

повысили сумму минеральных фосфатов, причем максимальное количество наблюдалось в варианте с внесением 300 т/га [1]. Накопление же форм кальция и магния в дерново-подзолистой почве отмечено при внесении сапропелеи в дозах, равных 400—800, а в дерново-глеевой песчаной — 300—400 т/га. В целом же с течением времени отмечается снижение содержания форм кальция и магния. Для покрытия этого дефицита необходимо внесение извести или доломитовой муки [2].

Результаты по изменению содержания форм калия приведены в таблице.

Содержание форм калия по фону ниже в дерново-подзолистой песчаной почве по сравнению с дерново-перегнойно-глеевой, поскольку у нее ниже емкость поглощения. С внесением различных доз СУ возрастает содержание форм калия в обеих почвах как по вариантам опыта, так и по годам исследований. Исключение составляет труднодоступная форма калия, содержание которой с течением времени уменьшается. Восстановление равновесия в содержании калия происходит за счет увеличения обменной и воднорастворимой форм, в связи с активизацией химических и биохимических процессов после внесения сапропеля. Максимальное количество калия в дерново-подзолистой песчаной почве отмечено в варианте опыта с внесением 400 т/га СУ, воднорастворимого калия по сравнению с фоном возросло в 4,3 раз, обменного в 3,0, труднообменного в 2,0 и необменного в 1,7 раза. При внесении в эту почву 800 т/га СУ содержание воднорастворимого калия возросло по сравнению с фоном в 4,5, обменного в 5,2, труднообменного в 4,6 и необменного в 4,5 раза.

В дерново-перегнойно-глеевой песчаной почве максимальной в содержании всех форм калия оказалась доза 400 т/га СУ.

1. Кудло Т. А., Горблюк А. В. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. 1988. № 3. С. 60.

2. Глазкова Л. П., Горблюк А. В., Вашкевич Л. Ф. // Там же. 1990. № 3. С. 50.

3. Повышение плодородия почв путем применения сапропелей. Мн., 1989. С. 3.

4. Агрохимические методы исследования почв. М., 1975. С. 565.

УДК 574:539.1.04

Л. А. ДЕМИДОВИЧ, С. А. ТИХОНОВ,
О. К. МЕЛЬНИКОВ, А. Л. ДЕМИДОВИЧ

НОВЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ РАДИОАКТИВНОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Many years investigations showed effectiveness of natural brines of Pripyat sagging as improving substance limiting the quantity of Cези-137 and Стронци-90 in the plants which enables to get ecologically clean agricultural production on the territories subjected to radioactive contamination.

Одной из важнейших задач ведения сельскохозяйственного производства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, является разработка приемов и способов ограничения поступления в растениеводческую продукцию радионуклидов, в том числе долгоживущих осколочных радионуклидов цезий-137 и стронций-90, обладающих высокой биологической активностью.

В настоящее время в сельскохозяйственной практике широко используются внесение повышенных сбалансированных доз органических и минеральных удобрений, нейтрализация кислотности, глубокая запашка, применение специальных искусственных и природных мелиорантов, особых технологических приемов переработки растениеводческой продукции и т. д. Многие из названных способов недостаточно эффективны из-за больших энергетических и материальных затрат, ограниченных количеств используемых мелиорантов, резкого ухудшения свойств почв (например, захоронение гумусового слоя) и т. д. [1, 2].

Известно, что для полноценного сбалансированного минерального питания растений, возделываемых на землях, подвергшихся радиоактив-

ному загрязнению, крайне необходимы микроэлементы, которые не только усиливают положительное действие основных элементов питания, но и могут оказывать существенное влияние на снижение поступления радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию.

Одним из дешевых нетрадиционных источников микроэлементов для сельского хозяйства как Беларуси, так и других регионов могут служить высокоминерализованные рассолы (полиметаллические водные концентраты — ПВК), содержащие в своем составе сбалансированный комплекс макро- и микроэлементов в ионной форме, а также ряд специфических органических компонентов [3]. Указанные особенности состава ПВК делают их не только поставщиком микроэлементов, но и веществом, обладающим определенными биостимулирующими свойствами. Кроме того, как показали исследования последних лет, они обладают отчетливо выраженной способностью ограничивать поступление радионуклидов в растения [3—5].

В верхнепротерозойских и девонских отложениях Припятского прогиба, расположенного на юго-востоке Беларуси в Гомельской области, имеются залежи природного полезного ископаемого — глубинного высококонцентрированного рассола ПВК. Водоносные комплексы, содержащие эти рассолы, находятся в сложных геолого-гидрогеологических условиях на глубинах 1100—5500 м и более и перекрываются мощными водоупорными толщами.

Рассолы имеют минерализацию до 450 г/л и представлены тремя геохимическими классами: хлоридно-кальциево-натриевым, хлоридно-натриево-кальциевым и хлоридно-магниевым-кальциевым. Минерализация рассолов, как правило, увеличивается с глубиной залегания водоносных комплексов. Концентрация основных компонентов (кальция, натрия, магния, калия, хлора, брома), составляющих 99 % растворенного вещества, увеличивается с ростом минерализации, а содержание микрокомпонентов (марганца, железа, стронция, редких щелочных металлов, бора и т. д.) связано с литолого-геохимическими особенностями вмещающих пород и практически мало изменяется по геохимическим классам.

В полевых и производственных опытах на территории республики использовался ПВК хлоридно-кальциево-натриевого и хлоридно-натриево-кальциевого геохимических классов с минерализацией 300—400 г/л.

Целью проведенной работы, частично выполнявшейся по заданию МАГАТЭ, было изучение влияния полиметаллического водного концентрата на урожай и содержание в нем цезия-137 и стронция-90, выявление возможности их использования для снижения поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию, выращиваемую на территориях, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС.

Поисковые опыты с различными сельскохозяйственными культурами были заложены в 1988—1992 гг. в Гомельской и Минской областях. Исследования проводились на дерново-подзолистых связно-супесчаных, подстилаемых с глубины 0,5—0,7 м моренным суглинком почвах. В той или иной мере все почвы несли признаки временного избыточного увлажнения. Агрохимические показатели их близки: гумус (по Тюрину) 2,0—2,2 %, рН (в KCl) 6,0—6,4, подвижные P_2O_5 — 180—200 и K_2O — 160—190 мг/кг. Плотность загрязнения по цезию-137 — 15—20 Ки/км², по стронцию-90 плотность загрязнения опытных участков существенно различалась. На территории Гомельской области (Хойникский и другие районы) она составляла 2,0—2,2 Ки/км², Минской (Воложинский район) — 0,13 Ки/км².

Методически проведение опытов базировалось на рекомендациях соответствующих руководств [6].

Возделывались различные сельскохозяйственные культуры: зерновые (на зерно и зеленую массу), кормовые — корнеплоды, многолетние травы и др. Повторность опытов четырехкратная. Минеральные удобрения вносились в оптимальных для каждой культуры нормах. Сроки и приемы внесения дифференцированных доз мелиоранта (ПВК) были следующие: основное внесение под культивацию или подкормки по всходам при рыхлении междурядий, а также в различные фазы развития растений.

Данные экспериментов обработаны статистически, в таблицах приве-

дены отдельные варианты опытов со статистически достоверными уровнями снижения содержания радионуклидов по отношению к фону по удобрениям.

Т а б л и ц а 1

Влияние ПВК на содержание цезия-137
и стронция-90 в урожае

Вариант	Способ внесения	Урожай, ц/га	Цезий-137		Стронций-90	
			Бк/кг	снижение (к фону), %	Бк/кг	снижение (к фону), %
Ячмень						
НРК — фон	—	36,8	25	—	41	—
Фон + 1500 л/га ПВК	в почву	37,7	11	56,0	30	26,8
Фон + 2500 л/га ПВК	—»—	38,0	11	56,0	27	34,1
Фон + 1500 л/га ПВК	подкормка	37,8	10	60,0	30	26,8
Фон + 2500 л/га ПВК	—»—	38,1	9	64,0	30	26,8
НСР ₀₅	—»—	1,4	2,3	—	3,3	—
Озимая рожь (на зеленую массу)						
НРК — фон	—	222	66	—	—	—
Фон + 1000 л/га ПВК	в почву	232	56	15,2	—	—
Фон + 250 л/га ПВК	подкормка	245	48	27,3	—	—
Фон + 2000 л/га ПВК	в почву	228	51	22,7	—	—
Фон + 250 л/га ПВК	подкормка	238	44	33,3	—	—
НСР ₀₅	—»—	9,1	5,9	—	—	—
Многолетние травы улучшенного сенокоса (1 укос)						
НРК — фон	—	50,8	133	—	165	—
Фон + 1000 л/га ПВК	в почву	54,6	117	12,0	128	21,6
Фон + 1500 л/га ПВК	—»—	56,2	105	21,1	116	29,7
Фон + 3000 л/га ПВК	—»—	57,6	93	30,1	108	34,5
НСР ₀₅	—»—	2,7	11,1	—	14,8	—
Кормовые корнеплоды						
НРК (+ ТНК) — фон	—	367	47	—	—	—
Фон + 300 л/га ПВК	подкормка	400	7	85,1	—	—
Фон + 400 л/га ПВК	—»—	456	7	85,1	—	—
НСР ₀₅	—»—	43,5	12,3	—	—	—
Столовая свекла*						
НРК (+ ТНК) — фон	—	365	29	—	—	—
Фон + 1000 л/га ПВК	в почву	438	17	41,4	—	—
Фон + 1500 л/га ПВК	—»—	444	15	51,7	—	—
НСР ₀₅	—»—	72	10,7	—	—	—

* Данные аспирантки Е. И. Галай

Исследования (табл. 1) показали, что применение дифференцированных доз полиметаллического водного концентрата по фону традиционных удобрений (НРК, ТНК) способствовало на оптимальных вариантах росту урожайности ячменя на 1,3 ц/га (3,5 %), озимой ржи на зеленую массу — 42,0 ц/га (18,9 %), кормовых корнеплодов 89,0 ц/га (24,3 %), столовой свеклы — 79,0 ц/га (21,6 %), сена многолетних трав — 6,8 ц/га (13,4 %).

Полученные результаты показали также, что ПВК может быть использован и в качестве мелиоранта для ограничения поступления радионуклидов цезия и стронция в урожай сельскохозяйственных культур.

Применение возрастающих доз ПВК (500—2500 л/га) при внесении их под ранневесеннюю культивацию обуславливало снижение уровня содержания радиоцезия в зерне ячменя на 7—14 Бк/кг (28—56 %), радиостронция — 11—14 Бк/кг (27—34 %) по отношению к фону. Эти же дозы ПВК, но внесенные при подкормке в фазе кущения, оказались более эффективными по отношению к цезию-137 — 15—16 Бк/кг (60—64 %). Несмотря на то, что в проведенном опыте самые высокие

дозы рассола в большей степени снижали удельную радиоактивность зерна ячменя, в экономическом отношении оптимальной по эффективности следует считать дозу в 1500 л/га. Если учитывать необходимость снижения уровня поступления радиоизотопов цезия и стронция в урожай ячменя, то оба приема — внесение препарата под культивацию или подкормка в фазу кущения — по эффективности примерно равнозначны.

В опыте с озимой рожью применение ПВК в дозах 1000 и 2000 л/га под осеннюю культивацию способствовало понижению содержания радиоцезия в урожае зеленой массы на 10—15 Бк/кг (15,2—22,7 %). Дробное внесение ПВК в два приема (основное внесение под культивацию, ранневесенняя подкормка) оказалось более эффективным. Подкормка растений раствором ПВК из расчета 250 л/га сочеталась с предпосевным внесением препарата в дозе 1000 и 2000 л/га, что понизило уровень загрязненности продукции на 18 и 22 Бк/кг (27,3 и 33,3 %) соответственно.

Исследование влияния ПВК на поступление радиоцезия и радиостронция в вегетативную биомассу многолетних трав улучшенного сенокоса показало достаточно высокую эффективность доз рассола 1000, 1500 и 3000 л/га. Получено достоверное снижение содержания цезия-137 на 16 и 40 Бк/кг (12,0 и 30,1 %), стронция-90 — 37 и 57 Бк/кг (21,6 и 34,5 %) соответственно.

О снижении концентрации цезия-137 в хозяйственно-ценной части урожая после внесения ПВК свидетельствуют и данные по кормовым и столовым корнеплодам. Так, внесение 300 и 400 л/га ПВК в подкормку по всходам при рыхлении междурядий понизило уровень загрязненности радиоцезием кормовых корнеплодов на 40 Бк/кг (85,1 %), а использование 1000 и 1500 л/га ПВК в основную заправку при возделывании столовой свеклы (сорт Бордо) уменьшило поступление цезия-137 в корнеплоды на 12—14 Бк/кг (41,4—51,8 % к фону).

Т а б л и ц а 2

Действие и последствие ПВК на поступление цезия-137 в урожай многолетних трав и зеленой массы озимой ржи

Вариант	Опыт 1991 г.				Опыт 1992 г.			
	Урожай сена, ц/га	Цезий-137			Урожай зеленой массы озимой ржи	Цезий-137		
		Бк/кг	к фону			Бк/кг	к фону	
			Бк/кг	%			Бк/кг	%
Контроль	54,5	155	—	—	51,5	85	—	—
N ₂₀ +60P ₆₀ K ₆₀ — фон	82,4	88	—	—	151,2	56	—	—
Фон + 1500 л/га ПВК	78,1	71	– 17	19,3	193,7	39	– 17	30,4
Фон + 3000 л/га ПВК	79,8	66	– 22	25,0	195,5	40	– 16	28,6
Фон + 4500 л/га ПВК	80,2	64	– 24	27,3	188	38	– 18	32,1
НСР ₀₅	1,96	14,1			11,8	10,7		

В табл. 2 приведены данные полевого опыта по изучению последствия рассола на урожай и содержание радиоцезия в зеленой массе озимой ржи (предшественник — многолетние травы улучшенного сенокоса). Весной 1991 г. при закладке опыта поверхностно внесено три нормы препарата — 1500, 3000 и 4500 л/га. После второго укоса поле было запахано и на исследуемых вариантах посеяна озимая рожь. Минеральные удобрения внесены осенью: фосфорные и калийные — полной нормой (P₉₀K₁₁₀), азотные — в количестве 20 кг/га д. в. Весной после диагностики азотного питания посевы были дополнительно подкормлены аммиачной селитрой из расчета 60 кг/га д. в.

Из табл. 2 видно, что существенные (36,8—44,3 ц/га) достоверные прибавки урожая зеленой массы озимой ржи были получены во все

вариантах опыта, наибольшие — в вариантах с дозами 1500 и 3000 л/га внесенных под предшественник — многолетние травы. Использование раствора ПВК под многолетние травы оказало также заметное воздействие на снижение поступления радиоцезия в продукцию последующей культуры — зеленую массу озимой ржи. По отношению к фону по минеральным удобрениям уровень понижения концентрации цезия-137 в зеленой массе озимой ржи достигал 16—18 Бк/кг (28,3—32,2 %).

Таким образом, применение препарата ПВК в дозах 1500—4500 л/га оказывает пролонгирующее положительное влияние и на второй год после внесения. Позитивный эффект последствия исследуемого мелиоранта на урожай зеленой массы озимой ржи и снижение содержания в продукции цезия-137 составил около 30 %.

Воздействие применяемых рассолов на снижение поступления радионуклидов в растения может быть обусловлено: а) резким повышением содержания и превышением концентраций в почвенном растворе стабильных ионов цезия и стронция, поступивших с препаратом ПВК, над их радиоизотопными аналогами, определенным антагонизмом между изотопами ^{133}Cs — ^{137}Cs и ^{87}Sr — ^{90}Sr ; б) конкуренцией щелочных и щелочно-земельных катионов, содержащихся в ПВК, с радионуклидами цезия и стронция почвенного раствора и поглощающего комплекса; в) преимущественным поглощением растениями более доступных водорастворенных форм стабильных изотопов цезия и стронция, так как к настоящему времени значительная часть осколочных радиоизотопов этих элементов в почвах находится в прочно фиксированном кристаллическими решетками минералов состоянии.

В целом, влияние препарата ПВК на развитие растений, видимо, обуславливается спецификой его состава (поликомпонентность, ионные формы макро- и микроэлементов и т. д.), который через механизмы действия принципов синергизма и антагонизма существенно повышает экологические ресурсы растения, регулирует сбалансированное поступление широкой гаммы необходимых растению питательных веществ.

Таким образом, проведенные исследования показали достаточно высокую эффективность природных рассолов Припятского прогиба как вещества-мелиоранта, ограничивающего поступление радионуклидов цезия и стронция в растения.

Серией полевых опытов установлено, что применение дифференцированных доз, помимо повышения продуктивности, положительно влияло на понижение уровня загрязненности цезием-137 и стронцием-90 урожая ячменя и многолетних трав, а также цезием-137 урожая зеленой массы озимой ржи, кормовых и столовых корнеплодов. Способы использования препарата — как основное внесение под культивацию, так и подкормки в различные фазы вегетации растений, сочетание этих приемов были сравнительно близки по эффективности.

Выявлено, что препарат как мелиорант и жидкое микроудобрение оказывает заметное последствие на второй год после использования. Так, позитивный эффект последствия раствора ПВК на урожай зеленой массы озимой ржи и снижение содержания в нем радиоцезия составил в обоих случаях около 30 % (по отношению к фону по минеральным удобрениям).

Существенное понижение уровня загрязненности растений радионуклидами цезия и стронция, рост урожайности под влиянием природного рассола позволяют рекомендовать его для использования в качестве эффективного мелиоранта при получении экологически более чистой растениеводческой продукции на всех территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

1. Рекомендации по ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения земель Белорусской ССР на 1990 г. Мн., 1990.

2. Сельскохозяйственная радиэкология / Под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнесва. М., 1991.

3. Демидович Л. А., Тихонов С. А., Мельников О. К., Фурсиков Г. Л. // Тез. науч. конф. «Актуальные проблемы социально-гуманитарных и естественных наук». Мн., 1991. С. 162.

4. Демидович Л. А. // Докл. II Всесоюз. совещания «Геохимия гипергенеза». Мн., 1991. С. 72.

5. А. с. 324864 СССР. Вещество, снижающее радиоактивное загрязнение растений. 1991.

6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 5-е изд. М., 1985.