

КАЛИЙНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ И НЕФТЯНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВ

**В.М. Назарюк, д.б.н., Ф.Р. Калимуллина, к.б.н., Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090, Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 8/2, Россия
E-mail: kalimullina@issa-siberia.ru**

Загрязнение серой лесной почвы нефтью в дозе 2 т/га привело к снижению на 15 % по сравнению с контролем содержания обменного калия и его запасов в пахотном слое в первый год исследований. В этот же период резко снизилась (в 3,8 раза) урожайность зерновых культур от токсического действия углеводородов. Внесение минеральных удобрений в сочетании с органическими улучшало калийное питание, стимулировало продуктивность растений. Увеличение урожайности сопровождалось повышением содержания калия в растениях, что отражалось на выносе элемента зерном и надземной биомассой.

Ключевые слова: органические и минеральные удобрения, почва, нефть, калий, зерновые культуры.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.117.17

Экологическое нарушение в системе минерального питания растений, связанное с загрязнением почвы нефтью и нефтепродуктами, – одно из наиболее опасных [1, 2]. Растения, выращенные даже при разовом воздействии нефти на почвенный покров, значительно страдают от углеводородного токсикоза [3]. Однако, сбалансированное минеральное питание активизирует ростовые процессы и повышает устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды [4]. Для незагрязненных почв наиболее изучены условия, позволяющие рационально использовать почвенные ресурсы [5], улучшения минерального питания растений при применении средств химизации [6] и активизации особенностей генотипа растений [7]. Для загрязненных нефтью почв установлено, что внесение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ позволило уже на второй год снизить токсикоз растений на 15–20 % [8]. Однако роль конкретных элементов питания в пищевой цепи изучена недостаточно, хотя необходимость выяснения роли отдельных элементов питания в системе удобрения уже давно назрела.

Цель исследований – изучить роль калийного питания в формировании продукции зерновых культур при использовании органических и минеральных удобрений на почве, загрязненной нефтью.

Методика. Изучение возможностей улучшения калийного фонда серой лесной почвы, загрязненной нефтью, проводили в 2009–2013 гг. В период исследования осуществляли чередование зерновых культур по следующей схеме: овес (сорт Ровесник), ячмень яровой (Ача), пшеница (Новосибирская 22) в микрополевых опытах, в четырехкратной повторности. Учетная площадь делянки 0,35 м². Вносили на каждую делянку с органическими удобрениями (ОУ) перегной, исходя из расчета 10 т/га и минеральные удобрения – по 60 кг/га азота, фосфора и калия. Содержание калия в перегное 75 кг/га. В качестве загрязняющего фона вносили разовую дозу нефти Верх-Таркского месторождения Западно-Сибирского региона в пахотный слой каждой делянки из расчета 2 т/га.

Почва опытного участка – серая лесная среднесуглинистая; слабо обогащена гумусом, среднее содержание подвижного фосфора 15 мг/100 г и обменного калия 12 мг/100 г почвы, $pH_{вод.}$ 7,2. Почву каждой делянки опыта обрабатывали полиэтиленовой пленкой на глубину пахотного слоя. Почвенные образцы отбирали весной,

растительные – при уборке урожая. Содержание гумуса в почве определяли по методу Тюрина, общий азот – колориметрическим методом по Нesslerу, подвижный фосфор – по Чирикову, обменный калий – по Масловой, pH – потенциометрическим методом. В растениях определяли также азот после мокрого озоления по Кьельдалю, фосфор колориметрическим методом на КФК-3, калий – методом атомно-адсорбционной спектrophотометрии.

Результаты и их обсуждение. Изучение калийного состояния загрязненной нефтью почвы показало (табл. 1), что содержание калия в ней по годам было невысоким и колебалось в контрольном варианте от 6,6 до 11,8 мг/100 г. Загрязнение почвы нефтью привело к снижению содержания обменного калия и его запасов, особенно в первый год проведения исследований. Оно снизилось почти на 15% по сравнению с контролем, что, вероятно, отразилось на экологической устойчивости растений к углеводородному токсикозу.

1. Содержание и запасы обменного калия в почве, загрязненной нефтью, при применении органических и минеральных удобрений

Вариант	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	В среднем за 5 лет
<i>Содержание К, мг/100 г</i>						
Контроль	10,3	9,4	11,8	6,6	11,4	9,9
Нефть (фон)	7,7	8,0	10,7	6,7	10,9	9,4
Фон + $N_{60}P_{60}K_{60}$	9,8	10,4	9,5	7,5	11,5	9,7
Фон + $N_{60}P_{60}K_{60}$ + ОУ	10,7	9,8	8,9	7,9	11,7	9,8
НСР _{0,5}	1,9	0,7	0,6	0,5	1,2	
<i>Запасы К в слое 0–20 см, кг/га</i>						
Контроль	202	184	231	129	223	194
Нефть (фон)	154	157	210	131	214	184
Фон + $N_{60}P_{60}K_{60}$	192	203	186	147	225	191
Фон + $N_{60}P_{60}K_{60}$ + ОУ	210	192	174	155	229	192
НСР _{0,5}	16	19	14	9,6	15	

Самое низкое количество обменного калия наблюдалось на 4-й год, что связано с повышением урожайности в опытных вариантах и соответственно с выносом калия зерновыми культурами, особенно надземной

биомассой растений. Другой возможной причиной может быть недостаток влаги, поскольку 2012 г. был остродефицитным по увлажнению. Совместное применение минеральных удобрений с органическими мало отразилось на содержании обменного калия в почве, что связано, вероятно, со спецификой потребления элемента растениями.

Запасы обменного калия в загрязненной нефтью почве повторяют содержание обменной формы этого элемента. Углеводородный токсикоз растений, вызванный нефтяным загрязнением, при применении удобрений нередко вызывает увеличение запасов обменного калия в почве, на основании чего можно предположить возможность повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды.

Загрязнение почвы нефтью отразилось на продуктивности зерновых культур по-разному (табл. 2). В контрольном варианте самая высокая урожайность получена при выращивании овса в первый год проведения исследований, однако через два года отмечали уже заметное снижение зерновой продукции. Наиболее низкую урожайность наблюдали при выращивании пшеницы на третий год проведения опытов. Ячмень по урожайности зерна в контрольном варианте занимал промежуточное положение. Загрязнение почвы нефтью в первый год резко (в 3,8 раза) снизило урожайность овса, что обусловлено высокой токсичностью внесенного углеводорода. На следующий год загрязнение нефтью сказалось на урожайности ячменя уже в меньшей степени, в дальнейшем урожайность между контрольным вариантом и загрязненным стабилизировалась, хотя проявлялась тенденция как к увеличению, так и к снижению урожайности зерна.

2. Урожайность зерновых культур при систематическом применении органических и минеральных удобрений на загрязненной нефтью почве, г/м²

Вариант	Овес, 2009 г.	Ячмень, 2010 г.	Пшеница, 2011 г.	Овес, 2012 г.	Ячмень, 2013 г.
Контроль	316 442	201 167	141 246	288 342	162 150
Нефть (фон)	83 130	181 348	149 237	336 402	144 150
Фон + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	280 373	424 378	285 458	510 534	432 450
Фон + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + ОУ	336 403	482 405	318 552	516 570	462 450
НСР _{0,5}	31 35	18 25	44 57	44 29	31 31

Примечание. Над чертой – зерновая продукция, под чертой – общая биомасса.

Внесение минеральных удобрений улучшило питание растений на загрязненной нефтью почве, хотя полностью реализовать его до компенсационного уровня не удалось. Однако на второй год проведения опытов применение минеральных удобрений активизировало продукционный процесс растений, что отразилось на урожайности зерновых культур в течение последующих трех лет. Внесение органических удобрений в сочетании с минеральными еще значительно повысило урожайность зерновых культур, независимо от степени загрязнения почвы нефтью. Удобрения в виде перегноя особенно отразились на повышении урожайности зерновых культур в первые два года. Об этом свидетельствует повышенное содержание калия в вегетативной массе растений. Накопление общей биомассы тесно

связано с товарной частью растений, поэтому оно в основном повторяет закономерность синтеза зерна. Роль калийного питания в этих процессах вычленил невозможно, калий одновременно взаимодействовал с органическими и минеральными удобрениями. Можно полагать, что их сочетание в пищевом режиме окажется наиболее благоприятным для ростовых процессов зерновых культур. Более точная картина о калийном режиме загрязненной нефтью почвы складывается на основе материалов, связанных с содержанием калия в растениях.

Проведенные исследования показали (табл. 3), что содержание калия в растениях во многом зависело от биологических особенностей культуры, специфики изучаемого органа, влияния степени загрязнения почвы нефтью и оптимизации минерального питания путем систематического применения органических и минеральных удобрений.

3. Влияние органических и минеральных удобрений на содержание и вынос калия зерновыми культурами при загрязнении почвы нефтью

Вариант	Содержание калия, %		Вынос К биомассой растений, г/м ²		
	1	2	1	2	3
<i>Овес, 2009 г.</i>					
Контроль	0,39	2,98	1,23	13,17	14,40
Нефть (фон)	0,31	2,27	0,26	2,95	3,21
Фон + NPK	0,45	2,79	1,29	10,41	11,70
Фон + NPK + ОУ	0,43	3,06	1,44	12,33	13,77
НСР _{0,5}	0,03	0,16	0,09	0,62	1,48
<i>Ячмень, 2010 г.</i>					
Контроль	0,43	1,41	0,86	2,35	3,21
Нефть (фон)	0,38	1,42	0,69	4,94	5,63
Фон + NPK	0,39	1,40	1,65	5,29	6,94
Фон + NPK + ОУ	0,42	1,61	2,02	6,52	8,54
НСР _{0,5}	0,02	0,07	0,04	0,41	0,37
<i>Пшеница, 2011 г.</i>					
Контроль	0,60	0,93	0,85	2,29	3,14
Нефть (фон)	0,49	0,91	0,73	2,16	2,89
Фон + NPK	0,54	1,04	1,54	4,76	6,30
Фон + NPK + ОУ	0,62	0,99	1,97	5,46	7,43
НСР _{0,5}	0,04	0,06	0,02	0,33	0,36
<i>Овес, 2012 г.</i>					
Контроль	0,47	1,30	1,35	4,45	5,80
Нефть (фон)	0,46	1,59	1,54	6,39	7,93
Фон + NPK	0,48	1,41	2,45	7,53	9,98
Фон + NPK + ОУ	0,47	1,32	2,42	7,52	9,94
НСР _{0,5}	0,02	0,23	0,09	0,48	0,63
<i>Ячмень, 2013 г.</i>					
Контроль	0,37	1,61	0,60	2,41	3,01
Нефть (фон)	0,38	2,17	0,55	3,25	3,80
Фон + NPK	0,44	2,31	1,90	9,98	11,88
Фон + NPK + ОУ	0,50	2,38	2,31	10,71	13,02
НСР _{0,5}	0,03	0,17	0,09	0,47	0,54

Примечание. 1 – зерно, 2 – вегетативная биомасса, 3 – надземная биомасса.

Выявлено, что содержание калия в зерне овса и ячменя в вариантах без загрязнения мало изменялось, однако при сравнении с пшеницей оно было заметно ниже. Больше всего калия накапливалось в вегетативной части растений, особенно у овса (примерно в 3 раза) и ячменя (в 1,5 раза) по сравнению с пшеницей. Загрязнение почвы нефтью существенно снижало содержание калия как в зерне, так и в вегетативной части растений овса, особенно в первый год проведения исследований.

Если сравнивать с оптимальным количеством калия в листьях [9], то на следующий год достоверное снижение содержания элемента отмечали у ячменя и только в зерновой продукции, в вегетативной массе никаких различий не наблюдали. В последующие три года зерновые культуры не реагировали на влияние нефтяного загрязнения как в зерновой продукции, так и в вегетативной массе растений. Внесение минеральных удобрений на фоне загрязнения почвы нефтью обычно повышало содержание калия в зерне и вегетативной массе растений. Однако есть данные, которые свидетельствуют, что растения не реагировали на усиление калийного питания при внесении минеральных удобрений, например, у ячменя в условиях 2010 г. и овса в 2012 г.

Важной оценкой обеспечения растений калием являются данные растительной диагностики. Специальных разработок по содержанию калия в растениях овса в основные фазы его развития для условий лесостепной зоны Западной Сибири пока нет. Нами сделана попытка сравнения средних данных по содержанию калия при низкой и оптимальной обеспеченности этого элемента в растениях. Это отношение, по данным В.В. Церлинг, составляет в среднем 1,6:1. В проведенных экспериментах при загрязнении почвы нефтью отношение оптимального содержания к фактическому равно 1,7: 1. Отсюда видно, что растения при загрязнении почвы нефтью страдали от дефицита калийного питания. И только при применении минеральных и органических удобрений удалось компенсировать дефицит калия в растениях.

Изменение содержания калия в растениях отразилось и на его выносе надземной биомассой. Меньше всего зерновые культуры выносят калий зерном и значительно больше листостебельным аппаратом. Среди культур по выносу элемента зерновой продукцией в контрольном варианте выделяется овес, несколько меньше ячмень и пшеница, которые мало различались. Загрязнение почвы нефтью сказалось на выносе калия зерном, особенно в первый год, на следующий год отчуждение его повысилось, а на третий год загрязненный вариант выравнился с контрольным. Внесение минеральных удобрений в первый год проведения экспериментов увеличило вынос калия зерном, но все же повысить уровень калийной обеспеченности, отмеченный в контрольном варианте, не удалось. Только внесение минеральных удобрений в сочетании с органическими привело к заметному росту выноса калия зерном. На второй год еще отмечалось снижение выноса калия зерновой продукцией только при загрязнении почвы нефтью, в дальнейшем подобных различий не выявлено. Вынос калия вегетативной массой в основном повторял закономерность, полученную ранее, хотя иногда были су-

щественные отклонения. Так, в условиях 2012 г. вынос калия вегетативной массой был одинаковым в вариантах Фон + NPK и Фон + NPK + ОУ. При определении выноса калия надземной биомассой закономерность в величинах в основном сохранялась, что указывает на тесную связь с содержанием K_2O в растениях и его накоплением в органах в процессе вегетации.

Заключение. Обобщение полученного экспериментального материала показало, что загрязнение серой лесной почвы нефтью отразилось на содержании обменного калия и его запасах в пахотном слое. При углеводородном загрязнении почвы в изученных пределах резко снижалась урожайность зерновых культур, особенно в первый год. В дальнейшем величина его между контрольным вариантом и загрязненным постепенно выравнивалась и стала менее опасной для возделывания зерновых культур. Внесение минеральных удобрений, особенно в сочетании с органическими, улучшало калийное питание, стимулируя продуктивность растений. Увеличение урожайности зерновых культур сопровождалось повышением содержания калия в растениях, что отражалось на выносе соответствующего элемента зерном и надземной биомассой. Максимальное отчуждение калия надземной биомассой отмечали на пятый год вегетации растений при выращивании ячменя на фоне применения минеральных удобрений в сочетании с органическими.

Литература

1. Горникова С.В., Середина В.П. Влияние нефти на физико-химические свойства почвы нефтегазовых районов Томского Севера. – Томск, ТГУ, 1985. – 34 с.
2. Coulon F., Pelletier E., Louis R. S., Gourant L., Delille D. Degradation of petroleum hydrocarbons in two sub-antarctic soils: Influence of an oleophilic fertilizer // Environmental Toxicology and Chemistry. – 2004. – Vol. 23. – N 8. – P. 1893–1901.
3. Илларионов С.А. Экологические аспекты восстановления нефтезагрязненных почв. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 194 с.
4. Назарюк В.М., Ф.Р. Калимуллина. Роль удобрений в азотном питании растений при загрязнении почвы нефтью // Агрохимия. – 2020. – № 4. – С. 76–84.
5. Никитишин В.И., Курганова Е.В. Плодородие и удобрение серых лесных ополей Центральной России. – М.: Наука, 2007. – 367 с.
6. Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Прокопенко В.В. Удобрения, почвенные грунты и регуляторы роста растений. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2005. – 404 с.
7. Гамзикова О.И. Этюды по физиологии, агрохимии и генетике минерального питания растений. – Новосибирск, ИПФ «АГРОС», 2008. – 372 с.
8. Назарюк В.М., Кленова М.И., Калимуллина Ф.Р. Роль минерального питания в повышении продуктивности растений и регулировании пищевого режима почвы, загрязненной нефтью // Агрохимия. – 2007. – № 7. – С. 64–73.
9. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. Справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.

POTASSIUM NUTRITION OF PLANTS UNDER APPLICATION OF FERTILIZERS AND OIL POLLUTION OF SOILS

V.M. Nazaryuk, F.R. Kalimullina

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Akademika Lavrentyeva pr. 8/2, 630090 Novosibirsk, Russia, e-mail: kalimullina@issa-siberia.ru

Contamination of gray forest soil with oil at a dose of 2 t / ha led to a 15% decrease in comparison with the control of the content of exchangeable potassium and its reserves in the arable layer in the first year of research. In the same period, the yield of grain crops sharply decreased (by 3.8 times) due to the toxic effect of hydrocarbons. The application of mineral fertilizers in combination with organic fertilizers improved potassium nutrition and stimulated plant productivity. The increase in productivity was accompanied by an increase in the potassium content in plants, which was reflected in the removal of the element by grain and aboveground biomass.

Key words: organic and mineral fertilizers, soil, oil, potassium, grain crops.