

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ КАЛИЯ В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ ЭРОДИРОВАННЫХ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ И ИХ ТРАНСФОРМАЦИЯ В АГРОЦЕНОЗАХ

© 2021 г. В. М. Назарюк<sup>1</sup>, Ф. Р. Калимуллина<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630090 Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 8/2, Россия

\*E-mail: flura.kalimullina@issa-siberia.ru

Поступила в редакцию 20.01.2021 г.

После доработки 24.05.2021 г.

Принята к публикации 10.08.2021 г.

В микрополевых опытах на эродированных лугово-черноземных почвах изучена динамика доступных для растений основных форм калия в почвенных горизонтах. Наибольшие изменения в формах калия происходили в гумусово-аккумулятивном (А – неэродированная почва) и переходном горизонтах (А + АВ – эродированная почва). На неэродированных почвах при благоприятном увлажнении и внесении К<sub>90</sub> на фоне N<sub>90</sub>P<sub>90</sub> урожайность картофеля возросла на 0.9 кг/м<sup>2</sup>. На эродированных почвах существенный рост урожайности 0.7 кг/м<sup>2</sup> отмечали только в условиях засухи и внесении калийных удобрений.

*Ключевые слова:* эродированная почва, почвенный профиль, пищевой режим, формы калия, картофель, урожай.

**DOI:** 10.31857/S0002188121110107

### ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация продукционного процесса требует устойчивого и сбалансированного минерального питания растений, в котором калий, несомненно, играет важную роль [1–3]. Удовлетворение потребности агроценоза в этом элементе зависит в первую очередь от специфики форм калия в почве и биологических особенностей культуры [4–6]. Показано, что уровень калийного питания на разных типах почв тесно связан с их гранулометрическим и минералогическим составом, обеспеченностью растений азотом и фосфором, специфику которых следует учитывать при разработке систем удобрения [7]. Установлено, что при оценке калийного фонда пахотных почв недостаточно обращать внимание только на обменную форму калия, важно оценить и необменную, легкообменную, а также фиксирующую и десорбционную способность и другие показатели [8–10]. Нередко фиксацию калия в автоморфных почвах связывают с активностью гумусово-аккумулятивных процессов [11, 12]. Например, по данным [13], черноземы выщелоченные фиксировали 47% от внесенного калия, серые лесные почвы – 32–35, дерново-подзолистые – 23–26%. В умеренно засушливой и колочной степи легкосуглинистый чернозем обыкновенный содержал в водорастворимой форме 25–30% от внесенного калия, при этом 40–45% фиксировалось обменно

[14]. Показано [15], что при удалении органических веществ, например, пероксидом водорода, фиксирующая способность черноземной почвы резко снижалась, а подзолистой тяжелосуглинистой почвы, напротив, изменялась мало. Выявлено [16], что величина емкости катионного обмена для черноземов и каштановых почв Забайкалья обусловлены на 2/3 илистой фракцией на 1/3 – гумусом; кроме этого, эти почвы очень бедны легкообменной, обменной и необменной формами калия.

Актуальность исследования калийной проблемы обычно связывают с отзывчивостью растений на внесение калия. Обобщение многолетних экспериментов показало, что доступность почвенного калия не стабильна, она зависит от многих природных и антропогенных факторов [17–20], на которые в исследованиях следует обращать внимание. Отметим также, что в этой проблеме наиболее исследованными оказались автоморфные почвы, в то время как полугидроморфные лугово-черноземные – крайне недостаточно. В связи с малой изученностью данной проблемы и ее актуальностью в прикладном аспекте требуется проведение дальнейших исследований.

Цель работы – изучение динамики содержания форм калия в эродированной лугово-черноземной почве и обоснование эффективности применения калийных удобрений в различных погодных условиях.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Приобье Новосибирской обл. в Тогучинском р-не (территория Присалаирья, юго-восток Западно-Сибирской равнины). Объекты исследования — лугово-черноземные тяжелосуглинистые почвы (склон северо-восточной экспозиции) различной степени эродированности (неэродированные и среднеэродированные).

Микрополевые опыты с картофелем (*Solanum tuberosum*) сорта Луговской проводили в четырехкратной повторности на делянках общей площадью 1 м<sup>2</sup>, обернутых полиэтиленовой пленкой, и учетной — 0,25 м<sup>2</sup>. Минеральные удобрения вносили в виде N<sub>м</sub>, P<sub>сг</sub> и K<sub>х</sub>, исходя из расчета N90P90K90 под картофель.

Лугово-черноземные почвы формируются в условиях лесостепной зоны при периодически промывном водном режиме, что сказывается как на пищевом режиме, так и продуктивности растений. В условиях лесостепной зоны сумма положительных температур за период май—август изменялась в пределах 1497–1993°C, количество осадков — 112–364 мм. За время проведения исследования (2004–2013 гг.) сумма положительных температур (t > 0°C) за период май—август составляла в среднем 1645°C, количество осадков — 212 мм. Особенно значительные изменения произошли в 2008 г. В течение августа и до середины сентября не выпало осадков вообще, что сказало на продуктивности растений.

Аналитическую работу выполняли в трехкратной повторности следующими методами, определяли: гумус — по Тюрину, общий азот в растительных образцах — по Кьельдалю с предварительным озолением образцов в смеси серной и хлорной кислот, в почвенных образцах — с восстановителем Кудеярова. Зольные питательные элементы в почве определяли следующими методами: легкообменный калий — в вытяжке 0,005 н. CaCl<sub>2</sub>, обменный — в 1 н. CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (по Масловой), необменный — в 2 н. HCl (по Пчелкину) на атомно-адсорбционном спектрофотометре, нитраты — потенциометрическим способом с использованием ион-селективного электрода. Запасы почвенного калия рассчитывали, исходя из содержания элемента (данные получены нами) и плотности сложения для лугово-черноземной почвы [21]. Усвояемый калийный пул в почве определяли как суммарную величину водорастворимой, легкообменной, обменной и необменной форм. Полагали, что структурный и матричный калий при применении минеральных удобрений вряд ли могут иметь существенное значение в калийном питании растений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование калийного состояния почвы показало, что соотношение форм калия зависело от степени ее эродированности и распределения по почвенному профилю (табл. 1). Содержание легкообменного калия изменялось по генетическим горизонтам в значительных пределах. Следует отметить, что данные содержания легкообменной формы калия (вытяжка 0,005 н. CaCl<sub>2</sub>) и калия почвенного раствора (вытяжка H<sub>2</sub>O) в лугово-черноземной почве были близки между собой. В первом случае содержание калия составляло 0,5–0,7 мг, во втором — 0,6 мг/100 г. В неэродированной лугово-черноземной почве содержание наиболее доступной формы калия варьировало довольно широко в гумусово-аккумулятивном горизонте. Меньше всего содержание легкообменного калия было в слое 0–10 см, что, вероятно, связано с его различным поглощением корневыми системами растений. В переходном горизонте АВ, а также иллювиальных горизонтах В1 и В2 отмечено значительное снижение содержания легкообменного калия. В эродированной почве максимальное накопление легкообменного калия выявлено в горизонтах А + АВ, в более глубоких почвенных слоях различия были менее значительными.

Другой доступной для растений формой питательного элемента является обменный калий. Содержание его в неэродированной почве не очень четко различалось в генетических горизонтах. Больше всего различия были заметны в гумусово-аккумулятивном горизонте А (слой 20–30 см), в других почвенных слоях различия в содержании обменного калия были менее заметными. В эродированной почве в отличие от неэродированной различия в содержании обменного калия были существенными в горизонтах А+АВ и переходном горизонте АВ. Водная эрозия оказала значительное влияние на содержание этой формы калия особенно в слоях 0–10 и 20–30 см, различия достигали двукратной разницы. Это связано, прежде всего, с усвоением калия корневой системой растений и постоянным обновлением верхних почвенных слоев при систематической водной эрозии в весенний период во время снеготаяния и летом в результате выпадения обильных осадков. В иллювиальных горизонтах В1 и В2, а также в материнской породе С значительных изменений в содержании обменного калия не наблюдали.

Несколько иначе происходило распределение в почвенном профиле содержания необменной формы калия. В гумусово-аккумулятивном и переходном горизонтах неэродированной почвы наблюдали равномерное распределение этого

**Таблица 1.** Профильное распределение форм калия и его валовое содержание в горизонтах лугово-черноземных почв при паровании без удобрений

Глубина, см	Горизонт	Легкообменный	Обменный	Необменный	Валовой*, %
		мг/100 г			
Неэродированная почва					
0–10	Апах	1.27	14.7	60.0	2.19
10–20		1.83	16.8	63.1	2.19
20–30	А	2.19	18.3	64.0	1.83
30–40		1.45	15.3	62.7	1.92
40–50	АВ	1.00	14.2	61.8	2.11
50–60		0.92	14.0	57.4	2.55
60–70	В1	0.80	13.5	50.5	2.55
70–80		0.74	13.8	52.3	1.96
80–90	В2	0.75	14.6	47.8	–
90–100		0.80	15.7	35.4	–
Среднеэродированная почва					
0–10	А + АВ	2.00	20.3	70.0	–
10–20		1.75	18.7	67.9	–
20–30	АВ	0.80	10.0	58.0	–
30–40		0.96	12.8	70.4	–
40–50	В1	1.34	14.2	74.8	–
50–60		1.15	15.5	72.5	–
60–70	В2	0.80	16.0	73.0	–
70–80		0.77	17.8	65.9	–
80–90		0.92	16.5	58.0	–
90–100	С	1.00	18.0	61.3	–
<i>НСП<sub>05</sub></i>		0.39	2.02	9.0	–

\*По данным В.М. Попова [22].

элемента, что свидетельствовало о невысокой калийной нагрузке на агроценоз. С глубиной содержание необменного калия в почве снижалось и достигло минимальной величины в горизонте В2. Водная эрозия почвы отражалась на содержании необменного калия по всему почвенному профилю. Его повышенное количество отмечали в горизонтах А + АВ, а также иллювиальном горизонте В1 и частично – В2. И только в нижней части горизонта В2 и материнской породе С отмечали существенное снижение содержания необменного калия в эродированной почве.

Самой значительной формой в калийном питании растений является валовое содержание элемента, которое при определенных условиях может существенно влиять на обеспеченность культуры калием. По данным [22], в неэродированных лугово-черноземных почвах Приобья в пахотном слое отмечено повышенное содержание валового калия. С глубиной оно заметно уменьшалось и достигало минимума в подпахотном горизонте А и частично в верхнем переходном горизонте АВ. В нижней части этого горизонта и иллювиального В1 отмечено повышенное

содержание валового калия. Из представленных данных видно, что генезис почвы существенно сказывался на содержании форм калия, что могло отразиться на продуктивности растений. Для выяснения связи растительного организма с эндогенным (почвенным) и экзогенным минеральным питанием калием исследовали содержание форм калия в слоях почвы через каждые 20 см в динамике при выращивании калийлюбивой культуры картофеля и внесении повышенной дозы КС1.

Показано, что в неэродированной почве содержание легкообменного калия в слое 0–20 см постепенно снижалось и достигло минимума к периоду интенсивного клубнеобразования, а затем вновь стало повышаться (табл. 2). Это объясняется различной интенсивностью потребления элемента растениями в разные периоды их развития. В слое 20–40 см содержание этой формы калия снизилось в 1.5–2.0 раза, а затем в более глубоких слоях постепенно стабилизировалось. Внесение азота и фосфора мало повлияло на содержание легкообменного калия во всех слоях почвы и только внесение К90 стабилизировало содержание этой формы к фазе бутонизации и

**Таблица 2.** Содержание легкообменного калия в почве при вегетации растений картофеля при различных уровнях калийного питания, мг/кг

Глубина, см	Фаза развития картофеля							
	A		B		C		D	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль без удобрений								
0–20	1.70	2.22	1.19	2.03	1.11	1.29	1.84	1.35
20–40	0.61	0.95	0.77	0.61	0.43	0.46	0.44	0.57
40–60	0.47	0.84	0.80	0.63	0.62	0.49	0.47	0.37
N90P90								
0–20	1.16	2.00	0.91	1.73	0.59	0.90	1.12	0.71
20–40	0.77	0.56	0.49	0.64	0.55	0.43	0.60	0.47
40–60	0.41	0.53	0.60	0.62	0.37	0.63	0.48	0.37
N90P90K90								
0–20	1.87	2.73	1.26	1.69	0.77	0.89	0.47	0.87
20–40	0.89	0.57	0.49	0.70	0.63	0.44	1.32	0.39
40–60	0.46	0.55	0.59	0.64	0.71	0.47	1.11	0.31
HCP <sub>0.5</sub>	0.39		0.32		0.29		0.35	

Примечания. 1. A – бутонизация, B – цветение, C – клубнеобразование, D – уборка. 2. Графа 1 – незэродированная почва, 2 – эродированная почва. То же в табл. 3, 4.

цветения картофеля. По мере усиления темпов усвоения калия картофелем в период клубнеобразования содержание легкообменной формы заметно снижалось даже при внесении калийного удобрения. Развитие растений в период клубнеобразования уже не сказалось на содержании легкообменного калия в почве.

Процессы водной эрозии по-разному влияли на калийный режим лугово-черноземной почвы. В контрольном варианте в слоях 0–20 см и особенно 40–60 см к фазе бутонизации содержание легкообменного калия в среднеэродированной почве по сравнению с незэродированной существенно возросло, тогда как в последующих фазах развития картофеля значительных отклонений в его содержании водная эрозия не вызвала. Внесение азота и фосфора мало влияло на изменение содержания легкообменного калия в почве, и только под влиянием внесения калийных удобрений на фоне N90P90 в отдельных случаях наблюдали существенную разницу. Например, в слое 0–20 см в период бутонизации картофеля содержание легкообменного калия на эродированной почве возросло примерно в 1.5 раза, к периоду уборки увеличилось еще значительно – в 1.8 раза. В более глубоких слоях 20–40 и 40–60 см изменения содержания этой формы были гораздо больше; соотношение содержания между эродированной и незэродированной почвой составили

**Таблица 3.** Динамика содержания и запасов обменного калия в эродированных почвах при применении удобрений

Глубина, см	Фаза развития картофеля							
	A		B		C		D	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль без удобрений								
0–20	18.0	20.4	15.9	19.2	13.5	17.5	19.8	15.9
	450	510	397	480	337	437	495	397
20–40	11.8	15.8	10.9	11.5	9.2	10.6	10.9	12.1
	330	442	305	322	258	297	272	302
40–60	10.2	17.9	12.3	14.5	9.0	13.9	14.1	8.6
	304	533	366	432	268	414	420	256
N90P90								
0–20	15.1	21.1	11.5	15.3	11.5	15.4	17.4	13.9
	377	527	287	382	287	385	435	347
20–40	11.7	13.4	8.6	12.0	9.8	11.3	11.0	9.8
	292	335	215	300	245	282	275	245
40–60	10.1	15.5	9.6	10.9	9.4	12.2	15.5	9.2
	328	462	286	325	280	363	462	274
N90P90K90								
0–20	16.9	22.7	15.7	22.8	14.0	14.2	18.8	15.6
	422	567	392	570	359	355	470	390
20–40	10.5	12.6	8.0	12.0	11.6	11.0	15.0	9.1
	262	315	200	300	290	275	375	227
40–60	10.6	14.9	10.0	15.6	11.5	12.9	15.7	8.9
	316	444	258	465	343	384	468	265
HCP <sub>0.5</sub>	2.7		1.7		2.8		1.6	
	23		29		31		28	

Примечание. Над чертой – содержание (мг/100 г), под чертой – запасы (кг/га).

3.4 и 3.6 раза. Существенное снижение содержания легкообменного калия в почве было обусловлено повышенной потребностью растений в калийном питании при формировании клубней [23].

Содержание обменного калия в отличие от легкообменного подвержено изменениям в меньшей степени, однако эти изменения проявляются довольно отчетливо. В незэродированной почве содержание обменного калия в слое 0–20 см снижалось до начала клубнеобразования, а затем оно снова повысилось (табл. 3). В более глубоких слоях 20–40 и 40–60 см изменения были заметны лишь в периоды клубнеобразования и уборки. Водная эрозия оказала существенное влияние на содержание обменного калия в почве. Оно постепенно снижалось и достигло минимума в конце вегетационного периода. С глубиной содержание обменного калия существенно снижалось, что свидетельствовало об интенсивном усвоении эле-

**Таблица 4.** Содержание необменного калия в эродированной почве и его доля в усвояемом растениями калийном пуле

Глубина, см	Фаза развития картофеля							
	А		В		С		D	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Контроль без удобрений								
0–20	73.0	68.9	95.4	84.8	36.1	51.2	68.9	65.1
	79	75	85	80	71	73	76	80
20–40	59.8	67.6	88.4	78.8	28.1	43.7	60.1	55.9
	83	80	88	87	74	80	84	81
40–60	69.1	68.4	87.1	82.9	26.3	50.7	60.2	56.7
	87	78	87	85	73	78	80	86
N90P90								
0–20	56.3	69.9	87.1	96.0	35.2	47.2	68.6	59.5
	74	76	84	82	75	71	76	77
20–40	65.6	71.0	81.8	77.4	36.8	49.4	66.7	55.2
	84	83	89	81	78	81	85	84
40–60	57.9	63.1	79.7	81.1	33.9	48.5	65.8	53.5
	84	83	89	81	78	81	85	84
N90P90K90								
0–20	69.8	60.0	75.3	88.5	30.4	44.8	67.2	50.5
	79	70	81	78	67	75	82	75
20–40	59.5	67.4	74.7	90.0	42.4	37.3	65.3	55.6
	84	74	89	88	78	77	80	85
40–60	51.1	58.5	82.0	84.4	27.9	41.0	63.6	51.4
	82	80	88	84	69	75	79	85
HCP <sub>05</sub>	3.9		3.2		2.9		3.5	

Примечание. Над чертой – мг/100 г, под чертой – %.

мента растениями в этот период и более низкой емкости поглощения гумусово-аккумулятивного горизонта А и переходного горизонта АВ. Внесение азота и фосфора способствовало снижению содержания обменного калия в почве, особенно в периоды его максимального усвоения растениями. Применение калийного удобрения улучшило калийное питание, в результате чего повысилось содержание этой формы, особенно в фазах бутонизации и цветения. Показано [24], что при длительном возделывании зерновых культур на серой лесной почве снижение содержания обменного калия проявилось даже в слое 0–60 см.

Эрозионные процессы в лугово-черноземной почве затронули запасы обменного калия, которые изменялись в значительных пределах. Больше всего содержание этой формы было в подпахотном (переходном горизонте АВ) и пахотном слоях эродированной почвы, что связано, вероятно, с постоянным обновлением верхнего слоя

почвы при снеготаянии и бурных ливневых осадках. В слое 40–60 см повышенное содержание обменного калия связано с особенностями поглощения калия корневой системой в начале роста и развития картофеля, который менее развит на таких почвах по сравнению с неэродированными почвами. Внесение азотно-фосфорных удобрений способствовало уменьшению содержания обменного калия, хотя иногда наблюдали противоположную зависимость. Например, в период уборки в переходном горизонте АВ неэродированной почвы запасы обменного калия были существенно больше, чем в других почвенных горизонтах. Внесение калийного удобрения на фоне N90P90 способствовало стабилизации запасов этой формы, хотя иногда наблюдали некоторое отклонение от выявленной закономерности. В эродированных почвах в период уборки отмечали снижение запасов обменного калия, что связано с его интенсивным потреблением растениями при формировании клубней.

Важное значение в калийном питании растений имеет необменный калий, количество которого во многом зависит от природных и антропогенных факторов. В начальный период вегетации растений, в фазах бутонизации и цветения содержание обменного калия в почве изменялось мало (табл. 4). Однако в период клубнеобразования потребность растений в калии резко возрастала, и это отражалось на его содержании в пахотном и подпахотном слоях, а также в переходном горизонте АВ. В целом эрозионные процессы мало влияли на содержание обменного калия. Исключение составлял лишь период клубнеобразования картофеля, в котором происходили изменения содержания обменного калия во всех изученных почвенных слоях. Внесение азота и фосфора усилило потребление почвенного калия, что отразилось на его содержании особенно в пахотном горизонте. Добавление к питательной смеси калия повысило его содержание в обменной форме в период вегетации растений, исключение составила лишь фаза клубнеобразования. В этот период при внесении калийных удобрений не удалось сохранить первоначальный уровень содержания обменного калия в почве.

Изучение динамики его содержания показало, что все исследованные формы находились в усвояемом для растений состоянии и это отражалось на поведении форм калия в почве. Показано, что доля обменного калия изменялась в небольших пределах в большинстве случаев от 70 до 80%.

Изменение калийного питания при внесении минеральных удобрений по-разному влияло на урожай картофеля (табл. 5). В контрольном варианте величина этого показателя изменялась зна-

**Таблица 5.** Урожай клубней картофеля (кг сырой массы/м<sup>2</sup>) в связи с эродированностью почвы и применением удобрений

Вариант	Год исследования			Среднее за 3 года
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	
Неэродированная почва				
Контроль	<u>3.48</u>	<u>3.20</u>	<u>2.40</u>	<u>3.03</u>
без удобрений	0	0	0	0
N90P90	<u>4.38</u>	<u>3.85</u>	<u>2.75</u>	<u>3.66</u>
	0.90	0.65	0.35	0.63
N90P90K90	<u>5.28</u>	<u>4.70</u>	<u>3.30</u>	<u>4.43</u>
	1.80	1.50	0.90	1.40
Эродированная почва				
Контроль	<u>2.47</u>	<u>2.10</u>	<u>2.17</u>	<u>2.25</u>
	0	0	0	0
N90P90	<u>3.48</u>	<u>3.07</u>	<u>3.16</u>	<u>3.24</u>
	1.01	0.97	0.99	0.99
N90P90K90	<u>3.37</u>	<u>3.13</u>	<u>3.87</u>	<u>3.46</u>
	90	1.03	1.70	1.21
HCP <sub>05</sub>	<u>0.63</u>	<u>0.51</u>	<u>0.38</u>	
	0.35	0.19	0.17	

Примечание. Над чертой – урожай, под чертой – прибавка к контролю.

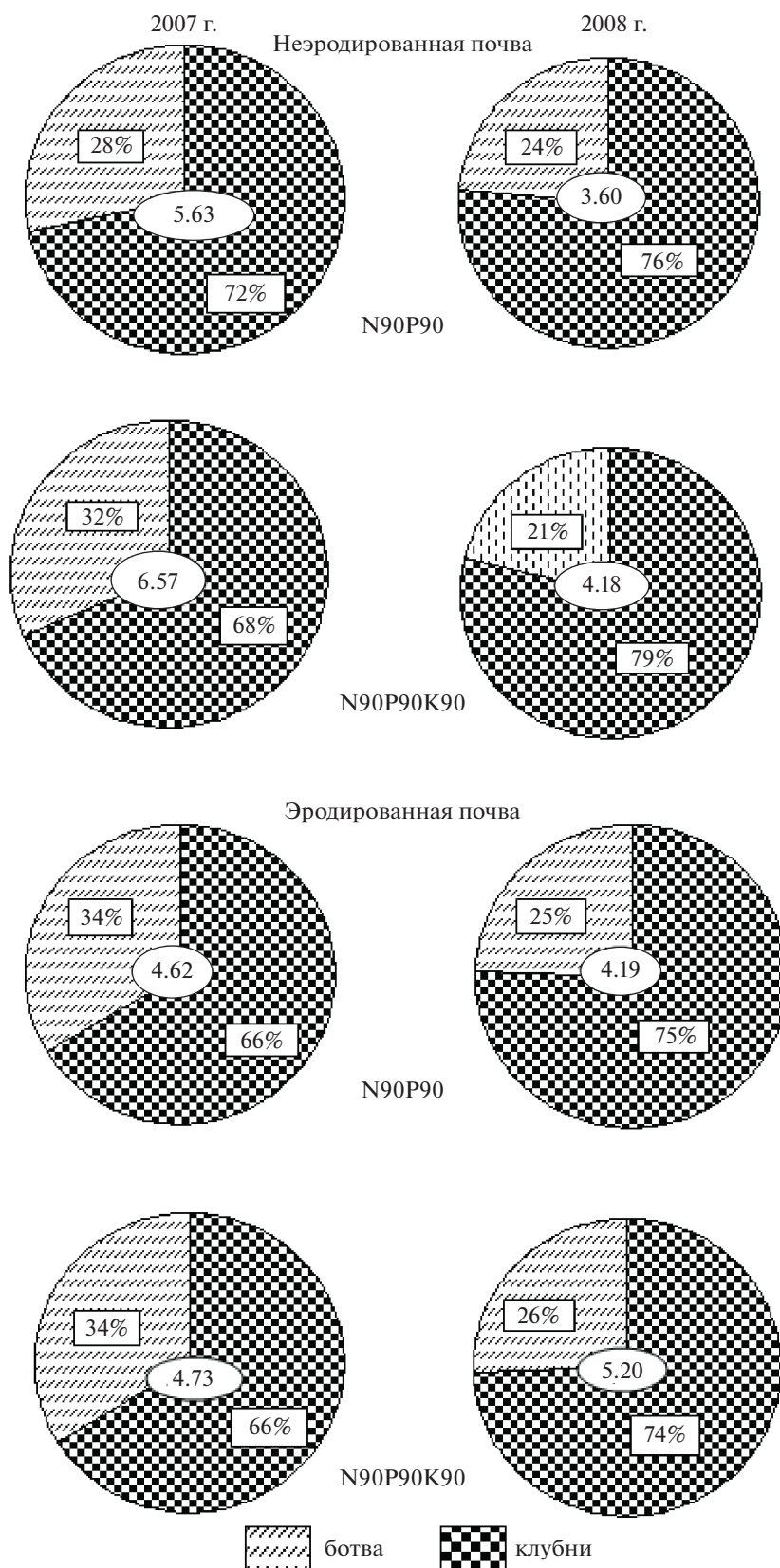
чительно, что было связано в первую очередь с количеством осадков, выпавших в течение вегетационного периода. Значительное снижение урожая картофеля также наблюдали на эродированной почве: от 0.2 до 1.0 кг/м<sup>2</sup>. Эродированность почвы сильнее всего сказалась на урожае клубней в относительно благоприятные годы, различия в контрольном варианте составили всего 0.37 кг/м<sup>2</sup>. Величина надземной биомассы также зависела от погодных условий, особенно сильное снижение произошло в 2008 г. Внесение азотно-фосфорных удобрений повысило накопление органических веществ как в клубнях, так и в надземной биомассе. Особенно сильное снижение величины вегетативной массы наблюдали на эродированной почве. В условиях засухи очень важно добиваться экономного расходования запасов почвенной влаги.

На неэродированной почве прибавка урожая от внесения калия составила 0.55 кг/м<sup>2</sup>, в то время как на эродированной она достигла 0.71 кг/м<sup>2</sup>. Разницы в биомассе ботвы, сформированной на почве без нарушений в пахотном горизонте, не было обнаружено, тогда как на эродированной отмечали существенные различия.

Влияние калийного удобрения отразилось не только на формировании надземной биомассы,

но и ее распределении по органам как при благоприятной водообеспеченности, так и почвенной засухе (рис. 1). На неэродированной почве при внесении азота, фосфора и калия накопление биомассы ботвы было несколько больше, чем при внесении N90P90. Доля клубней и ботвы в вариантах отличалась мало, о чем свидетельствовала невысокая отзывчивость растений на добавочное калийное питание. На эродированной почве при благоприятном водном режиме накопление надземной биомассы картофеля снижалось, в этом случае доля клубней от общей биомассы составила 66%. В условиях засухи накопление надземной биомассы при внесении калийных удобрений существенно повысилось, доля клубней достигла 74%. Стимулирование накопления биомассы картофеля в случае внесения калийных удобрений на эродированной почве было связано с более экономным расходованием влаги в течение вегетационного периода.

Большие различия в накоплении биомассы происходили при различном поступлении влаги в почву и в зависимости от состояния растений в посеве. На фоне относительно благоприятного водного режима почвы накопление надземной биомассы повышалось при внесении калийных удобрений, тогда как на эродированных соответствующего отклика растений на калийное питание не подтвердилось. И только в условиях засухи на эродированной почве существенно повысилось накопление биомассы картофеля, что можно объяснить рядом причин (рис. 2). Прежде всего, к ним можно отнести повышение осмотического давления в клетке, изменение транспирации в листьях и снижение процессов дыхания в растениях при усилении уровня калийного питания [25]. Отмеченные причины могут способствовать более экономному расходанию влаги и снижению расходов углеводов на дыхание. О возможности повышения устойчивости зерновых культур при внесении калийных удобрений к условиям засухи отмечено ранее [26]. В целом за вегетационный период картофеля потребность растений в калийном питании удовлетворялась преимущественно за счет легкообменной, обменной и не-обменной форм. По мере того как корневая система усваивала ионы калия, одновременно они восстанавливались за счет непрерывных процессов фиксации↔десорбции, содержание и скорость которых стремятся сохранить существующее природное равновесие. При этом, чем меньше энергии требуется затратить на поглощение калия растениями, тем быстрее он усваивается корневой системой растений и при благоприятных условиях его содержание восстанавливает-



**Рис. 1.** Влияние эродированности почв и калийных удобрений на накопление биомассы картофеля и ее распределение между органами растения.

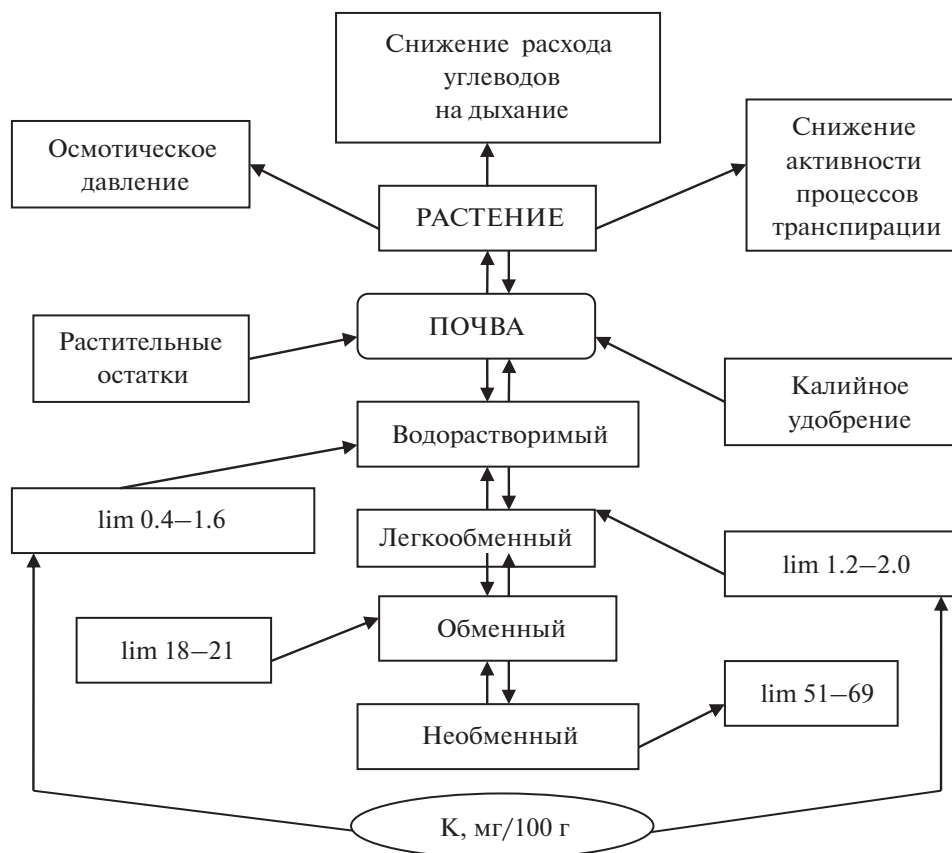


Рис. 2. Схема взаимодействия основных потоков калийного питания растений картофеля на эродированной почве при засухе.

ся до природного равновесного состояния. В лугово-черноземной почве активное участие в почвенном калийном питании принимали участие все изученные формы калия, от функционирования которых во многом зависели плодородие почвы и продуктивность растений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что распределение форм калия в почвенном профиле во многом зависело от генезиса почвы, ее эродированности и состояния агроценоза. Содержание легкообменного калия изменялось по генетическим горизонтам, варьировало в значительных пределах, особенно в гумусово-аккумулятивном горизонте как эродированных, так и неэродированных почв. Значительно меньше были изменения его содержания в других горизонтах, что, вероятно, связано с его различным поглощением корневой системой растений. Содержание обменного калия в неэродированной почве изменялось в генетических горизонтах по-разному. Больше всего различия содержания этой формы калия были заметны в гумусово-аккумулятивном горизонте А (слой

20–30 см), в других почвенных горизонтах различия в содержании обменного калия были в основном несущественными. В эродированной почве различия были значительными лишь в горизонтах А + АВ и переходном горизонте АВ. В иллювиальных горизонтах В1 и В2, а также в материнской породе С значительных изменений содержания обменного калия и его запасов не наблюдали. Необменный калий среди других форм был наиболее равномерно распределен в почвенном профиле, что свидетельствовало о невысокой калийной нагрузке на агроценоз. Однако в период клубнеобразования потребность растений картофеля в калии резко возрастала независимо от эродированности почв, что отразилось на его содержании в пахотном и подпахотном слоях, затрагивая более глубокий переходный горизонт АВ.

Внесение калийных удобрений в неэродированные почвы повышало урожай картофеля при благоприятном режиме увлажнения, при внесении в эродированные почвы он не изменялся. В условиях засухи применение калийных удобрений увеличивало урожай клубней только на эродированных почвах.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минеев В.Г.* Агрохимические и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999. 332 с.
2. *Heming S.D.* Potassium balances for arable soils in southern England 1986–1999 // *Soil Use Manag.* 2004. V. 20. № 4. P. 417.
3. *Кудеяров В.Н., Семенов В.М.* Оценка современного вклада удобрений в агрогеохимический цикл азота, фосфора и калия // *Почвоведение.* 2004. № 12. С. 1440–1446.
4. *Прокошев В.В., Дерюгин И.П.* Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 185 с.
5. *McKenzie A.F., Phillip L.E., Kirby P.S.* Effect added urea and potassium chloride on yields of corn over four years and on soil potassium // *Agronomy.* 1988. V. 80. № 5. P. 773–777.
6. *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.
7. *Шаймухаметов М.Ш., Травникова Л.С.* Калийное состояние пахотных почв европейской территории России // *Почвоведение.* 2000. № 3. С. 329–339.
8. *Важенин И.Г., Карасева Г.И.* О формах калия в почве и калийном питании растений // *Почвоведение.* 1959. № 3. С. 11–21.
9. *Якименко В.Н.* Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 227 с.
10. *Медведева О.П.* К вопросу оценки обеспеченности растений доступным калием // *Агрохимия.* 1987. № 1. С. 116–138.
11. *Никитина Л.В.* Исследование калийного режима разных типов почв в длительных опытах // *Агрохимия.* 2018. № 1. С. 39–51.
12. *Прокошев В.В.* Актуальные вопросы агрохимии калийных удобрений // *Агрохимия.* 1985. № 4. С. 32–41.
13. *Середина В.П.* Калий в автоморфных почвах на лессовидных суглинках. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1984. 216 с.
14. *Пивоварова Е.Г.* Влияние калийных удобрений на содержание форм калия в почве и урожайность сельскохозяйственных культур // *Агрохимия.* 1993. № 2. С. 44–49.
15. *Пчелкин В.У.* Почвенный калий и калийные удобрения. М.: Колос, 1966. 336 с.
16. *Абидуева Т.И., Соколова Т.А.* Глинистые минералы и калийное состояние степных почв Западного Забайкалья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 101 с.
17. *Важенин И.Г., Карасева Г.И.* Об агрохимических методах определения подвижных форм калия в почве // *Почвоведение.* 1959. № 8. С. 87–91.
18. *Прокошев В.В., Дерюгин И.П., Травников Л.С.* Калийное состояние пахотных почв Европейской территории России // *Почвоведение.* 2000. № 3. С. 329–339.
19. *Нечаева Т.В., Назарюк В.М.* Запасы калия в эродированных почвах при внесении минеральных удобрений // *Плодородие.* 2008. № 1. С. 12–14.
20. *McLean A.J.* Fixation of potassium in some Canadian soil // *Can. Soil. Sci.* 1962. V. 42. № 1. P. 96–104.
21. *Ковалев Р.В., Ильин В.Б., Трофимов С.С.* Почвы Новосибирской области. Новосибирск: Наука, СО, 1966. 422 с.
22. *Попов В.М.* Пищевой режим орошаемых лугово-черноземных почв и влияние минеральных удобрений на овощные культуры // *Плодородие почв Новосибирского Приобья.* Новосибирск: Наука, СО, 1971. С. 131–177.
23. *Назарюк В.М., Нечаева Т.В.* Калийное состояние эродированных почв Западной Сибири // *Земледелие.* 2007. № 1. С. 16–17.
24. *Якименко В.Н.* Изменение содержания калия и магния в профиле почвы длительного полевого опыта // *Агрохимия.* 2019. № 3. С. 19–29.
25. *Куперман И.А., Хитрово Е.В.* Дыхание как элемент продукционного процесса растений. Новосибирск; Наука, СО, 1977. 183 с.
26. *Ушаков Р.Н., Косорукова Т.Ю.* Повышение устойчивости зерновых культур к почвенной засухе при использовании калийных удобрений // *Изв. ТСХА,* 2004. Вып. 3. С. 63–66.

## Distribution of Potassium forms in the Soil Profile of Eroded Meadow-Chernozem Soils and Their Transformation in Agrocenoses

V. M. Nazariuk<sup>a</sup> and F. R. Kalimullina<sup>a, #</sup>

<sup>a</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS  
prosp. akad. Lavrentieva 8/2, Novosibirsk 630090, Russia

<sup>#</sup>E-mail: flura.kalimullina@issa-siberia.ru

In micro-field experiments on eroded meadow-chernozem soils, the dynamics of the main forms of potassium available to plants in soil horizons was studied. The greatest changes in the forms of potassium occurred in the humus-accumulative (A – non – eroded soil) and transitional horizons (A + AB-eroded soil). On non-eroded soils, with favorable moisture and the introduction of K90 against the background of N90P90, potato yield increased by 0.9 kg/m<sup>2</sup>. On eroded soils, a significant increase in the yield of 0.7 kg/m<sup>2</sup> was noted only in conditions of drought and the application of potash fertilizers.

*Key words:* eroded soil, soil profile, food regime, forms of potassium, potatoes, yield.