

О.В.Морозов, кандидат сельскохозяйственных наук,
Н.Б.Павловский, В.Н.Босак – младшие научные сотрудники
Центральный ботанический сад АНБ

УДК 634.73:581.522.4:504.054

Аккумуляция радионуклидов культурными видами Vacciniaceae

Изложены результаты исследований аккумуляции радионуклидов клюквой крупноплодной (*Oxycoccus macrocarpus*), голубикой высокой (*Vaccinium corymbosum*) и брусникой обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea*), высаженных на подвергшихся радиоактивному загрязнению территориях (24 и 44 мкР/ч). Установлено, что степень аккумуляции радионуклидов плодами культурных видов *Vacciniaceae* находится в обратной зависимости от интенсивности предпосадочной обработки почвы и регулярности агротехнических мероприятий в послепосадочный период формирования культуризации. Активность обработанных участков почвы снизилась в 3,4–9,2 раза. Аккумуляция радионуклидов плодами при экспозиционной дозе 24 мкР/ч была ниже, чем у дикорастущих аналогов, в 2,2–4,4 раза. При мощности 44 мкР/ч активность ягод в зависимости от уровня агрофона уменьшилась в 5,0–33,9 раза.

The results of the research of accumulation of the radio-active elements by cranberry (*Oxycoccus macrocarpus*), blueberry (*Vaccinium corymbosum*) and partridgeberry (*Vaccinium vitis-idaea*) planted to radio-active contaminated areas (24 and 44 mx-ray/h. have been presented by the article. It was defined that the degree of accumulating of radio-active elements by the fruit of *Vacciniaceae* kinds is in reverse dependence of intensity of pre planting soil cultivation and regularity of agrotechnical steps during after planting stage of forming of cultural cenosis. The activity of cultivated soil pieces reduced by 3,4–9,2 times. Accumulation of radio-active elements by fruit under expositive dose 24 mx-ray/h. was less than the wild-growing ones by 2,2–4,4 times. Fruit activity reduced by 5,0–33,9 times under dose of 44 mx-ray/h. in dependence on the level of agricultural background.

Центральным ботаническим садом АНБ проводились исследования по изучению аккумуляции радионуклидов видами семейства Брусничные (*Vacciniaceae*), перспективными для интродукции в условиях Беларуси: клюквой крупноплодной (*Oxycoccus macrocarpus* (Ait.) Pers.), голубикой высокой (*Vaccinium corymbosum* L.), брусникой обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.), которые показали, что в наибольшей мере эколого-биологическим потребностям данных видов отвечают эдафические и погодно-климатические условия юга республики [1,2], т. е. как раз тех районов, которые пострадали от последствий аварии на ЧАЭС. К настоящему времени разработана агротехника, позволяющая в значительной мере механизировать технологические операции на плантациях, начиная от посадки растений и кончая уборкой плодов (клюква крупноплодная). Таким образом, на наш взгляд, существуют реальные предпосылки для масштабного введения в культуру в условиях юга Беларуси данных интродуцентов. Единственным объективным фактором, сдерживающим это, является отсутствие научно обоснованных данных по оценке возможности получения экологически чистой ягодной продукции при выращивании растений в условиях радиоактивного загрязнения. Следует отметить, что плоды дикорастущих аборигенных аналогов культурных видов *Vacciniaceae* – голубики топяной (*Vaccinium uliginosum* L.), брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.), черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L), клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.), начиная с мощности экспозиционной

дозы 24 мкР/ч, аккумулировали радионуклиды в количествах, значительно превышающих РДУ [3,4]. Эти данные получены спустя семь лет после аварии на ЧАЭС. Основываясь на результатах четырехлетнего изучения дикорастущих *Vacciniaceae*, мы не прогнозируем в обозримом будущем положительной перспективы относительно возможности безопасного употребления в пищу их плодов.

Для создания плантаций культурных видов семейства *Vacciniaceae* используются кислые (рН 3,5–5,0), малопригодные для возделывания основных сельскохозяйственных культур почвы [1,2]. Обоснованная возможность гарантированного получения экологически чистых ягод культурных видов *Vacciniaceae* будет способствовать решению проблемы рекультивации пустующих земель. Кроме того, это позволит обеспечивать население пострадавших от аварии на ЧАЭС районов плодами, представляющими ценность не только как пищевые продукты, но и как источник биологически активных веществ, имеющих важное лечебно-профилактическое значение. Ягоды культурных видов *Vacciniaceae* содержат значительное количество пектинов и клетчатки, образующих нерастворимые соединения. Связываясь с радиоактивными и токсичными веществами, они способствуют выведению последних из организма [5]. Имеющиеся в плодах флавоноиды повышают их радиорезистентность [2,6].

При изучении литературы дальнего зарубежья использовали материалы Международной ядерной информационной системы (INIS) при МАГАТЭ за период с 1983 по 1994 г. включительно. В этом информа-

ционном банке не встречено исследований, хоть в какой-то мере сопоставимых с проведенными нами. Имеется лишь несколько работ, в которых изучается реакция отдельных культурных видов *Vacciniaceae* на повышенную естественную радиоактивность [7,8]. Изучение материалов представительных конференций и совещаний, имевших место в последние годы в странах СНГ, также не позволило выявить работ, посвященных исследованию реакции культурных видов *Vacciniaceae* на радиоактивное загрязнение [9–14]. Немногочисленные и разрозненные публикации связаны, главным образом, с некоторыми дикорастущими видами *Vacciniaceae* (черникой обыкновенной, брусникой обыкновенной). Таким образом, необходимо констатировать – реакция на радиоактивное загрязнение перспективных для Беларуси культурных видов *Vacciniaceae* в настоящее время еще не исследована. В силу этого отсутствуют существенно важные данные о возможности активного воздействия агротехническими мероприятиями на процесс миграции радионуклидов в системе почва – культурные виды *Vacciniaceae*.

Объекты и методы. Исследования проводились на территории Лунинецкого и Лельчицкого районов. Сотрудниками лаборатории интродукции плодовых растений ЦБС АНБ были заложены опытные участки клюквы крупноплодной – сорта Stevens и Franklin, голубики высокой – сорт Rancocas, брусники обыкновенной – сорт Kogalle. Мощность экспозиционной дозы в местах проведения исследований колебалась от 24 до 44 мкР/ч. Подробная характеристика пробных площадей (ПП) приведена в таблице 1. Относительно небольшая величина диапазона уровня радиоактивного загрязнения местности, избранного для данных исследований, определялась тем, что полученные нами ранее результаты [3,4] свидетельствуют о весьма значительной степени аккумуляции ра-

дионуклидов дикорастущими аналогами культурных видов даже при мощности экспозиционных доз 16, 20 и 24 мкР/ч.

Степень влияния фактора предпосадочной обработки почвы определяли путем сравнения активности изучавшихся видов и их дикорастущих аналогов (клюква болотная, голубика топяная, брусника обыкновенная), произрастающих в одинаковых условиях радиоактивного загрязнения.

Для определения влияния необходимого минимума агрофона (имеющего место на дачных и приусадебных участках) на снижение аккумуляции радионуклидов культурными видами *Vacciniaceae* на ПП 1 и 2 подготовка почвы ограничивалась простым перекапыванием на глубину штыка лопаты, а уход – прополкой и изредка поливом.

ПП 3 заложена на плантации, где посадки клюквы крупноплодной возделываются по интенсивной промышленной технологии, разработанной в США и адаптированной к местным условиям. Предпосадочная подготовка почвы заключалась в удалении древесной, травяно-кустарничковой растительности и, в процессе обустройства земляных дамб, окружающих каждый одногектарный чек, верхнего слоя почвы толщиной примерно 10 см. Кроме того, была проведена глубокая вспашка на глубину 50 см и дискование болотными фрезами. Непосредственно перед посадкой участок пролесковали слоем среднезернистого, радиоактивно не зараженного песка толщиной 4–6 см. Ежегодно осуществлялось внесение минеральных удобрений, проводилась борьба с сорной растительностью механическим и химическим способами. Требуемые по технологии возделывания параметры водного режима обеспечивались в засушливый период краткосрочным (не более суток) полным затоплением плантации каждые 2–3 недели.

Таблица 1. Характеристика пробных площадей

№ ПП	Мощн. дозы мкР/ч	Административный район	Год посадки	Вид растения	Почва	Способ обработки	Агротехнические мероприятия
1	24	Лунинецкий	1991	Голубика высокая, клюква крупноплодная	Дерново-подзолистая, слабоподзоленная, внизу оглеенная, супесчаная	Ежегодная перелашка после аварии на глубину 20–25 см, перед посадкой дискование	Прополка
2	44	Лунинецкий	1991	Голубика высокая, клюква крупнопл., брусника обыкнов.	Торфяно-болотная, развивающаяся на древесноосоковом торфе, подстилаемом с глубины 50–70 см среднезернистым песком	После аварии участок не обрабатывался, перед посадкой перекапывание на глубину 15–18 см, без снятия дерна	Прополка, пескование клюквы крупноплодной
3	44	Лельчицкий	1992	Клюква крупноплодная	Торфяно-болотная, развивающаяся на осоково-пушицево-сфагновом торфе, подстилаемом среднезернистым песком	Снятие мохового очеса и верхнего слоя почвы (до 10 см), глубокая вспашка перед посадкой (50 см)	Прополка, пескование, обводнение, внесение минеральных удобрений

Таблица 2. Радиоактивность почвы на участках посадок культурных видов *Vacciniaceae* и прилегающих к ним контрольных площадях

Мощн. эксп. дозы, мкР/ч	№ ПП, вид контрольного участка	Глубина взятия образца, см	<i>Cs-137+Cs-134</i>	
			Ки/кв.км	кБк/кв.км
24	1	0-10	0,110±0,018	4,081±0,668
	Старопахотный участок	0-10	0,692±0,034	25,673±1,261
	Лесной участок	0-10	0,653±0,042	24,226±1,558
44	2	0-10	0,343±0,071	12,725±2,634
	3	0-5	0,141±0,023	5,231±0,853
		5-10	0,220±0,043	8,162±1,595
		10-15	0,261±0,035	9,683±1,298
		15-20	0,325±0,072	12,057±2,671
		20-25	0,364±0,051	13,504±1,892
		25-30	0,352±0,064	13,059±2,374
	Старопахотный участок	0-10	1,153±0,101	42,776±3,747
	Лесной участок	0-10	1,292±0,186	47,930±6,900

При создании опытных посадок культурных видов *Vacciniaceae* использовался посадочный материал (неукорененные черенки клюквы крупноплодной и 1-2-летние растения брусники обыкновенной и голубики высокой), выращенный на Ганцевичской научно-экспериментальной базе ЦЭС АНБ (экспозиционная доза 12 мкР/ч).

Методика отбора почвенных и растительных образцов состояла в следующем. Точки их взятия располагались на одинаковом расстоянии друг от друга, в систематическом порядке, вдоль длинной стороны пробной площади. Отбор почвы осуществляли с помощью полого металлического цилиндра высотой 5 см и диаметром 14 см. На ПП 3 содержание радионуклидов исследовали по слоям 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 см. На ПП 1 и 2 радиоактивность почвы определялась в слое 0-10 см. Радиоактивность ягод определяли в свежем состоянии, надземной фитомассы - в воздушно-сухом. Отбор образцов проводили в шестикратной повторности. Аналогичную методику взятия почвенных и растительных образцов применяли и для дикорастущих ягодников. Содержание радионуклидов определяли спектрофотометрическим методом. Статистическую обработку данных осуществляли по стандартной программе на ЭВМ.

Результаты и обсуждение. Предпосадочная обработка почвы привела к снижению содержания радионуклидов в корнеобитаемом слое (табл. 2). Так, на ПП 1 активность почвы в слое 0-10 см уменьшилась по сравнению с контрольными участками в 5,9-6,3 раза, на ПП 2 в 3,4-3,8, на ПП 3 в 8,2-9,2 раза. Как видно из полученных данных, самое существенное снижение активности почвы имеет место на ПП 3, т. е. там, где интенсивность обработки была наибольшей. На наш взгляд, в данном случае положительное влияние оказывали также периодические затопления плантации, проводившиеся в засушливый период. С потоком влаги происходила миграция наиболее мобильных компонентов радиоактивного загрязнения за пределы

корнеобитаемого слоя. Об этом, в частности, говорят результаты послойного анализа почвы на ПП 3 (табл. 2). Отмечено увеличение содержания радионуклидов в низлежащих почвенных горизонтах. На ПП 2, где затопления не проводились, активность корнеобитаемого слоя была выше (при одинаковой мощности экспозиционной дозы) в 2,4 раза.

Характерной особенностью культурных видов *Vacciniaceae*, в частности, клюквы крупноплодной и брусники обыкновенной, является формирование корневых систем в верхнем слое почвы мощностью до 10 см. Корни голубики высокой проникают на более значительную глубину - 15-25 см.

С учетом относительно небольшой глубины залегания корней изучавшихся растений исключительно важное значение приобретает санирование корнеобитаемого слоя посредством предпосадочной обработки почвы.

Периодические затопления плантации, наряду с интенсивной предпосадочной обработкой почвы, следует рекомендовать в качестве технологического приема, способствующего направленному перераспределению находящихся в почве радионуклидов и, таким образом, санированию корнеобитаемого слоя. С учетом эколого-биологических потребностей изучавшихся растений в наибольшей мере приемлемы они по отношению к клюкве крупноплодной.

Исследование активности фитомассы культурных видов *Vacciniaceae* показало, что за весь период наблюдений концентрация изотопов не превышала РДУ [15], установленных для лекарственного сырья. Так, при мощности экспозиционной дозы 44 мкР/ч радиоактивность цезиев в вегетативных органах клюквы крупноплодной составляла 925-1007, голубики высокой - 1149, брусники - 305 Бк/кг. При том же уровне радиоактивного загрязнения дикорастущие виды накапливали от 4010 (брусника) до 8033 Бк/кг (клюкwa).

Наибольший интерес представляет анализ аккумуляции радионуклидов плодами возделывавшихся рас-

Таблица 3. Содержание радионуклидов в свежих плодах клюквы крупноплодной, голубики высокой, брусники обыкновенной, выращиваемых в загрязненной зоне

Мощн. дозы, мкР/ч	№ ПП	Вид растения	Cs-137+Cs-134, Бк/кг	Погрешность, P=0,95
12	к	клюква крупноплодная (с. Franklin, Stevens)	6,3	37,9
		голубика высокая (с. Rancocas)	18,1	8,9
		брусника обыкновенная (с. Koralle)	32,7	7,0
24	1	клюква крупноплодная (с. Franklin)	165,2	7,8
		голубика высокая (с. Rancocas)	185,6	9,3
	к	клюква болотная (дикорос)	725,3	8,9
		голубика топяная (дикорос)	415,0	25,1
44	2	клюква крупноплодная (с. Franklin)		
		а) с пескованием	187,8	6,9
		б) без пескования	211,0	5,4
		голубика высокая (с. Rancocas)	253,1	15,2
	3	брусника обыкновенная (с. Koralle)	114,0	9,2
		клюква крупноплодная с песков. (с. Stevens)	42,0	7,6
		клюква болотная (дикорос)	1425,0	17,3
к	голубика топяная (дикорос)	1273,4	19,1	
	брусника обыкновенная (дикорос)	2235,9	21,3	

к – контрольные участки: дикорастущие аналоги при той же мощности экспозиционной дозы; культурные виды Vacciniaceae – в незагрязненной зоне

тений. Рассмотрение полученных данных показало следующее (табл. 3).

Клюква крупноплодная. Увеличение интенсивности агрофона способствует снижению содержания радионуклидов. Так, например, при мощности экспозиционной дозы 24 мкР/ч (ПП 1) активность плодов составила 165 Бк/кг, что не превышает РДУ и в 4,4 раза меньше, чем у дикорастущего аналога при том же радиационном фоне. Несколько выше активность плодов при фоне 44 мкР/ч (ПП 2) – в среднем 199,4 Бк/кг. Причем, следует отметить, у плодов дикорастущей клюквы при такой же радиационной обстановке содержание радионуклидов составляет 1425 Бк/кг, что больше уже в 7,1 раза. Обязательный при выращивании клюквы крупноплодной агротехнический прием – пескование – способствует снижению содержания радионуклидов в плодах на 11%. Возделывание клюквы крупноплодной на ПП 1,2 велось по упрощенной технологии (табл. 1) и, тем не менее, даже при минимальной степени агротехнической обеспеченности достигнуто значительное снижение аккумуляции радионуклидов плодами. На ПП 3 имел место значительно более высокий уровень агрофона. Содержание радионуклидов в плодах на данной пробной площади составило всего 42,0 Бк/кг, что вполне соответствует РДУ и значительно меньше, чем в вариантах с упрощенным возделыванием культуры.

Такой результат позволяет положительно оценить перспективу получения экологически чистой ягодной продукции клюквы крупноплодной при возделывании ее в условиях радиоактивного загрязнения.

Голубика высокая. Из культурных видов Vacciniaceae корневая система голубики имеет наибольшую глубину залегания (до 25 см). Именно этим

обстоятельством мы объясняем относительно высокое, по сравнению с другими изучавшимися видами, содержание изотопов Cs-134, -137 в плодах данного растения. Этот показатель, в частности, выше, чем у клюквы крупноплодной при мощности экспозиционной дозы 24 и 44 мкР/ч, брусники обыкновенной при 44 мкР/ч. Минимальная обработка почвы способствует снижению аккумуляции изотопов, однако не настолько, насколько это необходимо, чтобы ягодная продукция голубики высокой соответствовала РДУ. Тем не менее, отметим, что у плодов дикорастущей голубики, произрастающей в аналогичных условиях радиоактивного загрязнения местности, степень аккумуляции радионуклидов в 2,2–5,0 раз больше. С учетом особенностей корневой системы голубики высокой, в качестве одной из предпосылок возможности получения экологически чистой ягодной продукции следует рекомендовать как можно более глубокую вспашку (до 50 см) с обязательным оборотом пласта. Несомненный антирадиационный эффект имеет удаление верхнего слоя почвы толщиной до 10 см. Поскольку наиболее предпочтительны для голубики легкие почвы, потерю в результате проведения данной технологической операции гумусного горизонта необходимо компенсировать путем внесения компостно-перегнойного субстрата в посадочные лунки. Применение вышеперечисленных агротехнических приемов на плантациях голубики высокой будет способствовать получению незагрязненной ягодной продукции.

Брусника обыкновенная. Предваряя анализ аккумуляции радионуклидов плодами данного вида, нужно отметить следующее. Из всех аборигенных видов Vacciniaceae дикорастущая брусника обладает наиболее развитой корневой системой. Она формирует про-

тяженную сеть подземных корневищ, расположенную в верхнем 10-сантиметровом слое почвы. По-видимому, этим обуславливается то, что лесная брусника накапливает радиоизотопы в наиболее значительном количестве. У растений, используемых для создания плантаций, строение корневой системы существенно отличается. Заключается это в том, что кустарничек, выросший из укорененного стеблевого черенка, в первые годы жизни корневища практически не образует. К тому же их формирование генетически детерминировано, с различной степенью выраженности у разных сортов (использовавшийся нами сорт Kogalle характеризуется средней интенсивностью образования столонов). В связи с уменьшением площади сбора питательных веществ происходит и снижение степени накопления радионуклидов брусникой. Эта биологическая особенность имеет важное значение при культивировании данного вида на загрязненной территории.

Активность плодов брусники значительно меньше, чем у голубики высокой и клюквы крупноплодной, произрастающих в аналогичных условиях радиационного загрязнения, соответственно в 2,2 и 1,7 раза. Еще более существенно различие при сравнении с брусникой-дикоросом – в 11,6 раза. (По отношению к бруснике сравнение дикороса с культиваром наиболее обоснованно, поскольку сортовая брусника представляет собой формы, отобранные из естественной флоры.) Доказанная нами возможность получения экологически чистой ягодной продукции позволяет положительно оценить перспективу создания плантаций брусники обыкновенной в загрязненной зоне.

Основная предпосылка успешного плантационного выращивания брусники обыкновенной в условиях радиационного пресса – хорошая предпосадочная подготовка почвы. Она заключается в удалении верхнего слоя почвы, увеличении глубины и плантажности вспашки. Определенное положительное значение может иметь использование сортов, слабо образующих корневища (Erntesegen, Erntekrone).

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы.

Агротехнические мероприятия, направленные на повышение продуктивности плантаций (орошение, обводнение, пескование, прополка, внесение минеральных удобрений), являются одновременно действенным профилактическим средством по снижению аккумуляции радионуклидов плодами культурных видов *Vacciniaceae*.

Даже минимальный уровень агрофона плантационных участков способствует снижению активности плодов культурных видов *Vacciniaceae* по сравнению с их дикорастущими аналогами, растущими при той же мощности экспозиционной дозы, в 2,2–19,6 раза.

Степень аккумуляции радионуклидов плодами сортовых растений *Vacciniaceae* при выращивании их

в условиях радиоактивного загрязнения находится в обратной зависимости от:

а) интенсивности предпосадочной подготовки почвы на плантации (снятие и удаление очеса мхов, травяно-кустарничковой растительности, верхнего слоя почвы, глубина и плантажность вспашки);

б) регулярности и достаточности агротехнических мероприятий в послепосадочный период формирования культурценоза.

В наибольшей мере адаптирована к профилактике радиационного фактора и не требует кардинальных изменений технология возделывания клюквы крупноплодной.

Неиспользованные еще потенциальные возможности интенсификации плантационного выращивания голубики высокой и брусники дают основания для осторожного оптимизма относительно перспектив получения экологически чистой ягодной продукции данных видов при возделывании их в условиях радиоактивного загрязнения.

Литература

1. Сидорович Е.А., Кудинов М.А., Рубан Н.Н., и др. Клюква крупноплодная в Белоруссии.–Мн., 1987.
2. Сидорович Е.А., Рубан Н.Н., Шерстеникина А.В. Интродукция и опыт выращивания клюквы крупноплодной, голубики высокой и брусники.–Мн., 1991.
3. Марозаў А.У., Басак В.М., Паўлоўскі Н.Б. Акумуляцыя радыёнуклідаў дзікарослай *vaccinium vitis-idaea*L. //Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. біял. навук.–1995, N4. –С. 9–15.
4. Морозов О.В., Босак В.Н., Павловский Н.Б. Экологические проблемы интродукции растений на современном этапе: вопросы теории и практики.–Краснодар, 1993.–С. 82–85.
5. Кевра М.К. Растения против радиации.–Мн., 1993.
6. Федзюковіч М.І., Гардзейка У.А., Ціво П.П., Мароз Ю.Д. Радыяцыя, нітраты і чалавек.–Мн., 1994.
7. Dave N.K., Lim T.P., Clontier N.R. *Environmetal - Pollution, Series B*. 1985. V. 10 (4), P. 301–314.
8. Mahon D.C., Mathewes R.W. *Canadian Journal of Soil Science – Canada*. 1983. V. 63 (2), P. 281–290.
9. Принципы и методы ландшафтно-геохимических исследований миграции радионуклидов.–Мн., 1989.
10. Геохимические пути миграции искусственных радионуклидов в биосфере.–Гомель, 1990.
11. Радиобиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС.–Мн., 1991.
12. Эколого-биологическое изучение ягодных растений семейства Брусничные и опыт освоения их промышленной культуры в СССР.–Ганцевичи, 1991.
13. Радиобиологический съезд.–Пушино, 1993.
14. Экологический статус загрязнённых радионуклидами территорий.–Мн., 1995.
15. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ–92).–Мн., 1992.