

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2021-3-15-20>

УДК 581.5:539.163:581.4:631.45

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКЦИИ МОРКОВИ И СВЕКЛЫ, ВЫРАЩИВАЕМОЙ В ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ РОССИИ В ОРЕОЛЕ ВОСТОЧНОГО ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО СЛЕДА

¹⁾ Парамонова Т.А., ¹⁾ Комиссарова О.Л., ²⁾ Кузьменкова Н.В., ³⁾ Турыкин Л.А., ¹⁾ Денисова О.Е.

¹⁾ Факультет почвоведения, ²⁾ Химический факультет и ³⁾ Географический факультет
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail для контактов: tparamonova@soil.msu.ru

На территории Плавского радиоактивного пятна Тульской области России, образовавшегося вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, в 2019 г. проводили оценку радиационной безопасности выращивания корнеплодов моркови и свеклы. Установлено, что содержание ^{137}Cs в пахотных выщелоченных черноземах в 2,5–4,5 раза превышает допустимый уровень плотности поверхностного радиоактивного загрязнения почв. Однако средние величины удельной активности радионуклида в овощах не превышают 5 Бк/кг, что существенно меньше допустимого санитарно-гигиеническими нормами уровня накопления ^{137}Cs в овощах, а индивидуальная годовая эффективная доза при их поедании составляет менее 0,01% от допустимой для населения величины облучения от техногенных источников. Коэффициенты накопления ^{137}Cs в общей биомассе моркови и свеклы составляют $2,0 \cdot 10^{-2}$ и $7,5 \cdot 10^{-2}$, а в поедаемых корнеплодах – $1,1$ – $2,0 \cdot 10^{-2}$, что хорошо согласуется с оценкой МАГАТЭ по интенсивности перехода ^{137}Cs в продукцию овощных корнеплодов из почв суглинистого и глинистого состава.

Ключевые слова: Цезий-137 (^{137}Cs), радиоактивное загрязнение, чернобыльская авария, продовольственная безопасность.

ВВЕДЕНИЕ

Овощи составляют важную часть рациона питания человека и рекомендуются диетологами и нутрициологами к регулярному потреблению для предотвращения таких болезней цивилизации, как ожирение, диабет 2-го типа, гипертония и т.д. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (2012), ежедневное потребление овощей и фруктов должно составлять от 400 до 800 г [1]. При этом санитарно-гигиенические требования к качеству овощной продукции зачастую более строгие, чем в отношении пищевой продукции, которая получается при переработке других продуктов растениеводства, поскольку потребление овощей зачастую происходит после минимальной предварительной и кулинарной обработки, а также в сыром виде.

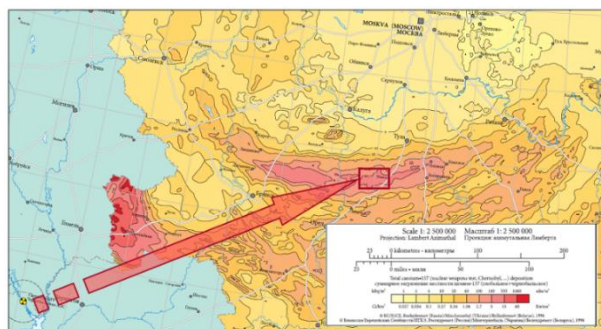
В списке приоритетных загрязняющих веществ, содержание которых в овощах и фруктах необходимо контролировать, находятся и радиоактивные элементы, в частности, ^{137}Cs , который является основным дозообразующим техногенным радионуклидом, получившим глобальное рассеяние в биосфере вследствие испытаний ядерного оружия в атмосфере в 60-х гг. XX столетия, а также в результате крупных аварий на объектах ядерной энергетики. В частности, после чернобыльской аварии 1986 г. на Европейской территории России $\approx 2,9$ млн га земель сельскохозяйственного назначения было загрязнено радиоцезием на уровне более 37 кБк/м², причем более 1 млн га из них – на уровне свыше 185 кБк/м², что в 5 и более раз превышало нормативную предельно допустимую плотность поверхностного радиоактивного загрязнения почв [2]. Реабилитация пострадавших сельскохозяйственных угодий потребовала применения организа-

ционно-технических контрмер, одной из наиболее действенных среди которых оказалось использование «безопасных» культур-дискриминаторов с низкой интенсивностью корневого потребления ^{137}Cs из почвы [3, 4]. Подбор подобных культур для выращивания на радиоактивно загрязненных пахотных почвах может снизить интенсивность перехода ^{137}Cs в биомассу растений, по разным оценкам, от 12–61% [5] до 5–50 раз [3, 6] в зависимости от филогенетических особенностей культур.

При выращивании на пост-чернобыльских землях овощных корнеплодов достаточно не просто прогнозировать величины удельной активности ^{137}Cs в продукции растениеводства. Хотя в руководстве МАГАТЭ по параметрам перехода радионуклидов в сельскохозяйственные культуры областей умеренного климата коэффициенты накопления (KH) радиоцезия для объединенной группы корнеплодов оценены на основе ≈ 80 опробований, но они широко колеблются в зависимости от типа почв и вида культуры (от $1 \cdot 10^{-3}$ до $8,8 \cdot 10^{-1}$), и даже для сходных по условиям биологической доступности радионуклида глинистых минеральных почвах варьируют в пределах математического порядка (от $5,0 \cdot 10^{-3}$ до $6,0 \cdot 10^{-2}$) [7]. Вместе с тем, указано, что они являются достаточно активными потребителями ^{137}Cs в ряду понижающихся величин KH : листовые овощи > клубневые > корнеплоды > зернобобовые > кукуруза > злаковые > многолетние пастбищные травы > нелиственные овощи. Это актуализирует проблему установления фактических значений KH ^{137}Cs в продукции как отдельных культур овощных корнеплодов, так и для данной производственной группы растений в целом.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка интенсивности перехода ^{137}Cs из почв в овощные корнеплоды (морковь и свеклу) производилась в 2019 году в ореоле Плавского радиоактивного пятна – одного из наиболее выраженных районов «восточного следа» чернобыльских выпадений в пределах черноземной зоны (Плавский район Тульской области). В 1986 году плотность поверхностного радиоактивного загрязнения почв данной территории варьировала в пределах 185–555 кБк/м² (рисунок 1), что в 5–15 раз превышало допустимый уровень загрязнения наземных экосистем (=37 кБк/м²) [8]. После проведения глубокой реабилитационной вспашки почв пахотных угодий Плавского радиоактивного пятна в 1986–1987 гг. ^{137}Cs повсеместно проник в профиль до глубины 30 см и сравнительно однородно распределился в пределах данной толщи [9]. В настоящее время запасы ^{137}Cs в пахотном/старопахотном горизонте черноземов обследованных сельскохозяйственных угодий Плавского радиоактивного пятна составляют 130–220 кБк/м² [9], что в 3,5–6,0 раз превышает норму радиационной безопасности.



а)



б)

Рисунок 1. Местоположение объектов исследования на картосхеме радиоактивного загрязнения почв Европейской территории России после чернобыльской аварии в 1986 г. [10] (а) и опорных площадок в агроценозах корнеплодов на территории Плавского радиоактивного пятна в 2019 г. на космоснимке Yandex (б)

Производство моркови (*Daucus carota* L., сорт «Норвегия») и свеклы (*Beta vulgaris* L., сорт «Водан») отбирали на опорных площадках, приуроченных к центральной части Плавского радиоактивного пятна

и расположенных на расстоянии ≈ 1 км друг от друга, на площади 250 см² в 3-кратной повторности. Для снижения вероятности пространственной автокорреляции точки отбора размещались в виде треугольника со стороной около 15 м на площади 25×25 м. Помимо непосредственно употребляемых в пищу корнеплодов производился также отбор несъедобных частей культур: листьев и стеблей, боковых корней размерами ≥ 1 мм и тонких корней размерами < 1 мм. Общая масса проб овощных культур составляла 10–15 кг для обеспечения достаточности массы счетных образцов для всех фракций биомассы.

В непосредственной близости от точек укоса надземной биомассы и отбора проб подземной биомассы растений происходил отбор проб пахотных почв с фиксацией объема образца цилиндрическим металлическим пробоотборником диаметром 8 см до глубины 30 см.

После тщательной отмывки надземных и – особенно – подземных частей биомассы моркови и свеклы от мелкозема почвы их подвергали традиционной пробоподготовке к гамма-спектрометрическим анализам (сушка при температуре 75–80 °С, измельчение). Пробы почв высушивали при комнатной температуре, измельчали и просеивали через сито с диаметром ячейки 1 мм.

Величины удельной активности ^{137}Cs в сухой массе растительности и почве определяли в геометрии пробы «дента» на полупроводниковом γ -спектрометре GR 3818 с высокочистым (HPGe) детектором фирмы «Canberra» (США). Аналитическая ошибка измерений не превышала 2%.

Оценку средней индивидуальной годовой эффективной дозы для взрослого человека при поедании корнеплодов моркови и свеклы, выращенных на территории Плавского радиоактивного пятна, проводили, исходя из аналитически определенных средних значений удельной активности ^{137}Cs в корнеплодах, ориентировочных норм потребления овощей и переводного дозового коэффициента, по формуле:

$$D_{\text{eff}} = A^{\text{Cs-137}} \times I \times D_{\text{cf}} \times 10^{-3} \quad (1),$$

где D_{eff} – индивидуальная годовая эффективная доза (мЗв/год); $A^{\text{Cs-137}}$ – средняя удельная активность ^{137}Cs в сырой массе корнеплодов (поскольку потребление овощей происходит в этой форме или после незначительной кулинарной обработки, а также именно для нее производятся оценки годового потребления); I – рекомендованная Роспотребнадзором норма рационального потребления населением моркови или свеклы или статистические данные ВОЗ по соответствующему потреблению корнеплодов в Европе (кг/год); D_{cf} – переводной дозовый коэффициент для ^{137}Cs , равный $1,3 \cdot 10^{-8}$ Зв/Бк, который рекомендован Международной комиссией по радиологической защите (ICRP). Домножение итогового произведения величин на 10^{-3} необходимо для перевода значения эффективной дозы, измеренной в Зв, в размерность

мЗв, которая используется для нормирования допустимых уровней воздействия ионизирующего излучения на население.

Значения KH ^{137}Cs в общей биомассе моркови и свеклы и в их корнеплодах рассчитывали по формуле:

$$KH = A^{\text{Cs-137}} \text{ в растениях} / A^{\text{Cs-137}} \text{ в почве} \quad (2),$$

где $A^{\text{Cs-137}}$ – средние значения удельной активности ^{137}Cs в сухой массе растений и почвы (Бк/кг), соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка текущих значений плотности поверхностного радиоактивного загрязнения пахотных почв Плавского радиоактивного пятна в агроценозах корнеплодов показала, что среднее содержание в них ^{137}Cs в 2,5–4,5 раза превышает нормативно допустимый уровень 37 кБк/м² (таблица 1).

Таблица 1. Средние величины удельной активности ^{137}Cs и плотность поверхностного радиоактивного загрязнения в пахотных почвах в агроценозах моркови и свеклы на территории Плавского радиоактивного пятна

Агроценоз	Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг	Плотность поверхностного загрязнения ^{137}Cs , кБк/м ²
морковь	420 ± 31	168 ± 22
свекла	244 ± 32	92 ± 11

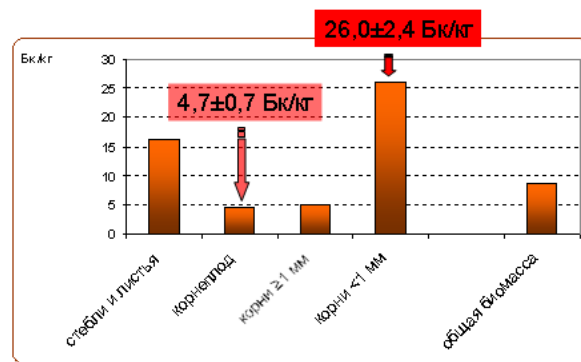
При этом, несмотря на долговременно сохраняющееся радиоактивное загрязнение пахотных почв района конденсационных чернобыльских выпадений ^{137}Cs , интенсивность его перехода в поедаемую часть моркови и свеклы относительно невысока (рисунок 2). Средние величины удельной активности радионуклида в корнеплодах не превышают 5 Бк/кг (а с учетом доверительного интервала варьирования показателя не превышают 5,4 Бк/кг для корнеплодов моркови и 6,4 Бк/кг для корнеплодов свеклы), что существенно меньше предельно допустимых санитарно-гигиеническими нормами уровней накопления ^{137}Cs в овощах, согласно требованиям российских (120 и 600 Бк/кг для сырой и сухой биомассы соответственно) [11], европейских и мировых требований ФАО/ЮНЕСКО (1 000 Бк/кг) [12–13].

Вместе с тем, в других органах корнеплодов фиксируются существенно более высокие значения величин удельной активности ^{137}Cs , убывающие в следующем ряду последовательностей:

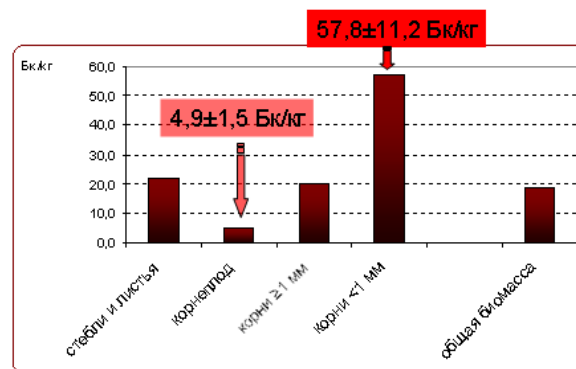
- Морковь – тонкие боковые корни (<1 мм) >> стебли и листья > боковые корни (≥1 мм) ≈ корнеплод;
- Свекла – тонкие боковые корни (<1 мм) >> стебли и листья ≈ боковые корни (≥1 мм) > корнеплод.

Таким образом, тонкие сосущие корни корнеплодов могут рассматриваться как биологический барьер на пути перехода ^{137}Cs в биомассу овощей, а величины удельной активности радионуклида в них в ≈3–5 раз больше, чем в более крупных боковых корнях,

и в ≈5–11 раз больше, чем в корнеплодах. Перенос инкорпорированного в корневую массу ^{137}Cs по сосудам ксилемы в зеленые надземные части моркови и свеклы выражен также достаточно интенсивно, в этой связи листья и стебли культур являются той фракцией фитомассы, которая сосредотачивает 49% (свекла) – 82% (морковь) запасов радионуклида, перешедшего из почвы в растения.



а)



б)

Рисунок 2. Величины удельной активности ^{137}Cs во фракциях абсолютно сухой биомассы моркови (а) и свеклы (б), Бк/кг

В целом, корневое потребление ^{137}Cs свеклой несколько более выражено, чем для моркови, хотя и в том, и в другом случае культуры относятся к видам-дискриминаторам (таблица 2). Значения KH ^{137}Cs , которые рассчитываются как соотношение величин удельной активности элемента в растительности и в почве, в общей биомассе свеклы в ≈4, а в корнеплоде в ≈2 раза больше, чем соответствующие оценки KH для моркови.

Полученные значения KH для исследованных культур хорошо согласуются с обобщенной оценкой МАГАТЭ по интенсивности перехода ^{137}Cs в продукцию овощных корнеплодов из почв суглинистого и глинистого состава (в среднем $2,4-3,0 \cdot 10^{-2}$) [7], однако выше, чем величина KH для корнеплодов моркови, отобранных в окрестностях Семипалатинского испытательного полигона на участке «Опытное поле», которая была оценена как $6,7 \cdot 10^{-3}$ [14].

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКЦИИ МОРКОВИ И СВЕКЛЫ, ВЫРАЩИВАЕМОЙ В ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ РОССИИ В ОРЕОЛЕ ВОСТОЧНОГО ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО СЛЕДА

Таблица 2. Средние величины коэффициентов накопления ^{137}Cs в продукции моркови и свеклы, выращиваемых на территории Плавского радиоактивного пятна

Культура	Фракция фитомассы	Настоящее исследование	IAEA (2010), глинистые почвы [7]
морковь	общая фитомасса	$2,0 \cdot 10^{-2}$	—
	корнеплод	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-2}$
свекла	общая фитомасса	$7,5 \cdot 10^{-2}$	—
	корнеплод	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 10^{-2}$

Тем не менее, оценивая годовую эффективную дозу облучения для взрослого человека, которая может обуславливаться поеданием ^{137}Cs -содержащей продукции моркови и свеклы, выращенных на территории Плавского радиоактивного пятна (таблица 3), можно констатировать, что, основываясь на нормах потребления корнеплодов в Европе [15], она составляет менее 0,01% от общей допустимой для населения величины облучения от техногенных источников в 1 мЗв в год [16]. Согласно рекомендациям национальной службы Роспотребнадзора, доля моркови и, особенно, свеклы в годовом рационе взрослого человека должна быть в разы выше [17]. Но и при этом индивидуальная эффективная годовая доза облучения, создаваемая ^{137}Cs при поедании этих овощей, будет составлять не более 0,1% от допустимого уровня облучения человека от техногенных источников.

Таблица 3. Оценка индивидуальной годовой эффективной дозы облучения (D_{eff}) для взрослого человека при поедании моркови и свеклы, выращенных на территории Плавского радиоактивного пятна, мЗв/год/чел

Культура	Норма потребления ВОЗ, кг/год/чел	D_{eff}	Российские рекомендации по потреблению, кг/год/чел	D_{eff}
морковь	8,0	$4,9 \cdot 10^{-4}$	17	$1,0 \cdot 10^{-3}$
свекла	0,7	$4,4 \cdot 10^{-5}$	18	$1,1 \cdot 10^{-3}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В начале второго периода полураспада ^{137}Cs после чернобыльской аварии плотность поверхностного радиоактивного загрязнения пахотных черноземов Плавского радиоактивного пятна в исследованных агроценозах корнеплодов в 2,5–4,5 раза превышает нормативно допустимый уровень. При этом процессы корневого потребления радионуклида корнеплодами моркови и свеклы существенно дискриминированы, что определяет низкие значения коэффициентов накопления ^{137}Cs в общей биомассе культур, а также незначительные величины удельной активности ^{137}Cs в поедаемых частях, которые полностью удовлетворяют требованиям радиационной безопасности человека по критериям предельно допустимого уровня накопления (в Бк/кг) и индивидуальной годовой эффективной дозы (в мЗв/год/чел). Таким образом, выращивание корнеплодов свеклы и моркови на территории Плавского радиоактивного пятна воз-

можно без нарушения требований радиационно-гигиенической безопасности сельскохозяйственной продукции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90119.

ЛИТЕРАТУРА

- Disaster risk management for health: radiation emergencies. [Электронный ресурс] / WHO (World Health Organization). – Geneva, 2011. http://www.who.int/hac/events/drm_fact_sheet_radiation_emergencies.pdf (дата обращения 29.09.2021).
- Алексахин, Р. М. Сельскохозяйственная радиоэкология: монография / Р. М. Алексахин, А. В. Васильев, В. Г. Корнеев [и др.]; под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. – М.: Экология, 1991. – 400 с.
- Технологические приёмы, обеспечивающие повышение устойчивости агроценозов, восстановление нарушенных земель, оптимизацию ведения земледелия и получение соответствующей нормативам сельскохозяйственной продукции товаропроизводителями различной специализации: монография / под ред. Н. И. Санжаровой, А. Н. Ратникова, С. И. Спиридонова [и др.]. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2010. – 180 с. – ISBN 978-5-903386-18-5.
- Howard, B.J The strategy project: Decision tools to aid sustainable restoration and long-term management of contaminated agricultural ecosystems / B.J. Howard, N.A. Beresford, A. Nisbet [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – Vol. 83. – P. 275–295.
- Bruck, G. Ya Dynamics of ^{137}Cs content in agricultural food products produced in regions of Russia contaminated after the Chernobyl accident / G. Ya. Bruck, V.N. Shutov, M.I. Balonov [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 1998. – Vol. 76. – P. 169–178.
- White, P.J. Selecting plants to minimise radiocaesium in the food chain / P.J. White, K. Swarup, A.J. Escobar-Gutiérrez [et al.] // Plant and Soil. – 2003. – Vol. 249. – P. 177–186.
- Handbook Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments: Technical Reports Series No. 472 [Электронный ресурс] / IAEA (International Atomic Energy Agency), IAEA-TECDOC-472. Vienna, Austria, 2010. – 194 p. <https://www.iaea.org/publications/8201/handbook-of-parameter-values-for-the-prediction-of-radionuclide-transfer-in-terrestrial-and-freshwater-environments> (дата обращения 25.10.2021).
- Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Утв. Минвом природных ресурсов РФ 30 ноября 1992 г.
- Парамонова, Т. А. След Чернобыля в агроландшафтах Черноземья: независимая оценка 30 лет спустя / Т. А. Парамонова, О. Л. Комиссарова, Л. А. Турыкин [и др.] // Природа. – 2019. – № 7 (1247). – С. 40–51.
- Атлас радиоактивного загрязнения европейской части России, Белоруссии и Украины / под ред. Ю. А. Израэля. М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, Роскартография, 1998. – 143 с.
- Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы Гигиенические требования безопасности и пищевой

- ценности пищевых продуктов: СанПиН 2.3.2.1078-01: утв. Гл. госуд. сан. врачом РФ 6.11.2001: введ. в действие с 01.06.2002. – М., 2001. <https://docs.cntd.ru/document/901806306/titles/LSES2M> (дата обращения 25.10.2021).
12. Official Journal of the European Union [Электронный ресурс] / C 188E, 28 June 2012. – Vol. 55. – ISSN 1977-091X. – 188 p. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:C:2012:188E:TOC> (дата обращения 25.10.2021).
13. General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed. CXS 193-1995 [Электронный ресурс] / Codex Alimentarius Commission: International food Standards. – 2006. – 66 p. http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https://workspace.fao.org/sites/codex/Standards/CXS+193-1995/CXS_193e.pdf (дата обращения 25.10.2021).
14. Kozhakhanov, T.E. Accumulation of artificial radionuclides in agricultural plants in the area used for surface nuclear tests/ T.E. Kozhakhanov., S.N. Lukashenko, N.V. Larionova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – Vol. 137. – P. 217–226.
15. Gems/food regional diets: regional per capita consumption of raw and semi-processed agricultural commodities [Электронный ресурс] / WHO (World Health Organization); prepared by the Global Environment Monitoring System/Food Contamination Monitoring and Assessment Programme (GEMS/Food). – Geneva, 2003. https://www.who.int/foodsafety/chem/gems_regional_diet.pdf (дата обращения 15.10.2021).
16. Harrison, J.D. Use of Dose Quantities in Radiological Protection. [Электронный ресурс] / J.D. Harrison, M. Balonov, F. Bochud// International Commission on Radiological Protection. – 2021. – ICRP Publication 147, Ann. ICRP 50. <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20147> (дата обращения 21.10.2021).
17. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: Приказ Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614. <https://docs.cntd.ru/document/420374878> (дата обращения 15.10.2021).
- REFERENCES**
1. Disaster risk management for health: radiation emergencies. [Elektronnyy resurs] / WHO (World Health Organization). – Geneva, 2011. http://www.who.int/hac/events/drm_fact_sheet_radiation_emergencies.pdf (дата обращения 29.09.2021).
2. Aleksakhin, R. M. Sel'skokhozyaystvennaya radioekologiya: monografiya / R. M. Aleksakhin, A. V. Vasil'ev, V. G. Korneev [i dr.]; pod red. R.M. Aleksakhina, N.A. Korneeva. - M.: Ekologiya, 1991. – 400 p.
3. Tekhnologicheskie priemy, obespechivayushchie povyshenie ustoychivosti agrotsenozov, vosstanovlenie narushennykh zemel', optimizatsiyu vedeniya zemledeliya i poluchenie sootvetstvuyushchey normativam sel'skokhozyaystvennoy produktsii tovaroproizvoditelyami razlichnoy spetsializatsii: monografiya / pod red. N.I. Sanzharovoy, A.N. Ratnikova, S.I. Spiridonova [i dr.]. – Obninsk: VNIISKhRAE, 2010. – 180 p. – ISBN 978-5-903386-18-5.
4. Howard, B.J The strategy project: Decision tools to aid sustainable restoration and long-term management of contaminated agricultural ecosystems / B.J. Howard, N.A. Beresford, A. Nisbet [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – Vol. 83. – P. 275–295.
5. Bruk, G. Ya Dynamics of ¹³⁷Cs content in agricultural food products produced in regions of Russia contaminated after the Chernobyl accident / G. Ya. Bruk, V.N. Shutov, M.I. Balonov [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 1998. – Vol. 76. – P. 169–178.
6. White, P.J. Selecting plants to minimise radiocaesium in the food chain / P.J. White, K. Swarup, A.J. Escobar-Gutiérrez [et al.] // Plant and Soil. – 2003. – Vol. 249. – P. 177–186.
7. Handbook Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments: Technical Reports Series No. 472 [Elektronnyy resurs] / IAEA (International Atomic Energy Agency), IAEA-TECDOC-472. Vienna, Austria, 2010. – 194 p. <https://www.iaea.org/publications/8201/handbook-of-parameter-values-for-the-prediction-of-radionuclide-transfer-in-terrestrial-and-freshwater-environments> (дата обращения 25.10.2021).
8. Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya. Utv. Min-vom prirodnikh resursov RF 30 noyabrya 1992 g.
9. Paramonova, T.A. Sled Chernobylya v agrolandshaftakh Chernozem'ya: nezavisimaya otsenka 30 let spustya / T.A. Paramonova, O.L. Komissarova, L.A. Turykin [i dr.] // Priroda. – 2019. – No. 7 (1247). – P. 40–51.
10. Atlas radioaktivnogo zagryazneniya evropeyskoy chasti Rossii, Belorussii i Ukrainy / pod red. Yu.A. Izraeliya. Moscow: IGKE Rosgidrometa i RAN, Roskartografiya, 1998. – 143 p.
11. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy) "Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov: SanPiN 2.3.2.1078-01: utv. Gl. gosud. san. vrachom RF 6.11.2001: vvod v deystvie s 01.06.2002. – Moscow, 2001. <https://docs.cntd.ru/document/901806306/titles/LSES2M> (дата обращения 25.10.2021).
12. Official Journal of the European Union [Elektronnyy resurs] / C 188E, 28 June 2012. – Vol. 55. – ISSN 1977-091X. – 188 p. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:C:2012:188E:TOC> (дата обращения 25.10.2021).
13. General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed. CXS 193-1995 [Elektronnyy resurs] / Codex Alimentarius Commission: International food Standards. – 2006. – 66 p. http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https://workspace.fao.org/sites/codex/Standards/CXS+193-1995/CXS_193e.pdf (дата обращения 25.10.2021).
14. Kozhakhanov, T.E. Accumulation of artificial radionuclides in agricultural plants in the area used for surface nuclear tests/ T.E. Kozhakhanov., S.N. Lukashenko, N.V. Larionova // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – Vol. 137. – P. 217–226.
15. Gems/food regional diets: regional per capita consumption of raw and semi-processed agricultural commodities [Elektronnyy resurs] / WHO (World Health Organization); prepared by the Global Environment Monitoring System/Food Contamination Monitoring and Assessment

- Programme (GEMS/Food). – Geneva, 2003.
https://www.who.int/foodsafety/chem/gems_regional_diet.pdf (data obrashcheniya 15.10.2021).
16. Harrison, J.D. Use of Dose Quantities in Radiological Protection. [Elektronnyy resurs]/ J.D. Harrison, M. Balonov, F. Bochud// International Commission on Radiological Protection. – 2021. – ICRP Publication 147, Ann. ICRP 50.
<https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20147> (data obrashcheniya 21.10.2021).
17. Rekomendatsii po ratsional'nyim normam potrebleniya pishchevykh produktov, otvchayushchikh sovremennym trebovaniyam zdorovogo pitaniya: Prikaz Ministerstva zdavookhraneniya RF ot 19 avgusta 2016 g. No. 614.
<https://docs.cntd.ru/document/420374878> (data obrashcheniya 15.10.2021).

ШЫҒЫС ЧЕРНОБЫЛЫ ІЗІНДЕГІ РЕСЕЙДІҢ ҚАРА ЖЕР АЙМАҚЫНДА ӨСІРІЛГЕН СӘБІЗ ЖӘНЕ ҚЫЗЫЛША ӨНІМДЕРІНІҢ РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІН БАҒАЛАУ

¹⁾ Т.А. Парамонова, ¹⁾ О.Л. Комиссарова, ²⁾ Н.В. Кузьменкова, ³⁾ Л.А. Турыкин, ¹⁾ О.Е. Денисова

¹⁾ *Топырақтану факультеті, ²⁾ Химия факультеті және, ³⁾ География факультеті
Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Мәскеу, Ресей*

1986 жылы Чернобыль атом электр станциясындағы апат нәтижесінде пайда болған Ресейдің Тула облысының Плавское радиоактивті ошағы аумағында 2019 жылы өсетін сәбіз мен қызылшаның радиациялық қауіпсіздігі бағаланды. Қазіргі уақытта зерттелетін жерлердің егістік сілтісізденген қара топырақтарында ¹³⁷Cs мөлшері 90–170 кБк/м² құрайтыны анықталды, бұл топырақтың беткі радиоактивті ластануының рұқсат етілген тығыздық деңгейінен 2,5–4,5 есе жоғары. Дегенмен, сәбіз және қызылша дақылдарындағы радионуклидтің үлестік белсенділігі 5 Бк/кг аспайды, бұл көкөністерде ¹³⁷Cs жинақталуының ең жоғары рұқсат етілген деңгейінен айтарлықтай төмен (абсолютті құрғақ салмақ үшін 600 Бк/кг). Сәбіз мен қызылшаның жалпы биомассасында ¹³⁷Cs жинақталу коэффициенттері $2,0 \cdot 10^{-2}$ және $7,5 \cdot 10^{-2}$, ал жеген тамыржемістілерде – $1,1 \cdot 10^{-2}$ және $2,0 \cdot 10^{-2}$, бұл сәйкесінше жақсы. сазды және сазды топырақтан өсімдік тамырларын өндіруде ¹³⁷Cs өту қарқындылығы үшін МАГАТЭ бағалауымен келісім.

Түйін сөздер: цезий-137 (¹³⁷Cs), радиоактивті ластану, чернобыль апаты, азық-түлік қауіпсіздігі.

RADIATION SAFETY ASSESSMENT OF CARROT AND BEET PRODUCTS CULTIVATED IN THE BLACK EARTH ZONE OF RUSSIA IN THE OREOL OF THE EASTERN CHERNOBYL TRACE

¹⁾ T.A. Paramonova, ¹⁾ O.L. Komissarova, ²⁾ N.V. Kuzmenkova, ³⁾ L.A. Turykin, ¹⁾ O.E. Denisova

¹⁾ *Faculty of Soil Science, ²⁾ Faculty of Chemistry and ³⁾ Faculty of Geography
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

On the territory of the Plavsky radioactive hotspot of the Tula region of Russia, formed as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant in 1986, an assessment of the radiation safety of growing carrots and beets was carried out in 2019. It has been established that at present the content of ¹³⁷Cs in arable leached chernozems of the surveyed lands is 90–170 kBq/m², which is 2.5–4.5 times higher than the permissible level of density of surface radioactive contamination of soils. However, the specific activity of the radionuclide in carrot and beetroot crops does not exceed 5 Bq/kg, which is significantly less than the maximum permissible level of ¹³⁷Cs accumulation in vegetables (600 Bq/kg for absolutely dry weight). The accumulation coefficients of ¹³⁷Cs in the total biomass of carrots and beets are $2.0 \cdot 10^{-2}$ and $7.5 \cdot 10^{-2}$, and in eaten root crops – $1.1 \cdot 10^{-2}$ and $2.0 \cdot 10^{-2}$, respectively, which is in good agreement with the IAEA estimate for the intensity of the transition ¹³⁷Cs in the production of vegetable roots from loamy and clayey soils.

Keywords: Cesium-137 (¹³⁷Cs), radioactive contamination, Chernobyl accident, food safety.