. 111–122.
13. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
14. Конончук В.В., Никитина Л.В. Влияние систематического применения удобрений на баланс калия и некоторые показатели калийного режима светлокаштановой почвы при орошении // Агрохимия. 2002. № 6. С. 53–58.
15. Grimme H. Soil moisture and K mobility // Development of K-fertilizer recommendations: Proc. 22nd IPI

- Coll. Soligorsk, USSR. Worblaufen–Bern. Switzerland: IBI, 1990. P. 117–131.
16. Середина В.П. Калийное состояние почв и факторы его определяющие (на примере почв Западно-Сибирской равнины): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск: ТомсГУ, 2003. 42 с.
 17. Абидуева Т.В., Соколова Т.А. Глинистые минералы и калийное состояние степных почв Западного Забайкалья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 100 с.
 18. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999. 332 с.
 19. Нечаева Т.В., Назарюк В.М. Влияние минеральных удобрений на динамику запасов форм калия в эродированной черноземно-луговой почве агроценоза // Вестн. ТомскГУ. 2007. № 300–II. С. 195–199.
 20. Убугунов Л.Л., Меркушева М.Г., Будаев Б.Х. Влияние возрастающих доз калийных удобрений на урожайность, качество, сохранность картофеля и динамику обменного калия в орошаемых каштановых почвах Забайкалья // Агрохимия. 2005. № 3. С. 44–54.
 21. Агрофизические методы исследования почв. М.: Наука, 1966. 259 с.
 22. Агрохимические методы исследования. М.: Наука, 1975. 656 с.
 23. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
 24. Королева И.Е. Выбор методов оценки изменения фосфатного и калийного состояния почв при антропогенном воздействии // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2010. № 65. С. 48–57.
 25. Лабенец Е.М., Горбунов Н.И., Шурина Г.Н. Прогноз изменений свойств почв и разрушения минералов под влиянием воды и растворов // Почвоведение. 1974. № 4. С. 130–146.
 26. Чижикова Н.П. Изменение минералогического состава черноземов типичных при орошении // Почвоведение. 1991. № 2. С. 65–82.
 27. Чижикова Н.П. Преобразование минералогического состава почв в процессе агрогенеза: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1991. 49 с.
 28. Zubillaga M., Conti M. Importance of the textural fractions and its mineralogic characteristics in the potassium contents of different argentine soils // Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1994. V. 25. Iss. 5–6. P. 479–48.
 29. Загузина Н.А., Рузавин Ю.Н. Минералогический состав почв Бурятской АССР и содержание в них различных форм соединений калия // Почвенные ресурсы Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1989. С. 59–66.
 30. Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Болонева Л.Н. Калийное состояние неорошаемых и орошаемых аллювиальных дерновых почв Забайкалья // Агрохим. вестн. 2008. № 4. С. 10–11.
 31. Лысогоров С.Д., Ушкаренко В.А. Орошаемое земледелие. 1986. 588 с.
 32. Бочкарев А.В., Трефилова А.Н., Варламов В.А., Трофимов С.Н. Изучение роли хлоридов в системе почва–растение на примере картофеля // Докл. ТСХА. 2004. № 276. С. 330–333.
 33. Докшин Я.В., Федотова Л.С. Сравнительное действие хлор- и магний-, серосодержащих удобрений на продуктивность картофеля // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 1(17). С. 91–96.
 34. Конарбаева Г.А., Якименко В.Н. Изменение содержания галогенов в системе почва–растение в условиях агроценозов // Вестн. ТомскГУ. Биология. 2014. № 3(27). С. 23–35.
 35. Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Корсунов В.М. Биопродуктивность почв сенокосов и пастбищ сухостепной зоны Забайкалья. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. 515 с.
 36. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Изд-во Ледум, 2000. 185 с.
 37. Якименко В.Н. Изменение содержания форм минерального азота и калия в профиле почвы агроценозов // Вестн. ТомскГУ. 2009. № 328. С. 202–207.
 38. Пухальская Н.В., Сычев В.Г., Собачкин А.А., Павлова Н.И. Особенности калийного питания сельскохозяйственных растений в оптимальных и неблагоприятных условиях. М.: ВНИИА, 2009. 192 с.
 39. Кук Дж.У. Регулирование плодородия почвы. М.: Колос, 1970. 520 с.

Contents, Resources and Forms of Potassium in Chestnut Soils Depending on Irrigation and Growing Doses of Potassium Fertilizers (at the Background Application of NPS) under Potato

M. G. Merkusheva^{a,*}, L. L. Ubugunov^a, L. N. Boloneva^a, and I. N. Lavrentieva^a

^a Institute of General and Experimental Biology SB RAS
Sakhyanovoy str. 6, Ulan-Ude, 670047, Russia

^{*}E-mail: merkusheva48@mail.ru

Long-term irrigation of chestnut sandy loamy soils led to a decrease in the content and reserves of potassium due to a reduction in its structural form. The same effect was noted when using background fertilizers (NPS) and high doses of K180–360 in irrigated soil under potatoes. However, the amount of water-soluble and metabolic potassium increased during irrigation and fertilizer. The potassium balance with the use of increasing doses of fertilizers was negative, except for the dose of K360. It was found that over the period of fertilizer application, the content of exchange potassium decreased compared to its initial amount.

Key words: chestnut soil, irrigation, potato, potash state, fertilizer, balance.