DOI: 10.21870/0131-3878-2020-29-3-71-78

УДК 621.039.58+614.73+504.055

Исследование накопления радионуклидов ягодными кустарниками в лесной экосистеме на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону

Шевченко Ю.С., Ларионова Н.В., Топорова А.В., Айдарханов А.О.

Институт радиационной безопасности и экологии РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан», Курчатов, Казахстан

В статье представлены результаты исследования уровней и параметров накопления естественных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и искусственных (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) радионуклидов ягодными кустарниками в лесной экосистеме на территории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону (СИП), в зоне прохождения следа радиоактивных выпадений от первого ядерного испытания (29.08.1949 г.). Установлено, что ни одно из полученных значений удельной активности радионуклидов в ягодах на исследуемой территории не превышает допустимый уровень. Ожидаемая годовая эффективная доза внутреннего облучения населения при потреблении ягод составит менее 1% от основного предела дозы для населения, при этом основной вклад в суммарную дозу вносит доза от естественных радионуклидов.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон (СИП), естественные радионуклиды (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th), искусственные радионуклиды (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$), ягодные кустарники, коэффициент накопления (КН).

Введение

Заготовка ягод является важной составляющей пользования лесом. Полезные свойства ягод известны человечеству с незапамятных времён. В народе ягоды называют природной кладью витаминов, что неудивительно, зная, какую пользу приносят ягоды здоровью человека. Ягоды – это великолепный природный и натуральный источник многих полезных биологически активных соединений, и, что немаловажно, это не только вкусный и полезный, но и доступный продукт питания.

Ягоды, как один из компонентов природной среды, способны накапливать радиоактивные элементы как естественного, так и искусственного происхождения. К первым относятся ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th , которые широко распространены в земной коре и составляют основную долю естественного радиационного фона. К наиболее распространённым искусственным радионуклидам относятся ^{137}Cs и ^{90}Sr , поступление которых в биосферу произошло сравнительно недавно (начиная с XX в.) и было обусловлено рядом радиационных аварий. В местах проведения ядерных испытаний и на прилегающих к ним территориях значительную роль также играют радионуклиды трансуранового ряда – ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$. Мигрируя по цепям питания с одного трофического уровня на другой, радионуклиды могут концентрироваться в их конечных звеньях в количествах, представляющих опасность для здоровья человека.

Многочисленные данные по накоплению радионуклидов лесными ягодами были получены для территорий чернобыльских выпадений [1-3]. Целью данного исследования было определить содержания и параметры накопления естественных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и искусственных (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$) радионуклидов ягодными кустарниками в лесной экосистеме на тер-

Шевченко Ю.С.* – специалист; Ларионова Н.В. – учёный секретарь, к.б.н.; Топорова А.В. – инженер; Айдарханов А.О. – директор, к.б.н. ИРБЭ НЯЦ РК.

*Контакты: 071100, Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская обл., Курчатов, ул. Бейбит-Атом, 2. Тел.: 8(72251) 3-29-13; e-mail: irbe@nnc.kz.

ритории, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону (СИП). Данная территория неоднократно подвергалась радиоактивному воздействию в период проведения атмосферных ядерных испытаний на СИП. При этом основной вклад в радиоактивное загрязнение внесло первое ядерное испытание (29.08.1949 г.), радиоактивное облако от которого прошло в непосредственной близости от населённых пунктов Черемушки, Мостик, Долонь, Канонерка.

Материалы и методы

По ботанико-географическому районированию территория соснового бора расположена в пределах одной природной зоны – степной, и, в частности, в одной подзоне сухих ковыльно-типчаковых степей на каштановых почвах [4].

В качестве объектов исследования выбраны следующие ягодные кустарники: шиповник (*Rosa cinnamomea*), калина (*Viburnum opulus*), смородина (*Ribes aureum*), боярышник (*Grataegus laevigata*). Точки отбора располагались вблизи населённых пунктов Черемушки, Мостик, Долонь, Канонерка (рис. 1). В каждой точке произведён отбор ягод (плодов) и смешанных образцов почвы на глубину 5 см. Всего отобрано 9 проб ягод и 9 проб почв.

Рис. 1. Схема расположения точек отбора.

Пробы ягод промывали и ополаскивали дистиллированной водой 2-3 раза, затем просушивали в сушильном шкафу при температуре 90 °С до постоянной массы пробы. Измельчение проводили при помощи лабораторной мельницы. Далее производилось термическое концентрирование (обугливание, озоление) проб. Сухой остаток обугливался в муфельной печи или путём прокалывания на электроплитах в вытяжном шкафу, не допуская воспламенения образца, до прекращения выделения дыма и получения чёрного остатка. Далее пробы охлаждали, растирали и переносили в фарфоровые чашки для последующего озоления. Температура озо-

ления для дальнейшего определения ^{137}Cs , ^{241}Am составляла $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ – $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. После получения золы чашки с золой охлаждали в эксикаторе. Готовую золу просеивали через сито для удаления примесей, остывший зольный остаток взвешивали, определяли коэффициент озолнения.

Пробы почвы высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильных шкафах при температуре $(105\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$. После удаления из пробы неразложившихся корней, остатков растений и т.д. пробу взвешивали. Затем сухую пробу просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм. Фракцию пробы с диаметром частиц 2 мм собирали отдельно в полиэтиленовый пакет, взвешивали. Фракцию пробы менее 2 мм рассыпали на листе крафт-бумаги, тщательно перемешивали (6-7 раз с угла на угол), распределяли ровным слоем толщиной 0,5-1,0 см в виде квадрата или прямоугольника. Методом квадратирования отбирали навески пробы. Для этого с помощью стеклянной палочки или шпателя квадрат или прямоугольник делили горизонтальными и вертикальными линиями на небольшие квадраты площадью $5\times 5\text{ см}$. Из каждого квадрата в шахматном порядке отбирали порции пробы, обеспечивая захват всей толщины слоя, и далее объединяли. Отбор усреднённой навески методом квадратирования проводили до тех пор, пока не была отобрана достаточная навеска для проведения анализа.

Анализы по измерению удельной активности радионуклидов в пробах почвы и растений проводили в соответствии со стандартизованными методическими указаниями [5, 6] на поверенном оборудовании. Определение удельной активности радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs и ^{241}Am проводили на гамма-спектрометре Canberra GX-2020, ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ – радиохимическим выделением с последующим измерением на бета-спектрометре TRI-CARB 2900 TR и альфа-спектрометре Canberra (мод. 7401) соответственно. Концентрация радионуклидов в растениях определялась в золе, с последующим пересчётом на сухое вещество.

Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения использовался коэффициент накопления (КН) – отношение содержания радионуклида в единице массы растений и почвы соответственно. Полученные результаты обрабатывались с помощью программного обеспечения Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены значения удельной активности в почве и ягодах, а также коэффициенты накопления естественных радионуклидов ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra .

Таблица 1

Значения удельной активности в почве и ягодах и коэффициенты накопления (КН) естественных радионуклидов ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra

Точка отбора	Объект исследования	Удельная активность, Бк/кг						КН		
		^{40}K		^{232}Th		^{226}Ra		^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra
		ягода	почва	ягода	почва	ягода	почва			
1	шиповник	400±80	620±120	<0,6	18±4	<3,4	<11	0,64	<0,03	<0,31
2	калина	570±110	600±130	<1,0	<2,0	<5,4	<12	0,95	<0,5	<0,45
3	шиповник	340±70	640±130	<0,9	12±2	<0,9	11±6	0,53	<0,075	<0,08
4	смородина	490±100	98±17	<1,6	4,2±1,4	<8,2	<18	5	<0,38	<0,46
5	боярышник	350±70	450±90	<1,3	15±3	<6,3	<16	0,78	<0,087	<0,39
6	шиповник	350±70	300±60	<1,2	7,9±2	<6,3	33±16	1,2	<0,039	<0,19
7	шиповник	270±50	520±100	<1,1	10±2	<7,7	<16	0,52	<0,11	<0,48
8	шиповник	300±60	620±100	<1,1	26±5	<7,7	<26	0,48	<0,042	<0,30
9	шиповник	320±60	530±110	<0,5	37±7	<3,6	<28	0,60	<0,014	<0,13
Среднее арифметическое								1,19±0,48	<0,142	<0,31

По результатам проведённых анализов установлено, что в почве содержание ^{40}K варьирует от 60 до 640 Бк/кг, ^{232}Th – от $<2,0$ до 37 ± 7 Бк/кг, ^{226}Ra – от <11 до 33 ± 16 Бк/кг. В ягодах количественные значения удельной активности установлены лишь для радионуклида ^{40}K (от 270 до 570 Бк/кг), ^{232}Th и ^{226}Ra оказалось ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения. Соответственно, КН ^{232}Th и ^{226}Ra рассчитаны оценочно, количественные величины КН получены также лишь для ^{40}K , что соответствует слабому накоплению по аккумуляции растениями химических элементов КН (1-10).

В табл. 2 представлены значения удельной активности в почве и ягодах, а также коэффициенты накопления искусственных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$.

Таблица 2

Значения удельной активности в почве и ягодах и коэффициенты накопления (КН) искусственных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$

Точка отбора	Объект исследования	Удельная активность, Бк/кг								КН			
		^{241}Am		^{137}Cs		^{90}Sr		$^{239+240}\text{Pu}$		^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
		ягода	почва	ягода	почва	ягода	почва	ягода	почва				
1	шиповник	$<0,1$	$<0,4$	$<0,1$	$5,8\pm 1,2$	$0,74\pm 0,21$	$<0,8$	$<0,0070$	$0,7\pm 0,3$	$<0,25$	$<0,017$	$<0,92$	$<0,01$
2	калина	$<0,1$	$0,7\pm 0,2$	$<0,2$	10 ± 2	$0,33\pm 0,17$	$<0,8$	$<0,0075$	$2,2\pm 1,1$	$<0,14$	$<0,02$	$<0,41$	$<0,003$
3	шиповник	$<0,1$	$<0,4$	$<0,1$	12 ± 2	$3,5\pm 0,5$	$1,1\pm 0,6$	$<0,0068$	$1,2\pm 0,5$	$<0,25$	$<0,008$	$3,2$	$<0,006$
4	смородина	$<0,1$	$0,7\pm 0,2$	$<0,3$	20 ± 4	$<0,9$	$2,8\pm 0,6$	$0,9\pm 0,1$	16 ± 2	$<0,14$	$<0,015$	$<0,32$	$0,058$
5	боярышник	$<0,1$	$<0,3$	$<0,3$	14 ± 3	$0,6\pm 0,1$	$3,4\pm 0,5$	$<0,030$	45 ± 5	$<0,33$	$<0,021$	$0,18$	$<0,0007$
6	шиповник	$<0,1$	$0,6\pm 0,15$	$<0,2$	$13,5\pm 3,0$	$1,9\pm 0,3$	$3,3\pm 0,8$	$<0,013$	$1,8\pm 0,7$	$<0,17$	$<0,015$	$0,58$	$<0,0072$
7	шиповник	$<0,1$	$<0,5$	$<0,2$	$2,7\pm 0,5$	$0,8\pm 0,2$	$<1,9$	$<0,013$	$0,4\pm 0,2$	$<0,2$	$<0,074$	$<0,42$	$<0,033$
8	шиповник	$<0,1$	$2,0\pm 0,4$	$<0,2$	45 ± 9	$0,6\pm 0,1$	$3,2\pm 0,8$	$<0,065$	210 ± 10	$<0,05$	$<0,004$	$0,19$	$<0,0003$
9	шиповник	$<0,1$	$2,3\pm 0,5$	$<0,2$	35 ± 7	$0,6\pm 0,2$	$<1,8$	$<0,0060$	$6,8\pm 1,5$	$<0,043$	$<0,006$	$<0,33$	$<0,0009$
Среднее арифметическое										$<0,17$	$<0,020$	$<0,73$	$<0,013$

Из табл. 2 видно, что максимальные концентрации в почве характерны для радионуклидов ^{137}Cs (от 2,7 до 45 Бк/кг) и $^{239+240}\text{Pu}$ (от 0,7 до 210 Бк/кг), содержание ^{90}Sr – не превышает 3,4 Бк/кг, ^{241}Am – 2,3 Бк/кг. В ягодах удельная активность ^{241}Am , ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ (искл. т. 4), так же, как и естественных ^{232}Th и ^{226}Ra , оказалась ниже предела обнаружения, количественные значения установлены лишь для ^{90}Sr – от $<0,9$ до 3,5 Бк/кг, что, согласно ГН СЭТОРБ РК [7], не превышает допустимый уровень. Таким образом, в большинстве случаев КН рассчитаны оценочно и составляют для ^{241}Am – $<0,25$, ^{137}Cs – $<0,074$, $^{239+240}\text{Pu}$ – $<0,033$. Единичные количественные значения КН получены для $^{239+240}\text{Pu}$ (0,058) и для ^{90}Sr (0,18-3,2) и в большинстве случаев соответствуют значениям КН, полученным ранее [8], для условно «фоновых» территорий СИП.

Для оценки возможного негативного воздействия естественных и искусственных радионуклидов при их поступлении с ягодами выполнено определение эффективной дозы. Расчёт производился с использованием формул:

$$E_{mg} = \sum E_{mgi}, \quad (1)$$

$$E_{mgi} = A_{mi} \cdot q \cdot e_{dti}, \quad (2)$$

где A_{mi} – удельная активность i -го радионуклида в ягодах, Бк/кг; q – годовое потребление ягод, кг/год; e_{dti} – дозовый коэффициент для критической группы населения i -го радионуклида при поступлении его с пищей, Зв/Бк.

При расчёте дозы внутреннего облучения от потребления продуктов питания, собранных на загрязнённых участках леса, предполагалось, что население, в основном, потребляет лесные ягоды (шиповник, калину, смородину, боярышник). Значения содержания радионуклидов в

ягодах для ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{232}Th и ^{226}Ra находятся ниже МДА ($<0,3$; $<0,1$; $<1,6$; $<8,2$ Бк/кг соответственно), поэтому для консервативной оценки дозы принимаем значения удельной активности для $^{137}\text{Cs}=0,3$ Бк/кг, $^{241}\text{Am}=0,1$ Бк/кг, $^{232}\text{Th}=1,6$ Бк/кг, $^{226}\text{Ra}=8,2$ Бк/кг соответственно. Согласно минимальным нормам потребления РК годовое потребление ягод составляет 4,5 кг/год [9].

Исходные данные для расчётной оценки годовой эффективной дозы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные для расчётной оценки годовой эффективной дозы

Параметр	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$	^{241}Am	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra
Удельная активность в ягодах ($A_{\text{ми}}$), Бк/кг	0,3	3,5	0,9	0,1	570	1,6	8,2
Годовое потребление (q), кг/год	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Коэффициент кулинарной обработки (K)	1	1	1	1	1	1	1
Дозовый коэффициент ($e_{\text{дт}}$), Зв/Бк	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$

Ожидаемая годовая эффективная доза внутреннего облучения населения от искусственных радионуклидов при потреблении ягод составит $\sim 0,003$ мЗв/год, это менее 1% от основного предела дозы для населения 1 мЗв/год, от естественных радионуклидов $\sim 0,2$ мЗв/год. Таким образом, основной вклад в суммарную дозу внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов с ягодами на исследуемой территории вносит доза от естественных радионуклидов, что, в свою очередь, подтверждает утверждение, что основное облучение «средний землянин» получает именно от естественного радиационного фона [10].

Заключение

На основе проведённых исследований установлено, что для искусственных радионуклидов повышенные значения удельной активности в почве отмечаются для ^{137}Cs (от 2,7 до 45 Бк/кг) и $^{239+240}\text{Pu}$ (от 0,7 до 210 Бк/кг). Ожидаемо сравнительно высоким содержанием в почвах характеризуется ^{40}K (от 60 до 640 Бк/кг). В ягодах количественно зафиксированы ^{40}K (от 270 до 570 Бк/кг) и ^{90}Sr (до 3,5 Бк/кг), в единичном случае $^{239+240}\text{Pu}$ (0,9 Бк/кг). Коэффициенты накопления для ^{40}K составляют 0,48-1,2, что соответствует слабому накоплению по аккумуляции растениями химических элементов КН (1-10). Количественные значения КН искусственных радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ (0,058) и для ^{90}Sr (0,18-3,2) в большинстве случаев соответствуют значениям КН для условно «фоновых» территорий. В целом, ни одно из полученных значений удельной активности радионуклидов в ягодах на исследуемой территории не превышает допустимый уровень. Ожидаемая годовая эффективная доза внутреннего облучения населения при потреблении ягод составит менее 1% от основного предела дозы для населения, при этом основной вклад в суммарную дозу вносит доза от естественных радионуклидов.

Литература

1. **Краснов В.П.** Радиоэкология ягодных растений. Житомир: Волинь, 2004. 246 с.
2. **Переволоцкий А.Н., Переволоцкая Т.В.** Оценка накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr ягодами черники и земляники в различных типах условий местопроизрастания //Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2010. Вып. 70. С. 625-635.
3. **Переволоцкий А.Н., Переволоцкая Т.В.** Накопление радионуклидов лесными ягодами //Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязнённых территорий /Под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой и проф. С.В. Фесенко. М.: РАН, 2018. С. 157-160. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecoradmod.narod.ru/rus/publication2/monografija2018.pdf> (дата обращения 30.06.2020).
4. **Стрильчук Ю.Г., Осинцев В.С., Магашева Р.Ю.** Радиационная обстановка на территории сосновых боров Прииртышья //Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. Павлодар: Дом печати, 2013. Т. 2, вып. 4. С. 221-248.
5. Активность радионуклидов в счётных образцах. Методика измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine». Рег. № по реестру Государственной системы измерений KZ.07.00.03126-2015. Разработчик МВИ: ООО «Лаборатория спектрометрии и радиометрии», Россия.
6. Методика выполнения измерений «Определение удельной активности искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 в объектах окружающей среды: почвах, грунтах, донных отложениях и растениях». Алматы: Республиканское государственное предприятие «Институт ядерной физики», 2016. 10 с.
7. Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности. Гигиенические нормативы. Постановлением правительства Республики Казахстан. РК № 201 от 03.02.2012 г. [Электронный ресурс]. URL: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=31129210 (дата обращения 17.06.2020).
8. **Larionova N.V., Lukashenko S.N., Kabdyrakova A.M., Kunduzbayeva A.Y., Panitskiy A.V., Ivanova A.R.** Transfer of radionuclides to plants of natural ecosystems at the Semipalatinsk Test Site //J. Environ. Radioact. 2018. V. 186. P.163-170. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.09.006.
9. Минимальные нормы потребления основных продуктов питания для различных социальных групп населения Республики Казахстан. [Электронный ресурс]. URL: <https://old.enbek.gov.kz/ru/node/34436> (дата обращения 17.06.20).
10. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Вена: МАГАТЭ, 2015. Часть 3. 513 с.

Uptake and accumulation of radionuclides in berries plants and berries growing in the forest ecosystem in the area adjoining the Semipalatinsk nuclear test site

Shevchenko Yu.S., Larionova N.V., Toporova A.V., Aidarkhanov A.O.

Institute of Radiation Safety and Ecology, National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan

It is known, that berries plants, components of biosphere, accumulate radionuclides both natural, ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th and manmade, including ^{137}Cs and ^{90}Sr . The transport of these radionuclides in the biosphere was the result of the intensive use of nuclear energy since the 40s of the 20th century. The article presents findings of the research on levels and parameters of the radionuclides accumulation in berries plants and berries growing in the areas adjoining the Semipalatinsk nuclear test site, as well as in the zone of radioactive fallouts from the first Soviet nuclear test (29.08.1949). In all samples of berries specific activity of the radionuclides did not exceed the acceptable level. Annual committed effective dose of internal radiation to the public members consumed berries would be less than 1% of the acceptable level for the public, whereas natural radionuclides would be the greater contributors to the total radiation dose.

Key words: *Semipalatinsk Test Site (STS), natural radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th), artificial radionuclides (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$), berry bushes, transfer factors (Tf).*

References

1. **Krasnov V.P.** Radioekologiya yagodnykh rasteniy [Radioecology of berry plants]. Zhytomyr, Volyn, 2004. 246 p.
2. **Perevolotskiy A.N., Perevolotskaya T.V.** Assessment of accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr in blueberry and strawberry berries under different conditions of habitats. Issues in agroforestry and forestry: proceedings. Gomel, Institute of Forest of NAS of Belarus, 2010, issue 70, pp. 625-635. (In Russian).
3. **Perevolotskiy A.N., Perevolotskaya T.V.** Accumulating radionuclides by berries plants. Radioecological consequences of Chernobyl accident: biological effects, migration, rehabilitation of contaminated territory. Eds.: RAS Correspondent Member N.I. Sanzharova, Prof. S.V. Fesenko. Moscow, RAS, 2018, pp. 157-160. Available at: <http://ecoradmod.narod.ru/rus/publication2/monografija2018.pdf> (Accessed 30.06.2020). (In Russian).
4. **Strilchuk Yu.G., Ossintsev V.S., Magasheva R.Yu.** Radiatsionnaya obstanovka na territorii osnovnykh borov Priiryskaya Aktualnyye voprosy radioekologii Kazakhstana [Radiation situation at the territory of the main pine forests near Irtysh River. Actual problems in radioecology of Kazakhstan: proceedings of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan at 2011-2012]. Pavlodar, Dom Pechati, 2013, vol. 2, no. 4. pp. 221-248.
5. *The activity of radionuclides in counting samples.* Measurement procedure on gamma spectrometers using the SpectraLine software, registry number of the State Measurement System KZ.07.00.03126-2015. Developer MVI: LLC "Laboratory of spectrometry and radiometry", Russia. (In Russian).
6. Determination of the specific activity of artificial radionuclides of plutonium-(239+240), strontium-90 in environmental objects: soils, soils, bottom sediments and plants. Measurement procedure. Republican State Enterprise "Institute of Nuclear Physics". Almaty, 2016, 10 p. (In Russian).

Shevchenko Yu.S.* – Specialist; **Larionova N.V.** – Scientific Secretary, C. Sc., Biol.; **Toporova A.V.** – Engineer; **Aidarkhanov A.O.** – Branch Manager, C. Sc., Biol. IRSE NNC RK.

*Contacts: 2 Beybit-Atom Str., Kurchatov, Republic of Kazakhstan, 071100. Tel.: 8 (72251) 2-34-13; e-mail: irbe@nnc.kz.

7. *Sanitary and Epidemiological Requirements for Radiation Safety*. Health Standards RK. N 201. February 3, 2012. Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan. Available at: https://online.zakon.kz/document/?doc_id=31129210 (Accessed 17.06.2020). (In Russian).
8. **Larionova N.V., Lukashenko S.N., Kabdyrakova A.M., Kunduzbayeva A.Y., Panitskiy A.V., Ivanova A.R.** Transfer of radionuclides to plants of natural ecosystems at the Semipalatinsk Test Site. *J. Environ. Radioact.*, 2018, vol. 186, pp. 163-170. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.09.006.
9. Minimalnyie normyi potrebleniya osnovnyih produktov pitaniya dlya razlichnyih sotsialnyih grupp naseleniya Respubliki Kazakhstan [Minimum consumption standards for the basic foodstuffs for various social population groups of the Republic of Kazakhstan]. Available at: <https://old.enbek.gov.kz/ru/node/34436> (Accessed 17.06.2020).
10. Radiation protection and radiation safety of radiation sources: International basic safety standards. Vienna, IAEA, 2015. Part 3, p. 513. (In Russian).