

Влияние различных почвенных условий на поступление ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am в берёзовый сок на территории зоны отчуждения ЧАЭС

С.А. Калиниченко¹, А.Н. Никитин², О.А. Шуранкова²

Исследовано влияние различных почвенных условий на поступление ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am в берёзовый сок на территории зоны отчуждения ЧАЭС. Подтверждена тенденция к более интенсивному поступлению радионуклидов в берёзовый сок на участках с повышенным увлажнением. Установлена взаимосвязь между накоплением радионуклидов берёзовым соком и агрохимическими параметрами почвы: содержанием гумуса, ёмкостью поглощения, гидролитической кислотностью, содержанием обменного фосфора, концентрацией подвижных кальция, магния и калия. Эти данные можно использовать при прогнозировании накопления радионуклидов берёзовым соком. Изучены динамические процессы накопления радионуклидов в течение всего периода сокодвижения.

Ключевые слова: берёзовый сок, почва, радионуклиды (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am).

Influence of various soil conditions on transfer of ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am in birch sap on the territory of exclusion zone of the CNPP is investigated. The tendency to more intensive intake of radionuclides in birch sap on sites with the increased moistening is confirmed. The interrelation between accumulation of radionuclides in birch sap and agrochemical parameters of the soil is established: maintenance of humus, cation exchange capacity, hydrolytic acidity, and content of exchange phosphorus, concentration of mobile calcium, magnesium and potassium. These data can be used for forecasting accumulation of radionuclides in birch sap. Dynamic processes of accumulation of radionuclides during the entire period of the movement of sap are studied.

Keywords: birch sap, soil, radionuclides (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am).

Введение. Лесное сообщество является наиболее сложным для радиоэкологических исследований объектом в силу огромного многообразия факторов, влияющих на процессы перераспределения радионуклидов среди биотических и абиотических компонентов этой живой динамической системы. Наиболее очевидные среди них связаны со структурными особенностями леса: большая мозаичность плотности радиоактивного загрязнения поверхности почвы лесного биогеоценоза; биологическая поверхность фитомассы древесных растений, значительно превышающая поверхность почвы, на которой они произрастают; наличие лесной подстилки на поверхности почвы, которая является своеобразным накопителем радионуклидов и др. Произрастая на загрязнённых территориях, деревья в течение всей своей жизни аккумулируют в своей древесине радиоактивные элементы. Большую роль при этом играют не только различия в типах почв и сукцессионные процессы, но и колебания метеоусловий, уровня грунтовых вод, агрохимические параметры почв и др. В связи с этим в своей работе мы сделали акцент на некоторых из этих факторов, учитывая возможность с их помощью прогнозировать накопление радионуклидов берёзовым соком.

Среди потенциальных пищевых продуктов леса наибольшей способностью концентрировать радионуклиды обладают грибы, дикорастущие плоды, ягоды и мясо диких животных. Однако нельзя не учитывать и такой важный лесной продукт, как берёзовый сок, обладающий массовым потреблением. Обладая высокими вкусовыми качествами, он является прекрасным профилактическим и лекарственным средством при различных заболеваниях, обладает кроветворным и регенерирующим действием, стимулирует обмен веществ в организме. Он содержит полезные и необходимые для организма фруктовый сахар, органические кислоты, дубильные вещества, витамины, микроэлементы и др. [1], [2]. Степень загрязнения берёзового сока радионуклидами зависит от тех же факторов, что и накопление радионуклидов в растениях и других «дарах леса». Принято считать, что накопление ^{137}Cs обычно незначительно. Даже в 30-км зоне вокруг ЧАЭС при плотности загрязнения почвы березняка до 18500 кБк/м^2 концентрация ^{137}Cs в берёзовом соке не превышала 250 Бк/л [3]. Некоторые авторы утверждают, что основным фактором, влияющим на накопление ^{137}Cs в данном случае,

является изменение условий увлажнения почвы. При этом на полугидроморфных почвах коэффициент перехода в 2–3 раза выше, чем на автоморфных [4], [5]. В отношении же других радионуклидов достоверных данных недостаточно. Существует мнение, что для ^{90}Sr характерно высокое накопление в берёзовом соке [6]. Неоднозначно также мнение исследователей о многолетней динамике радионуклидов и по вопросу сезонных особенностей накопления, а также различий в сроке подсочки деревьев [1]–[7].

Основной целью наших исследований на данном этапе явилось установление влияния на накопление радионуклидов в берёзовом соке различных агрохимических параметров и режима увлажнения почвы.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в 2016–2018 гг. на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника в белорусском секторе ближней зоны (отчуждения) Чернобыльской АЭС в районе исследовательской станции «Масаны» на расстоянии около 12 км от эпицентра аварии. В естественных биогеоценозах были выделены 3 экспериментальные площадки с различным режимом увлажнения (автоморфный, полугидроморфный, гидроморфный), где для подсочки были выбраны по 10 деревьев, и 1 площадка на территории санитарно-защитной зоны и.с. «Масаны», где для подсочки были выбраны 3 дерева около пожарного водоёма. Территория экспериментальных полигонов относится к 119–121 кварталам Радинского лесничества. При этом площадка в березняке на гидроморфной почве имела тип лесорастительных условий 1A₃, в остальных биогеоценозах 1A₂ [8]. Почва дерново-подзолистая супесчаная, в увлажнённых биотопах с оторфованным верхним гумусовым горизонтом. Плотность почвы составляла для березняка гидроморфного – 0,64 г/см³ (127,4 кг/м²), для березняка полугидроморфного – 0,70 г/см³ (140,4 кг/м²), для березняка автоморфного – 1,75 г/см³ (351,0 кг/м²), для участка на санитарно-защитной зоне – 1,61 г/см³ (321,1 кг/м²). Проектное покрытие живого напочвенного покрова на экспериментальных полигонах составляло 90–100 %. Агрохимический анализ образцов почвы экспериментальных площадок был проведён стандартными методами на базе лаборатории радиэкологии ГНУ «Института радиобиологии НАН Беларуси».

Отбор образцов берёзового сока проводился в пластиковые ёмкости в весеннее время в течение всего периода сокодвижения. После отбора образцы отфильтровывались и помещались в измерительные сосуды для определения содержания в них радионуклидов. С целью определения коэффициентов перехода (Kn), (Бк/л:Бк/м²) были также отобраны почвенные образцы на каждой экспериментальной площадке стандартным тростевым пробоотборником диаметром 4 см на глубину 20 см. При этом одновременно были проведены измерения мощности дозы γ -излучения (МД) на высоте 1 м и 3–4 см от поверхности почвы при помощи дозиметра-радиометра МКС (EL) – 1117А. Смешанные образцы почвы включали 5 уколов. В лабораторных условиях пробы почвы высушивали при температуре 20–25°C и гомогенизировали. По окончании пробоподготовки образцы помещали в измерительные сосуды для последующего определения радионуклидов (спектрометрия).

Определение ^{137}Cs и ^{90}Sr проводили инструментальным методом на γ - β -спектрометре «МКС-АТ1315» (Атомтех, Беларусь) с блоком детектирования для регистрации γ -излучения на основе сцинтилляционного кристалла NaI (Тl) размерами $\varnothing 63 \times 63$ мм. Для регистрации β -излучения использовался органический сцинтиллятор на основе полистирола, активированного паратерфинилом, размерами $\varnothing 128 \times 9$ мм [9]. Определение ^{241}Am проводили на γ -спектрометре «Canberra» (Canberra Industries, Inc., USA) с детектором из особо чистого германия с композитным углеродным окном с регистрацией γ -излучения в диапазоне энергий 20–2000 кэВ [10]. Ошибка измерений составляла не менее 20 %. Для обработки результатов использованы методы вариационной статистики и корреляционного анализа [11].

Результаты исследований. В наших исследованиях наибольшим содержанием всех трёх исследуемых радионуклидов отличалась почва березняка с полугидроморфным режимом увлажнения, наименьшим – почва с территории санитарно-защитной зоны и.с. Масаны, где проведены дезактивационные мероприятия. Две другие экспериментальные площадки имели небольшие различия в содержании радионуклидов: ^{137}Cs и ^{241}Am незначительно преобладали в условиях автоморфной, а ^{90}Sr в березняке на гидроморфной почве (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание радионуклидов в почве экспериментальных площадок, кБк/кг

Березняк (n)	Удельная активность, кБк/кг					
	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr		²⁴¹ Am	
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ <i>x_{min.}–x_{max.}</i>	Дов. интервал (<i>p</i> < 0,001) <i>Cs</i> (< 3–5 %)*	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ <i>x_{min.}–x_{max.}</i>	Дов. интервал (<i>p</i> < 0,001) <i>Cs</i> (< 3–5 %)*	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ <i>x_{min.}–x_{max.}</i>	Дов. интервал (<i>p</i> < 0,001) <i>Cs</i> (< 3–5 %)*
Гидроморф. (6)	<u>9,48 ± 0,70</u> 7,75–12,22	<u>7,17–11,80</u> 7,42	<u>2,42 ± 0,41</u> 1,45–3,66	<u>1,07–3,76</u> 16,93	<u>0,22 ± 0,03</u> 0,14–0,36	<u>0,11–0,33</u> 14,90
Полугидр.(100)	<u>32,26 ± 1,68</u> 7,48–77,42	<u>26,72–37,80</u> 5,22	<u>10,87 ± 0,61</u> 0,93–23,35	<u>8,87–12,87</u> 5,52	<u>0,69 ± 0,05</u> 0,16–2,04	<u>0,54–0,84</u> 6,60
Автоморф. (5)	<u>11,14 ± 0,64</u> 9,64–12,86	<u>9,04–13,24</u> 5,73	<u>1,24 ± 0,05</u> 1,04–1,35	<u>1,06–1,41</u> 4,27	<u>0,28 ± 0,07</u> 0,12–0,55	<u>0,05–0,51</u> 25,33
Деактив. (11)	<u>1,22 ± 0,24</u> 0,21–2,55	<u>0,45–1,99</u> 19,23	<u>0,44 ± 0,09</u> 0,14–0,98	<u>0,16–0,72</u> 19,48	<u>0,025 ± 0,005</u> 0,003–0,052	<u>0,009–0,040</u> 19,42

* – показатель точности определения выборочной средней.

В почвах всех исследуемых березняков наибольшим содержанием отличался ¹³⁷Cs. Различия между ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr соответственно составили для березняка на гидроморфной почве – 3,9 раза, полугидроморфной – 3,0 раза, автоморфной – 10,0 раз, дезактивированного участка – 2,8 раза. Различия между ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am соответственно составили для березняка на гидроморфной почве – 43,1 раза, полугидроморфной – 46,8 раза, автоморфной – 40,7 раза, дезактивированного участка – 48,8 раза. Однако в отношении плотности загрязнения экспериментальных площадок картина несколько изменяется, что связано с морфологией самой почвы. Так, поверхностное загрязнение почвы ¹³⁷Cs преобладало над другими видами загрязнения для каждого биогеоценоза, но при этом наибольшей плотностью загрязнения обладал березняк на автоморфной почве, также как и в отношении ²⁴¹Am. Наибольшая плотность загрязнения поверхности почвы ⁹⁰Sr характерна для березняка на полугидроморфной почве. Данные несоответствия между удельным содержанием радионуклидов в почве и плотностью поверхностного загрязнения связаны со структурными и агрохимическими особенностями почвы, как говорилось выше, так и с взаимообусловленным режимом увлажнения и активностью биоты. Наименьшей поверхностной активностью почвы для всех, исследуемых радионуклидов, естественно отличался участок, подвергнутый дезактивации, где более 20 лет назад был полностью снят поверхностный слой почвы. Различия между плотностью загрязнения поверхности почвы ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr соответственно составили для березняка на гидроморфной почве – 4,1 раза, полугидроморфной – 3,0 раза, автоморфной – 9,1 раза, дезактивированного участка – 2,8 раза. Различия между ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am соответственно составили для березняка на гидроморфной почве – 40,7 раза, полугидроморфной – 49,3 раза, автоморфной – 39,0 раза, дезактивированного участка – 48,8 раза.

Анализ содержания ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в берёзовом соке показал, что, несмотря на значительное превышение поверхностного содержания в почве всех исследуемых сообществ ¹³⁷Cs (до 9,1 раза), объёмная активность его в соке существенно ниже ⁹⁰Sr, что говорит о меньшей доступности ¹³⁷Cs по сравнению со ⁹⁰Sr (таблица 2).

Согласно литературным данным [12], концентрация ¹³⁷Cs в берёзовом соке зависит от условий произрастания насаждений, и во влажных условиях его содержание возрастает до 3 раз. В наших исследованиях разница между объёмной активностью берёзового сока березняка на гидроморфной и автоморфной почве для ¹³⁷Cs составила 6,9 раза, для ⁹⁰Sr такая разница составила 1,5 раза. Причём значительные различия в плотности поверхностного загрязнения почвы при этом существенной роли на процессы накопления не сыграли. Рассчитанные нами коэффициенты вариации удельного содержания радионуклидов в берёзовом соке для всех экспериментальных полигонов были незначительны и имели небольшой диапазон варьирования, что подтверждает стабилизацию радиоэкологической обстановки в лесах и достоверность проводимых исследований. По полученным нами данным содержание ⁹⁰Sr по сравнению с ¹³⁷Cs в берёзовом соке березняка на гидроморфной почве выше в 2,9 раза, березняка на

полугидроморфной почве – в 2,8 раза, на автоморфной – в 13,8 раза, на дезактивированном участке – в 9,0 раз. Полученные результаты указывают на то, что при радиационном контроле такой побочной продукции использования леса, как берёзовый сок, особое внимание следует обращать на накопление ^{90}Sr .

Таблица 2 – Среднее содержание радионуклидов в берёзовом соке, кБк/л

Березняк (n)	Объёмная активность, кБк/л					
	^{137}Cs			^{90}Sr		
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ $x_{\min.} - x_{\max.}$	Дов. интервал ($p < 0,001$) $\text{Cs} (< 3-5 \%)^*$	V, %	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ $x_{\min.} - x_{\max.}$	Дов. интервал ($p < 0,001$) $\text{Cs} (< 3-5 \%)^*$	V, %
Гидроморф. (52)	0,248 ± 0,021 0,100–0,800	<u>0,178–0,319</u> 8,59	62,0	0,730 ± 0,046 0,278–1,692	<u>0,580–0,881</u> 6,27	45,3
Полугидр. (52)	0,227 ± 0,018 0,051–0,727	<u>0,169–0,285</u> 7,77	56,0	0,629 ± 0,051 0,246–2,498	<u>0,461–0,797</u> 8,13	58,6
Автоморф. (58)	0,036 ± 0,002 0,014–0,098	<u>0,030–0,43</u> 5,57	42,5	0,496 ± 0,039 0,096–1,743	<u>0,368–0,623</u> 7,80	59,4
Дезактив. (29)	0,010 ± 0,001 0,005–0,021	<u>0,008–0,012</u> 6,36	34,2	0,090 ± 0,008 0,028–0,184	<u>0,063–0,117</u> 9,18	49,5

* – показатель точности определения выборочной средней.

Оценка максимальных рисков превышения установленной нормативной (РДУ-99) концентрации ^{137}Cs (370 Бк/кг) для наших экспериментальных площадок показала возможность такого превышения до 2,2 раза в условиях повышенного увлажнения. В условиях автоморфных почв такого превышения ожидать не следует.

Общей особенностью выноса радионуклидов берёзовым соком является его значительное увеличение с повышением гидроморфизма почвы биогеоценоза, что существенно влияет на биологическую доступность ^{137}Cs и ^{90}Sr . При этом, по нашим данным, содержание радионуклидов в почве значимого влияния на поступление их в берёзовый сок не оказывает. Из полученных нами данных видно, что наименьшая плотность загрязнения почвы для всех исследуемых радионуклидов была характерна для березняка на гидроморфной почве (дезактивированный участок при этом не учитывается, являясь антропогенно-модифицированным сообществом). Однако количество поступающих радионуклидов в берёзовый сок данного березняка превышает вынос с других экспериментальных полигонов. Величины дисперсии указывают на небольшой разброс содержания радионуклидов в общей выборке. При этом высоких значений корреляционных связей между содержанием ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве и берёзовом соке нами не выявлено, что указывает на значительное влияние при поступлении радионуклидов в сок экотопных факторов.

Естественной особенностью при изменении режима увлажнения сообщества является закономерное снижение содержания в почве органической составляющей по мере уменьшения влажности почвы с понижением уровня грунтовых вод. Содержание органического вещества в почве вполне может являться одним из мониторинговых критериев при прогнозировании накопления радионуклидов берёзовым соком. Аналогичными критериями могут выступать также гидролитическая кислотность почвы и ёмкость поглощения. Ёмкость поглощения или ёмкость катионного обмена – общее количество катионов, которое может быть вытеснено из почвы. Данная величина характеризует физико-химическую поглотительную способность почв и зависит от минералогического и гранулометрического состава почв, а также от содержания в них гумуса. Колеблется она в широких пределах. Так, например, в суглинистых или торфяных почвах ёмкость поглощения больше, чем в песчаных. Гидролитическая кислотность – эта форма кислотности обусловлена ионами водорода, более прочно связанными в почвенном поглощающем комплексе и способными обмениваться на основания только в нейтральной или щелочной среде. Эти ионы водорода труднее замещаются на основания и вытесняются в раствор только гидролитически щелочными солями. Также как и

содержание гумуса в почве, ёмкость поглощения и гидролитическая кислотности снижаются по мере уменьшения влажности почвы биогеоценоза. При этом уменьшается и поступление радионуклидов в берёзовый сок (рисунок 1).

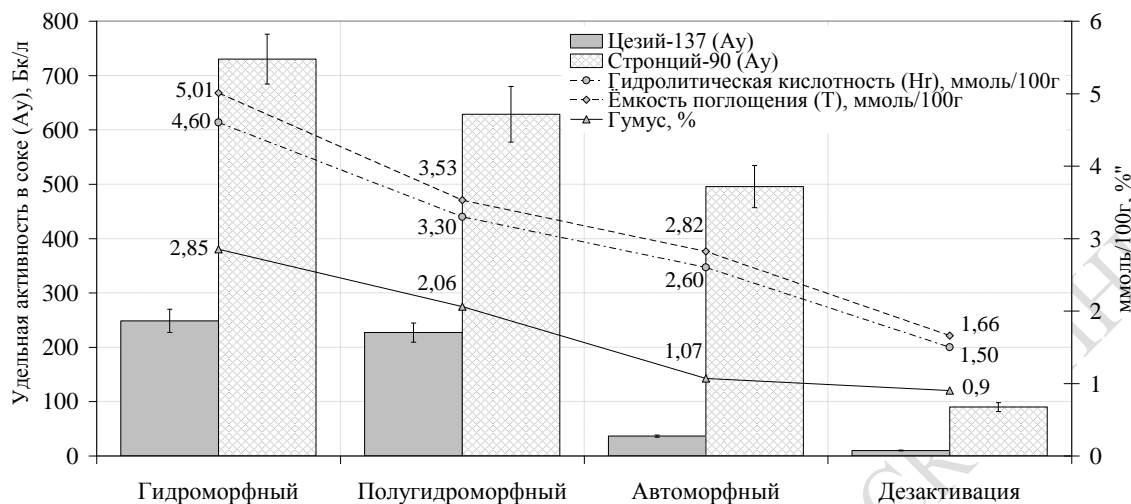


Рисунок 1 – Изменение содержания радионуклидов в берёзовом соке в зависимости от режима увлажнения, содержания гумуса, гидролитической кислотности и ёмкости поглощения в почве экспериментальных площадок, Бк/л, %, ммоль/100 г

Органическая часть почвы обладает более высокой поглощательной способностью, чем минеральная. Поэтому, несмотря на то, что в составе мелкодисперсной фракции преобладают минеральные коллоиды, ёмкость поглощения увеличивается с возрастанием гумусированности почвы. Самая высокая гидролитическая кислотность присуща некоторым торфяным горизонтам болотных почв и их разновидностей. Обычно гидролитическая кислотность почвы больше, чем обменная.

Химический состав берёзового сока отражает природные геохимические особенности почв, развитых в условиях различных геологических структур и пород. При этом в нём отражена как природная, так и техногенная эколого-геохимическая специфика ландшафтов. Химический состав сока может зависеть и от межэлементных взаимодействий в связи с возможностью замещения биофильного элемента другим с близкими химическими свойствами [2]. В этой связи в работе нами были проанализированы и другие агрохимические показатели почв экспериментальных полигонов. Так, содержание обменного фосфора существенно увеличивалось при снижении влажности почвы. Концентрация же в почве подвижных кальция, магния и калия не обнаружила никакой достоверной зависимости от режима увлажнения, лишь некоторую тенденцию к снижению при уменьшении почвенной влаги. Являясь биогенными элементами, их содержание в экосистеме обусловлено, прежде всего, наличием и параметрами живой составляющей сообщества. Жизнедеятельность живого напочвенного покрова, микрофлоры, почвенной мезофауны, грибов, наземных животных, птиц и др. способна существенно влиять на накопление этих элементов в экосистеме.

Расчёт коэффициентов накопления радионуклидов берёзовым соком обнаружил ту же тенденцию более интенсивного их поступления на участках с повышенным увлажнением.

По полученным нами данным, накопление ^{90}Sr берёзовым соком происходило значительно интенсивнее по сравнению с ^{137}Cs во всех березняках. Так, в березняке на гидроморфной почве интенсивнее в 11,6 раза, березняке на полугидроморфной почве – в 8,1 раза, автоморфной – в 133,7 раза, на дезактивированном участке – в 25,5 раза. Соответственно наибольший K_n ^{90}Sr был получен для автоморфного участка, где зафиксирован наименьший K_n ^{137}Cs . Необходимо обратить внимание, что на этой площадке зафиксирована и наибольшая плотность загрязнения поверхности почвы ^{137}Cs . Аналогичные зависимости получены и при расчёте коэффициентов перехода. Также подтверждается более интенсивный переход

^{90}Sr в берёзовый сок всех экспериментальных полигонов. В березняке на гидроморфной почве переход больше в 12,3 раза, на полугидроморфной – в 7,9 раза, на автоморфной – в 114,0 раза, на дезактивированном участке – в 21,3 раза.

По данным А.И. Щеглова [13], многолетняя динамика Кп радионуклидов в лесную растительность отличается колебаниями по отдельным годам и неоднозначным трендом изменения в различных ценозах. На динамику накопления радионуклидов древесной растительностью естественно оказывают влияние многие факторы, в т. ч. и первоначальные физико-химические формы выпадений, условия произрастания растительности, скорость трансформации форм выпавших радионуклидов, которая определяется в основном расстоянием от ЧАЭС и т. д. Тем не менее, при одинаковых условиях динамика Кп должна быть схожей [7].

В нашем случае анализ динамических процессов в течение всего периода сокодвигания указывает на тенденцию увеличения поступления радионуклидов в сок к окончанию периода сокодвигания. Однако в отношении ^{90}Sr наблюдается спад накопления в середине периода, разделяющий зависимость как бы на два этапа. Такое поведение требует дальнейших исследований. В отношении ^{137}Cs такого спада не обнаружено. По полученным нами данным различия в накоплении радионуклидов между начальным периодом сокодвигания и завершающим составляют для ^{137}Cs до 2-х и более раз. Для ^{90}Sr колебания концентрации в течение всего периода сокодвигания могут составлять до 4–5 раз. В течение периода сокодвигания максимальное содержание ^{90}Sr в соке отмечается в начале периода, а минимальное – в момент наибольшего соковыделения, затем к концу данного периода концентрация радионуклида вновь несколько возрастает. По всей видимости, существует отрицательная корреляционная связь между интенсивностью соковыделения и концентрацией ^{90}Sr в соке.

В отношении ^{241}Am все полученные нами данные находились ниже минимальной детектируемой активности, поэтому анализируя их можно говорить о полученных закономерностях лишь как о тенденции. Тем не менее, анализ данных также как и в отношении других радионуклидов указывает на влияние повышенного увлажнения почвы биогеоценоза на накопление ^{241}Am (1,5–1,8 раза) берёзовым соком.

Заключение. Общей особенностью выноса радионуклидов берёзовым соком является его значительное увеличение с повышением гидроморфизма почвы биогеоценоза, что существенно влияет на их биологическую доступность. Так, в наших исследованиях разница между объёмной активностью берёзового сока березняка на гидроморфной почве и автоморфной для ^{137}Cs составила 6,9 раза, для ^{90}Sr такая разница составила 1,5 раза. Расчёт коэффициентов перехода и накопления радионуклидов берёзовым соком обнаружил ту же тенденцию более интенсивного их поступления на участках с повышенным увлажнением.

При радиационном контроле такой побочной продукции использования леса, как берёзовый сок, особое внимание следует обращать на накопление ^{90}Sr . Несмотря на значительное превышение поверхностного содержания ^{137}Cs в почве всех исследуемых сообществ (до 9,1 раза) по сравнению с другими радионуклидами, объёмная активность его в соке существенно ниже. По полученным нами данным содержание ^{90}Sr по сравнению с ^{137}Cs в берёзовом соке березняка на гидроморфной почве выше в 2,9 раза, березняка на полугидроморфной почве – в 2,8 раза, на автоморфной – в 13,8 раза, на дезактивированном участке – в 9,0 раз.

Содержание гумуса в почве, ёмкость поглощения и гидролитическая кислотность снижаются по мере уменьшения влажности почвы биогеоценоза, а содержание обменного фосфора при этом существенно увеличивалось. При этом уменьшается и поступление радионуклидов в берёзовый сок, что можно использовать при прогнозировании накопления радионуклидов соком. Концентрация же в почве подвижных кальция, магния и калия не обнаружила никакой достоверной зависимости от режима увлажнения, лишь некоторую тенденцию к снижению при уменьшении почвенной влаги.

Анализ динамических процессов в течение всего периода сокодвигания указывает на увеличение поступления радионуклидов в сок к окончанию периода сокодвигания. Однако в отношении ^{90}Sr наблюдается спад накопления в середине периода, разделяющий зависимость на два этапа. Различия в накоплении радионуклидов между начальным периодом сокодвигания

ния и завершающим составляют для ^{137}Cs до 2-х и более раз. Для ^{90}Sr колебания концентрации в течение всего периода сокодвижения могут составлять до 4–5 раз. Обнаружена отрицательная корреляционная связь между интенсивностью соковыделения и концентрацией ^{90}Sr в соке.

Литература

1. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В.А. Ипатьев, В.Ф. Багинский, И.М. Булавик [и др.]; Под общ. ред. В.А. Ипатьева. – Гомель : Институт леса НАН Беларуси, 1999. – 454 с.
2. Белоголова, Г.А. Берёза как индикатор эколого-геохимических условий в южном Прибайкалье / Г.А. Белоголова, Г.В. Матяшенко. – Иркутск : Институт геохимии СО РАН, 2009. – С. 63–70.
3. Алексахин, Р.М. Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах / Р.М. Алексахин, М.А. Нарышкин – М. : Наука, 1977. – 144 с.
4. Переволоцкий, А.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах / А.Н. Переволоцкий – Гомель : РНИУП «Институт радиологии», 2006. – 255 с.
5. Кучма, Н.Д. Радиоэкологические и лесоводственные последствия загрязнения лесных экосистем зоны отчуждения / Н.Д. Кучма, Н.П. Архипов, И.С. Федотов. – Чернобыль, 1994. – 53 с.
6. Переволоцкий, А.Н. Некоторые аспекты накопления ^{90}Sr и ^{90}Y в берёзовом соке / А.Н. Переволоцкий, И.М. Булавик, Л.Г. Диденко. – Гомель : Институт леса НАН Беларуси, 2001. – 5 с.
7. Булавик, И.М. Анализ многолетней динамики накопления радионуклидов в лесной продукции / И.М. Булавик, А.Н. Переволоцкий. – Гомель : Институт леса НАН Беларуси, 1995. – С. 88–95.
8. Сибирякова, М.Д. Определение типов леса по растениям индикаторам / М.Д. Сибирякова, Т.Б. Вернандер. – Москва, Ленинград : Гослесбуиздат, 1957. – 148 с.
9. МВИ.МН 1181-2011. Методика измерений объёмной и удельной активности ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{40}K на гамма-бета-спектрометре типа МКС-АТ1315, объёмной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов ^{137}Cs , ^{40}K на гамма-спектрометре типа ЕЛ 1309 (МКГ-1309) в пищевых продуктах, питьевой воде, почве, сельскохозяйственном сырье и кормах, продукции лесного хозяйства, других объектах окружающей среды. – Минск : «Атомтех», 2011. – 31 с.
10. МВИ.МН 3151-2009. Методика выполнения измерений удельной активности гамма-излучающих радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am в почве, донных отложениях и других объектах окружающей среды на гамма-спектрометрах с полупроводниковыми детекторами с бериллиевым или композитным углеродным окном. – Хойники : «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», 2009. – 14 с.
11. Лакин, Г.Ф. Биометрия: учеб. пособие для биологич. спец. вузов / Г.Ф. Лакин – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1980. – 293 с.
12. Щеглов, А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС / А.И. Щеглов – М. : Наука, 1999. – 268 с.
13. Щеглов, А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах центральных районов Восточно-Европейской равнины : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 04.00.04 / А.И. Щеглов. – М., 1997. – 45 с.

¹Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

²Институт радиобиологии
НАН Беларуси

Поступила в редакцию 31.03.2020