

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТОВ НА ПОЧВАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫМИ ОСАДКАМИ

Н.В. Леонова, П.В. Прудников, д.с.-х.н.

Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский», e-mail: agrohim32@mail.ru

В работе представлены результаты опытов на двух полигонах, расположенных в Красногорском районе Брянской области, который после аварии на Чернобыльской АЭС попал в зону выпадения радиоактивных осадков с повышенной (от 246 до 383 кБк/м²) степенью загрязнения ¹³⁷Cs. Внесение удобрений и мелиорантов позволило улучшить радиологическую обстановку и получить зеленый корм для животноводства, отвечающий санитарно-гигиеническим нормативам на загрязненных территориях.

Ключевые слова: загрязненная почва, радиоактивные осадки, удобрения и мелиоранты, многолетние травы.

ESTIMATION OF FERTILIZERS AND MELIORANTS APPLICATION AT SOIL POLLUTED BY RADIOACTIVE RAINFALLS

N.V. Leonova, Dr. Sci. P.V. Prudnikov

State center of chemization and agricultural radiology «Bryansky», e-mail: agrohim32@mail.ru

Experimental results at 2 plots situated in Krasnogorsk district of Bryansk region, which suffered from Chernobyl accident by radioactive rainfalls with high pollution level of ¹³⁷Cs (from 246 till 383 кБк/м²) are presented in article. Application of fertilizers and meliorants allowed to improve radiological situation and to harvest green forage for animal husbandry, which correspond to sanitary-hygienic norms at contaminated areas.

Keywords: polluted soil, radioactive rainfalls, fertilizers, meliorants, perennial grasses.

Поведение радионуклидов, их миграция на разных этапах биохимического круговорота элементов в природе в значительной мере зависит от физико-химического состояния почвы. Почва весьма прочно удерживает попадающие в нее радиоактивные вещества. Поглощение почвами радионуклидов препятствует их передвижению по профилю, проникновению в грунтовые воды и, в конечном счете, определяет их аккумуляцию в верхних почвенных горизонтах. Распределение радионуклидов в почвенном профиле во многом определяет их биологическую доступность, накопление в растениях, а также радиологическую обстановку всей местности [1, 2].

Поскольку поглощение радионуклидов растениями из почвы определяется прочностью их фиксации и изменением ее с течением времени, ставилась задача исследовать состояние и формы нахождения ¹³⁷Cs в почвах испытательных полигонов. Данная информация крайне важна при разработке стратегии защитных мероприятий, ограничивающих поступление радиоцезия в травостой. Эта работа была проведена в 2008-2011 гг. на территории Красногорского района Брянской области в МУП СХП «Дубенский» (полигон № 1) и МУП МТС «Красногорский» (полигон № 2). На момент закладки опытов плотность загрязнения ¹³⁷Cs на полигоне № 1 варьировала в пределах 300-383 кБк/м², на полигоне № 2 – 246-342 кБк/м² и классифицировалась как повышенная степень загрязнения.

Результаты исследований миграции ¹³⁷Cs по почвенному профилю реперных участков на полигоне № 1 показали, что основное его количество сосредоточено в корнеобитаемом слое почвы (до 20 см). Содержание радиоцезия в поверхностном слое 0-10 см в среднем по годам в летний период варьировало от применяемых систем удобрения в пределах 44-61%, в слое 10-20 см в пределах – 37-49% от общего его количества в слое 0-60 см. В осенний период характер распределения радионуклида существенно не изменился. Контрольные замеры показали в слое 0-10 см дифференциацию от 47 до 62%, слое 10-20 см – от 35 до 51%. Следует отметить общую тенденцию снижения скорости миграции радиоцезия в подпахотный слой почвы (20-30 см) при внесении борофоски, калия хлористого как отдельно, так и в комплексе с фосфоритной мукой на фоне азотного питания. Если в контроле его содержание со временем увеличилось за вегетационный период в 1,7 раза, с внесением аммиачной селитры в 12 раз, то применение борофоски в возрастающих дозах обеспечило снижение количества радионуклида в 2,6-3,6 раза, калия хлористого – в 2,8 раза, NPK – удобрений – в 3 раза. Известкование сапропелем и известняковой мукой не оказало воздействия на миграцию радиоцезия в слой почвы 20-30 см.

Аналогичная тенденция по вертикальной миграции ¹³⁷Cs по профилю почвы и характер его пере-

распределения в пахотном горизонте (0-20 см) просматривалась на полигоне № 2. Установлено, что значительное количество радионуклида (95-99%) сосредоточено в этом слое, где расположена основная масса активно поглощающей части корневой системы многолетних трав. В среднем за годы исследований влияние агрохимических средств на распределение радиоцезия в двух поверхностных слоях почвы (0-10 и 10-20 см) было адекватным.

От известковых мелиорантов (мела, известняковой муки), борофоски и нитроборофоски, калия хлористого колебания радионуклида составили от 65 до 68% в слое 0-10 см, и от 30 до 34% в слое 10-20 см. От сапропеля и комплексного применения минеральных удобрений радионуклид распреде-

лился по этим слоям практически в равных пропорциях – от 45 до 50%.

Биологическая доступность и интенсивность поступления радиоцезия в растения также определяется формой его нахождения в почве. Исследования показали (табл. 1), что доминирующей формой нахождения радионуклида в почвах испытательных полигонов является прочнофиксируемая, которая не доступна для растений, так как закреплена в межпакетных пространствах кристаллической решетки глинистых минералов. На полигоне № 1 варьирование составило от 64,5 до 83,7%, на полигона № 2 – 78,6-90,1% от общего содержания радиоцезия в почве.

1. Влияние систем удобрений на содержание форм ¹³⁷Cs в дерново-подзолистых супесчаных почвах (в среднем за 2008-2010 гг.), % от общего содержания

Вариант	Десорбент				Остаток в почве (прочнофиксируемая)
	H ₂ O	1н. CH ₃ COONH ₄ (обменная)	1н. HCl (подвижная)	3н. HCl (необменная)	
МУП СХП «Дубенецкий» (полигон № 1)					
Контроль (без удобрений)	<u>1,4</u> н.о.	<u>6,3</u> 5,6	<u>3,0</u> 7,2	<u>17,0</u> 9,5	<u>72,3</u> 77,7
N ₇₀ – фон	н.о.	<u>2,9</u> 5,3	<u>2,0</u> 7,9	<u>21,1</u> 13,8	<u>74,0</u> 73,0
Фон + P ₇₀ K ₁₁₂ B _{1,8}	н.о.	<u>2,5</u> 3,9	<u>1,2</u> 10,0	<u>16,6</u> 15,8	<u>79,7</u> 70,3
Фон + P ₁₀₀ K ₁₆₀ B _{2,5}	н.о.	<u>4,4</u> 4,8	<u>2,8</u> 13,4	<u>19,7</u> 16,4	<u>73,1</u> 65,4
Фон + P ₁₃₀ K ₂₀₈ B _{3,2}	н.о.	<u>3,4</u> 2,9	<u>3,0</u> 9,1	<u>19,6</u> 12,0	<u>74,0</u> 76,0
Фон + Kx ₁₂₀	<u>1,5</u> н.о.	<u>3,1</u> 3,5	<u>1,7</u> 10,5	<u>16,9</u> 17,9	<u>76,8</u> 68,1
Фон + Kx ₁₈₀	<u>2,7</u> 1,8	<u>2,9</u> 4,5	<u>2,6</u> 11,0	<u>15,7</u> 11,8	<u>76,1</u> 70,9
Фон + сапропель (CaCO ₃ + MgO) ₅₈₄₀	<u>н.о.</u> 2,7	<u>4,3</u> 5,8	<u>3,5</u> 9,4	<u>21,6</u> 17,6	<u>70,6</u> 64,5
Фон + известняковая мука (CaCO ₃ + MgO) ₅₈₄₀	<u>1,7</u> 2,7	<u>3,3</u> 1,5	<u>1,6</u> 6,2	<u>17,7</u> 9,1	<u>75,7</u> 80,5
Фон + фосфоритная мука (Pф ₁₆₀ CaO ₂₀₀)	<u>1,2</u> 3,7	<u>3,8</u> 1,6	<u>4,1</u> 5,2	<u>10,3</u> 5,8	<u>80,6</u> 83,7
МУП МТС «Красногорская» (полигон № 2)					
Контроль (без удобрений)	<u>1,2</u> 0,5	<u>4,9</u> 7,8	<u>5,8</u> 6,3	<u>9,5</u> 6,7	<u>78,6</u> 78,7
Сапропель (CaCO ₃ + MgO) ₅₈₄₀	н.о.	<u>2,6</u> 3,0	<u>6,7</u> 5,1	<u>8,9</u> 2,4	<u>81,8</u> 89,5
Мел (CaCO ₃ + MgO) ₆₈₀₀	<u>0,3</u> н.о.	<u>3,7</u> 3,9	<u>7,4</u> 6,1	<u>9,7</u> 4,1	<u>78,9</u> 85,9
Известняковая мука (CaCO ₃ + MgO) ₅₈₄₀	<u>0,9</u> 0,1	<u>4,3</u> 3,8	<u>3,4</u> 8,3	<u>7,8</u> 6,3	<u>83,6</u> 81,5
Борофоска [P ₁₃₀ K ₂₀₈ B _{3,2} + (CaCO ₃) ₂₆₀ MgO ₂₆]	<u>2,0</u> 0,3	<u>3,9</u> 3,8	<u>2,7</u> 3,1	<u>6,8</u> 2,7	<u>80,6</u> 90,1
Нитроборофоска [N ₇₈ P ₁₃₀ K ₂₀₈ B _{3,2} + (CaCO ₃) ₂₆₀ MgO ₂₆]	<u>1,1</u> н.о.	<u>3,7</u> 5,3	<u>6,0</u> 4,2	<u>5,9</u> 5,4	<u>83,3</u> 85,1
Kx ₁₈₀ (хлористый калий)	<u>н.о.</u> 0,2	<u>2,7</u> 3,9	<u>3,2</u> 4,4	<u>7,8</u> 3,4	<u>86,3</u> 88,3
N ₇₀ + Pф ₁₆₀ + Kx ₁₈₀	<u>н.о.</u> 0,7	<u>3,3</u> 5,1	<u>6,8</u> 2,9	<u>8,2</u> 3,7	<u>81,7</u> 87,6

Примечание: числитель – весна; знаменатель – осень; н.о. – не обнаружено.

В большей мере уровень накопления радиоцезия в урожае сельскохозяйственных культур зависит от содержания его в почве в обменной форме (десорбция 1 н. $\text{CH}_3\text{COONH}_4$). Установлено, что применение борофоски в возрастающих дозах способствовало снижению этой фракции ^{137}Cs на полигоне № 1 весной на 1,9-3,8%, осенью – на 0,8-2,7% к контролю. Внесение сапропеля и известняковой муки привело к убыли фракции в весенний период на 2-3%. Содержание обменного радиоцезия в почве осенью в варианте с известняковой мукой было на 4% меньше, чем в контроле. Калий хлористый снизил подвижность радионуклида в обменной форме весной на 3,2-3,4%, осенью – на 1,1-2,1%. Применение фосфоритной муки на фоне азотного удобрения обеспечило уменьшение количества обменной формы радиоцезия за вегетационный период в среднем на 3%. Следует отметить тенденцию присутствия в почве обменной формы ^{137}Cs в более повышенной концентрации в весенний период, чем осенний.

Внесение борофоски повышало содержание в почве необменной (кислоторастворимой) формы радионуклида, что имеет важное значение в обеспечении снижения доступности его для растений. Внесение хлористого калия, известковых мелиорантов и фосфоритной муки также снижало доступность ^{137}Cs растениям, но в меньшей мере, чем борофоска.

В почве полигона № 2 применение всех агрохимических средств также способствовали снижению доли обменной формы радиоцезия. При этом мелиоративные мероприятия не оказали воздействия на позитивное изменение в содержании необменной формы.

Без проведения реабилитационных мероприятий на землях, загрязненных ^{137}Cs выше 300 кБк/м², посев многолетних трав не обеспечивает получение зеленого корма, соответствующего нормативным требованиям. Из таблицы 2 следует, что выращенная на полигоне № 1 продукция в контроле имела

уровень загрязнения выше ветеринарного норматива (100 Бк/кг). Внесение аммиачной селитры в течение 4 лет (2008-2011 гг.) снижало содержание ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав на 6-24%, но не обеспечило получение продукции соответствующей санитарным нормам. Лишь на четвертый год возделывания трав, вследствие общего снижения удельной активности почвы, содержание радиоцезия в зеленой массе составило 77 Бк/кг.

В прямом действии известкование почв сапропелем и известняковой мукой не обеспечило получение «нормативно чистой» продукции. В последствии сапропель на азотном фоне уменьшил уровень загрязнения ^{137}Cs зеленой массы многолетних трав на 42-60%, с содержанием менее 100 Бк/кг. Известняковая мука на второй и четвертый год обеспечила уменьшение содержания радионуклида в зеленом корме на 40% к контролю. В засушливом 2010 г. загрязнение продукции было на уровне норматива – 101 Бк/кг. Фосфоритование почв в дозе Рф160 (1000 кг/га ф.в.) и ежегодном внесении азотных удобрений не влияло на снижение поступления ^{137}Cs в зеленую массу трав.

Внесение в почву хлористого калия в дозах 120 и 180 кг K_2O /га на фоне N_{70} также достаточно эффективно снижало содержание радиоцезия в зеленой массе многолетних трав. В прямом действии продукция получена с содержанием 35 и 28 Бк/кг, т.е. меньше, чем в контроле на 73 и 66% соответственно. В последующие годы эффект снижения варьировал от 42% по первой дозе и до 70% по второй.

Использование борофоски в качестве антирадиационного средства было наиболее эффективным и отвечающим санитарным нормам. В прямом действии от изучаемых доз комплексного удобрения зеленая масса трав получена с содержанием 13-16 Бк/кг, в последствии на травах 2 г.п. – 22-31 Бк/кг. При недостаточном увлажнении почвы в 2010 г. от минимальной дозы борофоски эффект снижения

2. Влияние реабилитационных агрохимических мероприятий на содержание ^{137}Cs в зеленой массе многолетних трав и динамика изменения коэффициентов пропорциональности (КП) и накопления (КН) МУП СХП «Дубенецкий» (полигон № 1)

Вариант	2008 г.				2009 г.				2010 г.				2011 г.			
	Бк/кг	КН	КП	Ксн	Бк/кг	КН	КП	Ксн	Бк/кг	КН	КП	Ксн	Бк/кг	КН	КП	Ксн
Контроль (без удобрений)	107,7	0,081	0,30	–	140,3	0,118	0,44	–	173,5	0,140	0,49	–	151,5	0,134	0,50	–
N_{70} – фон	101,5	0,092	0,34	–	123,2	0,110	0,41	1,1	132,3	0,116	0,43	1,2	77,3	0,071	0,26	1,9
Фон + $\text{P}_{70}\text{K}_{112}\text{B}_{1,8}$	16,6	0,014	0,05	6,0	31,0	0,025	0,09	4,8	53,5	0,041	0,15	3,4	16,7	0,013	0,05	10,3
Фон + $\text{P}_{100}\text{K}_{160}\text{B}_{2,5}$	13,4	0,011	0,04	7,7	26,3	0,020	0,08	5,9	32,0	0,025	0,09	5,7	15,2	0,012	0,04	11,2
Фон + $\text{P}_{130}\text{K}_{208}\text{B}_{3,2}$	16,0	0,012	0,05	6,7	21,9	0,018	0,06	6,7	16,2	0,013	0,05	11,2	15,0	0,012	0,04	11,2
Фон + Kx_{120}	34,6	0,027	0,10	3,0	62,8	0,048	0,19	2,5	71,7	0,056	0,21	2,5	88,4	0,070	0,26	1,9
Фон + Kx_{180}	27,9	0,021	0,08	3,8	49,8	0,042	0,15	2,8	50,8	0,039	0,14	3,6	44,7	0,037	0,14	3,6
Фон + сапропель ($\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$) ₅₈₄₀	138,0	0,080	0,29	–	81,2	0,068	0,25	1,7	82,4	0,043	0,34	3,3	61,2	0,051	0,19	2,6
Фон + известняковая мука ($\text{CaCO}_3 + \text{MgO}$) ₅₈₄₀	121,2	0,081	0,30	–	83,6	0,070	0,26	1,7	101,0	0,033	0,40	4,2	91,6	0,073	0,27	1,8
Фон + фосфоритная мука ($\text{Pф}_{160}\text{CaO}_{200}$)	152,8	0,074	0,27	1,1	149,7	0,098	0,36	1,2	95,1	0,052	0,19	2,7	108,0	0,083	0,31	1,6

3. Влияние реабилитационных агрохимических мероприятий на содержание ¹³⁷Cs в зеленой массе многолетних трав и динамика изменения коэффициентов пропорциональности (КП) и накопления (КН) МУП МТС «Красногорская» (полигон № 2)

Вариант	2009 г.				2010 г.				2011 г.			
	Бк/кг	КН	КП	Ксн	Бк/кг	КН	КП	Ксн	Бк/кг	КН	КП	Ксн
Контроль (без удобрений)	79,9	0,069	0,25	—	93,0	0,076	0,28	—	89,7	0,156	0,57	—
Сапропель (СаСО ₃ + MgO) ₅₈₄₀	51,5	0,046	0,17	1,5	55,3	0,050	0,18	1,5	41,1	0,049	0,18	3,2
Мел (СаСО ₃ + MgO) ₆₈₀₀	45,0	0,040	0,15	1,7	49,0	0,044	0,16	1,7	46,5	0,042	0,14	3,7
Известняковая мука (СаСО ₃ + MgO) ₅₈₄₀	42,0	0,038	0,14	1,8	46,0	0,041	0,15	1,9	44,4	0,037	0,15	4,2
Борофоска [P ₁₃₀ K ₂₀₈ B _{3,2} + (СаСО ₃) ₂₆₀ MgO ₂₆]	20,4	0,017	0,06	4,0	26,7	0,024	0,09	3,2	23,3	0,022	0,08	7,1
Нитроборофоска [N ₇₈ P ₁₃₀ K ₂₀₈ B _{3,2} + (СаСО ₃) ₂₆₀ MgO ₂₆]	23,7	0,020	0,07	3,5	28,3	0,026	0,10	3,0	24,6	0,045	0,16	3,5
Кх ₁₈₀ (хлористый калий)	39,0	0,033	0,12	2,1	38,3	0,034	0,13	2,2	28,4	0,054	0,20	2,9
N ₇₀ + Pф ₁₆₀ + Кх ₁₈₀	31,6	0,026	0,10	2,6	34,6	0,030	0,11	2,6	27,8	0,046	0,17	3,4

составил 70% к контролю, а содержание составило 53 Бк/кг. Средняя и повышенная дозы борофоски снизили количество радиоцезия в продукции относительно минимальной дозы на 40-70%. На четвертый год возделывания трав снижающий эффект от удобрения отмечается в 9-10 кратном размере.

Исследования по переходу ¹³⁷Cs из почвы в растения в соответствии с коэффициентами пропорциональности и накопления показали (см. табл. 2), что кратность снижения (Ксн) к контролю от доз борофоски составила 6,0-7,7 раза в прямом действии мелиоранта, на травах 2 г.п. – 4,8-6,7 раза. В засушливых условиях 2010 г. величина кратности снижения от повышенной дозы борофоски (P₁₃₀K₂₀₈B_{3,2}) была более высокой (11,2 раза). На четвертый год все дозы борофоски обеспечили также высокий показатель снижения – 10,2-11,2 раза.

Эффективность применения хлористого калия по коэффициенту кратности снижения уступало борофоске. В разные годы уменьшение накопления ¹³⁷Cs в сравнении с контролем от дозы 120 кг К₂O/га составляло от 2 до 3 раз, дозы 180 кг К₂O/га – от 2,8 до 3,8 раза. Известковые мелиоранты и фосфоритная мука были менее эффективны по кратности снижения накопления радиоцезия в зеленой массе многолетних трав.

При изучении эффективности мелиоративных приемов и их влияния на переход ¹³⁷Cs из почвы в растительную массу многолетних трав на полигоне № 2 получены схожие результаты. Данные таблицы 3 показывают, что на этом полигоне, который характеризовался меньшей величиной плотности загрязнения, в контроле во все годы исследований содержание радиоцезия в зеленой массе соответствовало нормативному показателю для зеленых кормов. Однако выращивание многолетних трав без проведения защитных мелиоративных мероприятий практически не снижало уровень загрязнения травостоя радионуклидом, который составил 80-93 Бк/кг.

Известковые мелиоранты снижали накопление ¹³⁷Cs в травостое на 36-56% к контролю. На переход ¹³⁷Cs из почвы в растения наиболее эффективно

влияли мел Соколовского месторождения и известняковая мука Клиновского силикатного завода. Кратность снижения к контролю в этих вариантах в первые два года возделывания трав составила 1,7-1,9 раза, на третий – почти в 4 раза. Сапропель был менее эффективным (кратность снижения 1,5-3,2 раза).

Наибольшее влияние на снижение поступления радиоцезия в травостой многолетних трав оказало применение борофоски. Его содержание в зеленой массе в сравнении с контролем было в разные по погодным условиям годы на 70-75% ниже. Показатель кратности снижения в прямом действии комплексного удобрения составил в 4 раза, последствии на второй год – в 3,2 раза, на третий год – в 7 раз. Применение нитроборофоски уменьшало переход радионуклида из почвы в растения в 3,0-3,5 раза.

Внесение хлористого калия, а также комплексное применение его с фосфоритной мукой на фоне азотных удобрений было менее эффективно, уступая борофоске и нитроборофоске. Кратность снижения в сравнении с контролем от применения одного калийного удобрения была в пределах 2,1-2,9 раза, от комплекса NPK-удобрений – 2,6-3,4 раза.

Таким образом, по эффективности воздействия на снижение перехода радиоцезия в травостой многолетних трав изученные нами в производственных условиях минеральные удобрения и мелиоранты можно расположить в следующем убывающем порядке: борофоска, нитроборофоска, калий хлористый, фосфоритная мука в комплексе с ним, известняковая мука, сапропель, мел.

Литература

1. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. – М.: Атомиздат, 1974. – 216 с.

2. Алексахин Р.М., Корнеев Н.А. Сельскохозяйственная радиоэкология. – М.: Экология, 1992. – 400 с.

References

1. Pavlotskaya F.I. Migration of radioactive compounds of global pollution in soil. – M.: Atomizdat, 1974. – 216 p.

2. Aleksakhin R.M., Korneev N.A. Agricultural radioecology. – M.: Ecology, 1992. – 400 p.