

АГРОНОМИЯ AGRONOMY

Научная статья

УДК 634.75:632.15

doi: 10.34655/bgsha.2024.75.2.001

СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ В ВЕГЕТАТИВНЫХ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНАХ ЗЕМЛЯНИКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТА

**Евгений Александрович Мельченко¹, Сергей Борисович Криворотов²,
Александр Иванович Мельченко³, Виктория Александровна Погорелова⁴**

^{1,2,3,4}Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Иванович Мельченко
alexkuban59@mail.ru

Аннотация. Земляника обладает уникальными особенностями, которые учитывают сельхозпроизводители. Во-первых, она имеет большой спектр питательных веществ и витаминов, во-вторых, эта ягодная культура быстро окупается и, в-третьих, она одна из первых появляется на прилавках после зимнего периода. В процессе выращивания этого ягодного растения на поле все его органы имеют тесный контакт с почвой. В таком случае почва будет источником загрязнения земляники при ее техногенном загрязнении. В связи с тем, что земляника участвует в трофических цепях, где находится не только человек, но и животные, актуальность изучаемой проблемы приобретает первостепенное значение. Цель исследований – изучить накопление радиоактивного загрязнителя в вегетативных и генеративных органах земляники в зависимости от ее сортовых особенностей и определить коэффициенты перехода для составления прогноза накопления радионуклида в плодах. Представлены результаты многолетних исследований по динамике накопления техногенного загрязнителя в землянике разных сортов при расположении его в верхнем слое пахотного горизонта почвы. Установлено, что сортовые различия земляники могут оказать влияние на размеры накопления поллютанта как в вегетативных, так и генеративных ее органах. Сорт земляники «Флоренс» отличается более высоким накоплением изучаемого загрязнителя во всех частях растения, в сравнении с сортом «Альба». При расположении изучаемого загрязнителя в верхнем слое пахотного горизонта почвы наибольшее загрязнение установлено для плодов земляники, наименьшее – у побегов (усов). При определении содержания загрязнителя в органах ягодного растения по известной формуле проведен расчет коэффициентов перехода (Кп) поллютанта из почвы в растение. В конечном итоге по рассчитанным Кп в дальнейшем можно составить прогноз использования почвы с разным уровнем загрязнения при выращивании земляники.

Ключевые слова: земляника, техногенный загрязнитель, почва, миграция, накопление.

CONTENT OF ANTHROPOGENIC POLLUTANT IN VEGETATIVE AND GENERATIVE ORGANS OF WILD STRAWBERRY DEPENDING ON ITS VARIETY

Evgeny A. Melchenko¹, Sergey B. Krivorotov², Alexander I. Melchenko³, Victoria A. Pogorelova⁴

^{1,2,3,4}Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Corresponding author: Alexander I. Melchenko, alexkuban59@mail.ru

Abstract. Wild strawberry has unique features that are taken into account by agricultural producers. Firstly, it has a wide range of nutrients and vitamins, secondly, this berry crop pays off quickly and thirdly, this berry crop is the earliest that appears on the shelves after the winter period. During its grow in the field, all wild strawberry organs have close contact with the soil. In this case, the soil will be a source of contamination of wild strawberry, with soil's man-made pollution. Due to the fact, that wild strawberries are involved in trophic chains, where not only humans but also animals are presented, the relevance of the problem is of the paramount importance. The purpose of the research is to study the accumulation of a radioactive contaminant in the vegetative and generative organs of a wild strawberry, depending on its varietal characteristics, and to determine transition coefficients for predicting the accumulation of radionuclide in fruit. The results of long-term studies on the dynamics of accumulation of man-made pollutants in wild strawberries of different varieties when located in the upper layer of the arable soil horizon are presented. It was found that varietal differences in strawberries could affect the amount of pollutant accumulation in both vegetative and generative organs. The wild strawberry «Florence» variety is characterized by a higher accumulation level of the studied contaminant in all parts of a plant, in comparison with the «Alba» variety. When the studied pollutant is located in the upper layer of the arable soil horizon, the greatest pollution is found for strawberry fruit, the least - for shoots (runners). To determine the pollutant content in the organs of a berry plant, the coefficients of the transition (TC) of the pollutant from the soil to the plant were calculated according to a formula. In conclusion, according to the calculated TC, in the future it is possible to make a forecast of the use of soil with different levels of pollution in wild strawberry cultivation.

Keywords: wild strawberry, anthropogenic pollutant, soil, migration, accumulation.

Введение. Перспективы увеличения благосостояния человечества связаны с развитием энергетики. Однако, даже при нормальной работе существующих источников энергии в окружающую среду поступают различные по опасности для биоты загрязнители. К сожалению, возможны и аварийные ситуации. После аварии на Чернобыльской АЭС и Фукусиме 1 радиоактивному загрязнению подверглись не только города и поселки, но и сельскохозяйственные угодья [1-12].

Актуальность подобных исследований заключается в том, чтобы дать точные ответы на возникающие вопросы о дальнейшей перспективе использования радиоактивно загрязненных почв для садоводства. Следует заметить, что рабо-

ты в этом направлении выполнялись еще в прошлом веке, продолжают они и сейчас. Однако исследований по миграции и накоплению радиоактивных веществ в вегетативных и генеративных органах плодовых, ягодных и орехоплодных культур на Кубани выполнялось очень мало, что, конечно же, не дает возможности сделать итоговые рекомендации в этом направлении [13,14]. Известно, что исследования, выполненные в различных регионах нашей страны, не могут быть применены повсеместно, так как каждый регион имеет свои конкретные климатические и почвенные условия. Поэтому исследования в этом направлении были начаты в 1989 году на семечковых плодовых культурах. Затем они были продолжены

уже на землянике.

Цель исследования – изучить накопление радиоактивного загрязнителя в вегетативных и генеративных органах земляники в зависимости от ее сортовых особенностей и определить коэффициенты перехода для составления прогноза накопления радионуклида в плодах.

Условия и методы исследований. В целом, исследования по миграции ^{90}Sr в плодовые растения были начаты в 1989 г. на семечковых плодовых культурах. После окончания эксперимента на семечковых плодовых растениях основная часть загрязнителя находилась в верхнем пахотном слое почвы. На процессы вертикальной миграции радионуклида оказывала влияние почва – чернозем выщелоченный. Известно, что на тяжелых почвах вертикальная миграция загрязнителя происходит очень медленно, этому способствуют ее физико-химические свойства.

Для продолжения исследований нами была выбрана земляника, корневая система которой имеет полный и тесный контакт с радионуклидом, который практически весь находится в верхнем пахотном слое почвы. Полевые эксперименты по изучению миграции загрязнителя из почвы в ягодное растение выполнены в 2014-2021 гг. на территории ФНЦ ВНИИБЗР г. Краснодара. В опытах участвовали два сорта земляники – «Флоренс» и «Альба».

Для выполнения данной работы применяли методику Шульца В. и Уикера Ф.¹

Контроль содержания стронция-90 в почвах и растениях осуществлялся согласно принятым разработанным рекомендациям ГНМЦ ВНИИФТРИ Госстандарта России Центр метрологии ионизирующих излучений. При повышенном содержании стронция в пробе концентрирование пробы может быть закончено на стадии сушки или обугливания [15].

Для повышения однородности растений, участвующих в опыте, проводили апробацию маточных кустов на чистосорт-

ность, а также отбор по силе развития.

Опыты с внесением какого-либо загрязнителя, тем более радиоактивного, должны выполняться на малых по площади делянках, которые, тем не менее, должны соответствовать нормативным требованиям. Можно с успехом использовать делянки размером 10 м² и при очень тщательной обработке получить высокую точность опыта [16].

Схема опыта: 1 вариант – земляника сорт «Альба»; 2 вариант – земляника сорт «Флоренс». Расположение радионуклида (^{90}Sr) в обоих вариантах в верхнем слое пахотного горизонта почвы. Уровень загрязнения опытных участков составил 250 МБк/м². Площадь каждой делянки 10 м². Учетные растения земляники расположены в 2 ряда. На концах рядов 4 защитных растения земляники. Повторность 6-кратная. После отбора проб растения разделяли на органы и части, высушивали при температуре 105 °С, взвешивали и измельчали на мельницах МРП-1 или ЭМ-3А.

Исследования радиоактивного загрязнения выполнены на приборе УСК «Гамма Плюс» по методике измерения активности бета-излучающих радионуклидов в счетных образцах с применением программного обеспечения «Прогресс». УСК «Гамма Плюс» является базовым прибором для оснащения аккредитованных лабораторий радиационного контроля. Его применение позволяет обеспечить выполнение требований нормативных документов, регламентирующих содержание радионуклидов в продуктах питания и пищевом сырье, строительных материалах, воде, почвах, лесе и лесоматериалах и т.д. Методика разработана ГП ВНИИФТРИ и утверждена Госстандартом России 05.05.1996 г. Настоящая методика является основной в определении значений активности бета-излучающих радионуклидов в счетном образце и позволяет выполнить расчет погрешности каждого измерения.

¹ Шульц В. Радиоэкологические методы / В. Шульц, Ф. Уикер. М.: Мир, 1985. 312 с.

Исследования выполнены на почве чернозем выщелоченный малогумусный сверхмощный [17].

Агротехника возделывания ягодных растений – общепринятая для данного региона [18]. Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики [16].

Коэффициент перехода (K_p) рассчитывался как отношение удельной активности радионуклида в растении (Бк/кг) к плотности поверхностного загрязнения почвы ($\text{кБк}/\text{м}^2$).

Результаты исследований и их обсуждения. В основу выбора сортов земляники положены различные их биологические характеристики: срок созревания, количество образовавшихся усов, урожайность, площадь листовой пластинки, общая биомасса куста. Сорт «Альба» относится к раннеспелым. По данным опи-

сания сорта потенциал урожайности составляет около 1,2 кг с куста, но конкретно в нашем случае наибольшая урожайность составила 600 г ягод с одного растения. Формирует небольшое количество усов. В период плодоношения цветоносы лежали на земле. Ягоды у сорта «Альба» крупные. Сорт «Флоренс» относится к позднезрелым. Сорт имеет хорошую урожайность. В нашем случае наибольшая урожайность этого сорта составила 500 г ягод с одного растения. В первый год жизни образует большое количество усов, затем интенсивность их образования уменьшается. При сборе урожая цветоносы лежали на земле под действием тяжести плодов. Основная масса корневой системы земляники располагается в пахотном слое почвы. Содержание стронция-90 в листьях изучаемых сортов земляники приведено на рисунке 1.

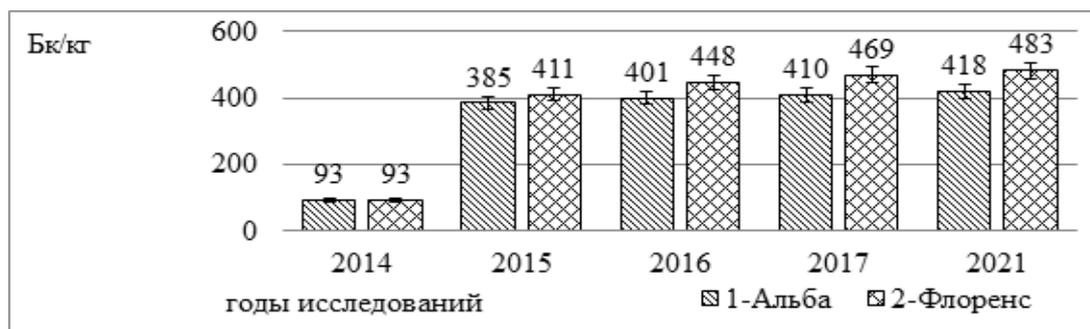


Рисунок 1. Динамика удельной активности ^{90}Sr в листьях земляники: 1 – сорт «Альба», 2 – сорт «Флоренс» (2014 – 2021)

В первый год исследований различий в накоплении радиоактивного загрязнителя не обнаружено. Однако уже в 2015 г. в листе сорта «Флоренс» содержание ^{90}Sr оказалось выше на 26 Бк/кг. В следующие годы исследований разница в накоплении радионуклида между изучаемыми сортами увеличилась. В 2016 г. она уже составила на 47 Бк/кг, в 2017 и 2021 годах, соответственно, на 59 и 65 Бк/кг. Большее накопление нуклида в листьях сорта «Флоренс» объясняется не только мощностью куста, но и большей продолжительностью периода вегетации в сравнении с сортом «Альба». В целом за период эксперимента происходит постепенное увеличение удельной активности ^{90}Sr в листьях зем-

ляники сорта «Альба» и сорта «Флоренс».

Изучение накопления радиоактивного загрязнителя в листе земляники имеет особенное значение. Листья этого растения могут участвовать в пищевой цепи животных, что может привести не только к загрязнению их организма, но и распространению радиоактивного вещества на различные расстояния с миграцией самих животных. Кроме того, после опадения лист продолжает загрязнение верхнего слоя почвы. Если во времени происходит постепенная миграция загрязнителя вертикально в глубь почвы, то листва несколько задерживает этот процесс. Поэтому, определение удельной активности ^{90}Sr в листе земляники позволит принять

правильные решения по ее утилизации.

В связи с тем, что усы могут быть посадочным материалом для восстановле-

ния или для создания новых плантаций, требуется знать содержание в них радионуклида (рис. 2).

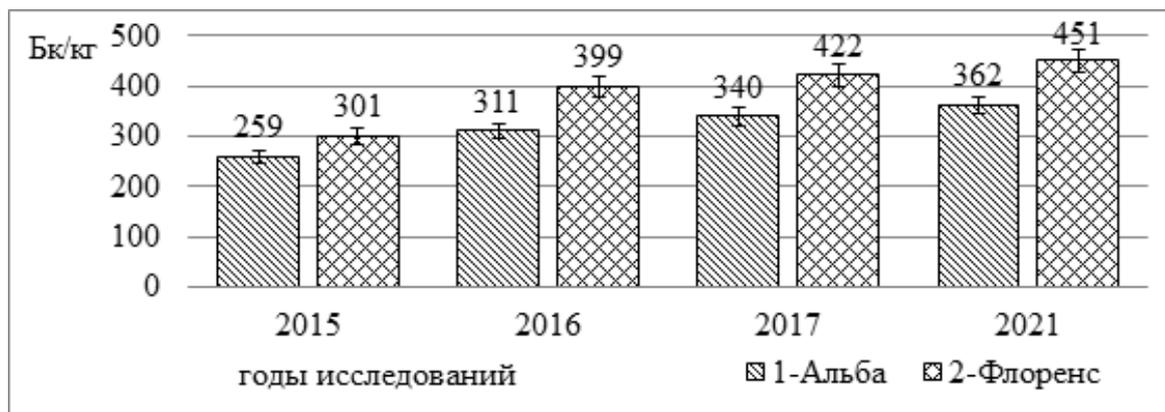


Рисунок 2. Динамика удельной активности ^{90}Sr в побегах (усах) земляники: (1 – сорт «Альба», 2 – сорт «Флоренс» (2015–2021)

Обнаружено различие в накоплении ^{90}Sr в усах земляники, в 2015 году оно составило на 42 Бк/кг. В дальнейшем при выполнении эксперимента различие увеличилось и уже в 2016, 2017 и 2021 гг. оно составило, соответственно, на 88, 82 и 89 Бк/кг. Определена тенденция к постепенному увеличению удельной активности изучаемого радионуклида в усах земляники. Для сорта «Альба» различие по годам исследований 2015-2021 гг. составило на 103 Бк/кг, а для сорта «Флоренс» – на 150 Бк/кг.

Одними из первых ягод, которые появляются на прилавках магазинов после зимнего периода, являются плоды земляники. Однако при загрязнении почвы в

плоды могут поступать различные химические и радиоактивные вещества, которые делают их непригодными к употреблению. В результате выполненного эксперимента было установлено, что в ягодах земляники сорта «Флоренс» содержание радионуклида было выше, чем в ягодах сорта «Альба» (рис. 3). Разница в накоплении по годам исследований 2015, 2016, 2017 и 2021, соответственно, составила на 25; 41; 58 и 62 Бк/кг. На процесс загрязнения ягод земляники оказывали влияние различные факторы – ягоды просто лежат на загрязненной почве, кроме того, возможно попадание радиоактивно загрязненной пыли почвы из-за ветра и т.д.

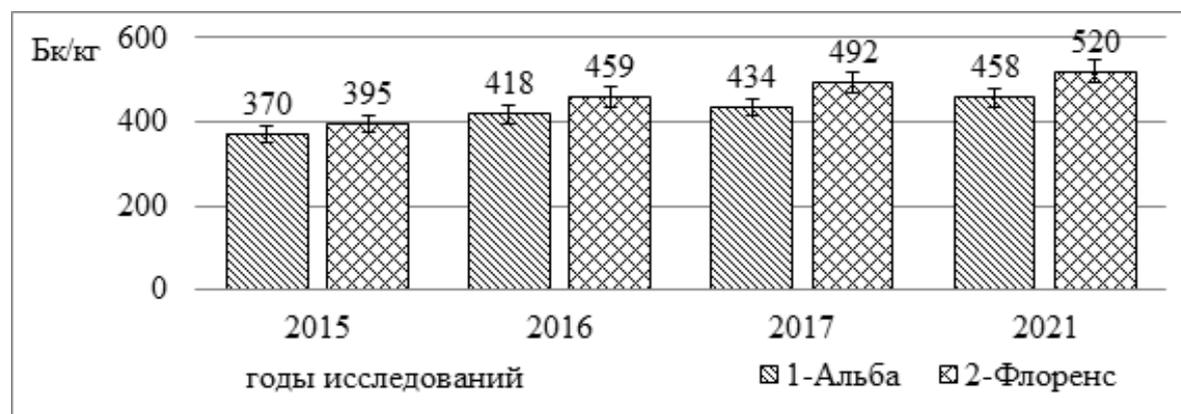


Рисунок 3. Динамика удельной активности ^{90}Sr в ягодах земляники: 1 – сорт «Альба», 2 – сорт «Флоренс» (2015 – 2021)

Также, анализируя данные полевого эксперимента, можно заметить, что в те-

чение всего периода исследований происходит постепенное увеличение накопле-

ния загрязнителя в плодах, особенно интенсивно этот процесс происходит в первые годы после посадки земляники. В дальнейшем этот процесс несколько замедляется.

После выполненных экспериментов появилась возможность определить наиболее загрязняемые изучаемые органы земляники радиоактивным нуклидом. Наибольшая удельная активность обнаружена в ягодах, меньше в побегах (уссах). Различия по накоплению этого поллютанта в ягодах и усах в 2015 г. составило для сорта Альба и Флоренс, соответственно, в 1,4 и 1,3 раза. За период исследований определено различие в накоплении изучаемого радионуклида в вегетативных и генеративных органах земляники, сорт «Альба». К 2021 году наибольшее содержание ^{90}Sr отмечено в ягодах и листьях, меньше – в побегах (уссах). Определено различие в накоплении радиоактивного загрязнителя по органам земляники сорт «Флоренс». В первый год вегетации земляники (2015) наименьшая удельная активность ^{90}Sr установлена для побегов (усов), наибольшая – для листьев и ягод. В 2021 г. накопление радионуклида в вегетативных и генеративных органах земляники продолжалось.

Сорт «Флоренс» отличается наибольшим накоплением техногенного загрязнителя в вегетативных и генеративных органах земляники, в сравнении с сортом «Альба».

Коэффициент перехода (Кп) поллютанта из почвы в плоды земляники в 2021 г. составил для сорта Альба и сорта Фло-

ренс, соответственно, $1,83 \times 10^{-6}$ и $2,08 \times 10^{-6}$ м²/кг.

Таким образом, при данной плотности загрязнения почвы земляника также будет загрязнена и, согласно Санитарным правилам и нормам СанПиН 2.3.2.560-96 «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов»², в пищу ее употреблять нельзя. Однако, зная рассчитанный нами Кп, можно составить предложения по ее использованию при других показателях плотности загрязнения почвы.

Заключение. Сортовые различия земляники оказывают влияние на размеры удельной активности ^{90}Sr в ее вегетативных и генеративных органах.

Сорт земляники «Флоренс» отличается более высоким накоплением ^{90}Sr во всех частях растения, в сравнении с сортом «Альба», что обусловлено мощностью куста и большей продолжительностью периода вегетации. Наибольшее загрязнение от изучаемого техногенного радионуклида установлено для плодов земляники, наименьшее – для побегов (усов).

Коэффициент перехода (Кп) поллютанта из почвы в плоды земляники в 2021 г. составил для сорта Альба и сорта Флоренс, соответственно, – $1,83 \times 10^{-6}$ и $2,08 \times 10^{-6}$ м²/кг.

Таким образом, получен уникальный материал, позволяющий составить прогноз выращивания земляники на радиоактивно загрязненной почве по рассчитанным коэффициентам перехода.

Список источников

1. Фесенко С.В., Прудников П.В., Емлютина Е.С., Епифанова И.Э., Шубина О.А. Динамика коэффициентов перехода ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию после аварии на ЧАЭС: зерно, картофель и овощи // Радиационная биология. Радиоэкология. 2023. Т. 63. № 2. С.172-185. EDN: EOQHXJ. doi: 10.31857/S0869803123020042
2. Ларионова Н.В., Кривицкий П.Е., Топорова А.В., Поливкина Е.Н., Айдарханов А.О. Накопление радионуклидов Cs-137 и Sr-90 растениями на участке радиоактивных выпадений на территории Семипалатинского испытательного полигона // Вестник НЯЦ РК. 2022. № 3. С. 26-30. doi:10.52676/1729-7885-2022-3-26-30.

² СанПиН 2.3.2.560-96 «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов». URL: <https://studylib.ru/doc/271921/sanitarnye-pravila-i-normy-sanpin-2.3.2.560-96?ysclid=lw5247w95843263212>

3. Фесенко С.В., Прудников П.В., Исамов Н.Н., Емлютина Е.С., Титов И.Е. Динамика снижения содержания ^{137}Cs в кормовых культурах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2022. Т. 62. № 2 С.185-195. EDN: OUTGIA. doi: 10.31857/S0869803122010040
4. Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Исамов Н.Н., Шубина О.А. Авария на Чернобыльской АЭС: защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61. № 3. С. 261-276. EDN: YZTHAW. doi: 10.31857/S086980312103005X
5. Бурякова А.А., Павлов Н.Н., Крышев И.И., Каткова М.Н. Динамика и современное состояние радиоэкологической обстановки на территориях аварийного Чернобыльского следа в Брянской области // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61. № 3. С. 277-285. EDN: PKZSBR. doi: 10.31857/S0869803121030048
6. Анисимов В.С., Кузнецов В.К., Санжаров А.И. Вертикальная миграция ^{137}Cs Чернобыльских выпадений в различных ландшафтах // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61. № 3. С. 286-300. EDN: LDSBXJ. doi: 10.31857/S0869803121030036
7. Андреева Н.В., Белова Н.В., Кузнецов В.К., Грунская В.П. Влияние различных видов органических удобрений на переход ^{137}Cs в урожай зерновых культур // Радиационная биология. Радиоэкология. 2020. Т. 60. № 1. С. 99-107. EDN: CPFINH. doi: 10.31857/S086980312001004X
8. Переволоцкая Т.В., Переволоцкий А.Н. Математическая модель распределения радионуклидов в системе «Надземная фитомасса растений –поверхность почвы» при хронических радиоактивных выпадениях в лесном биогеоценозе // Радиационная биология. Радиоэкология. 2020. Т. 60. № 2. С. 203-210. EDN: TFVCNY. doi: 10.31857/S0869803120020101
9. Уткин А.А. Оценка радиационной обстановки на реперных участках сельскохозяйственных угодий Владимирской области // Радиационная биология. Радиоэкология. 2022. Т. 62. № 6. С. 660-672. EDN: VFIGLL. doi: 10.31857/S0869803122060133
10. Omar-Nazir L., Xiaopei S., Moller A., Musso T., Ben S., Hancock S., Seymour K., Mothersill K. Long-term effects of ionizing radiation after the Chernobyl accident: possible contribution of historic dose // Environmental Research. 2018. V. 165. Pp. 55-62. doi:10.1016/j.envres.2018.04.005
11. Панов А.В., Прудников П.В., Титов И.Е., Кречетников В.В., Ратников А.Н., Шубина О.А. Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2019. Том 12. №1. С. 25-35. doi: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-25-35
12. Цветнова О.Б., Щеглов А.И., Бесаева С.Р. Особенности накопления и распределения ^{90}Sr в корневой системе сосны обыкновенной в отдаленный период после Чернобыльских выпадений // Радиационная биология. Радиоэкология. 2020. Т. 60. №1. С. 82-88. EDN: WQCSTI. doi: 10.31857/S0869803120010154
13. Gorodnichaya A., Glinyaynova I., Pogorelova V. Eco-phytomonitoring in ensuring radiological safety of urban building // E3S Web of Conferences 138.01022 (2019) https://doi.org/10.105/e3s_conf/201913801022.
14. Погорелова В.А., Ципинова Б.С., Мельченко Е.А., Ашинов Ю.Н. Накопление ^{90}Sr в растительном опаде плодового ценоза // Новые технологии. 2022. №18 (4). С. 201 – 209. EDN: TFKCIM. doi: 10.47370/2072-0920-2022-18-4-201-209.
15. Сцинтилляционный бета-спектрометр с программным обеспечением «Прогресс». Методика измерения активности радионуклидов. ФГУП ВНИИФТРИ. М.: Свидетельство № 40152.4Д362/ 01.00294 от 30 мая 2014 г. 41 с.
16. Жуланова В.Н., Канзываа С.О., Тулуш В.П., Болат-оол Ч.К., Ховалыг Н.А., Порядина Е.А., Чадамба Н.Д., Балган Л.Д. Методика опытного дела. Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2018. 98 с.
17. Слюсарев В.Н., Швец Т.В., Осипов А.В. Почвы Краснодарского края учебник. КубГАУ. 2022. 259 с.
18. Копылов В.И., Николенко В.В. Земляника. 2023. 387 с.

References

1. Fesenko S.V., Prudnikov P.V., Emlyutina E.S., Epifanova I.E., Titov I.E., Shubina O.A. Dynamics of ^{137}Cs Transfer Factors to Agricultural Products after the Chernobyl Accident: Grain, Potatoes, and Vegetables. *Radiation biology. Radioecology*. 2023;Vol.63.No2:172-185 (In Russ.) doi: 10.31857/S0869803123020042
2. Larionova N.V., Krivitskiy P.Ye., Toporova A.V., Polivkina Ye.N., Aidarkhanov A.O. Accumulation of Cs-137 and Sr-90 by plants in the fallout area at the Semipalatinsk test site. *NNC RK Bulletin*. 2022;(3):26-30 (In Russ.)
3. Fesenko S.V., Prudnikov P.V., Isamov N.N., Emlyutina E.S., Titov I.E. Dynamics of ^{137}Cs concentration in fodders in the long-term after the Chernobyl accident. *Radiation Biology. Radioecology*. 2022;Vol.62.No2:185-195 (In Russ.) doi: 10.31857/S0869803122010040
4. Fesenko S.V., Sanzharova N.I., Isamov N.N., Shubina O.A. Accident at Chernobyl NPP: countermeasures and remedial actions in agriculture. *Radiation Biology. Radioecology*. 2021;Vol.61.No3:261-276 (In Russ.) doi: 10.31857/S086980312103005X

5. Buryakova A.A., Pavlov N.N., Kryshev I.I., Katkova M.N. Dynamics and the current state of the radioecological situation in the territories of the Chernobyl emergency trail in the Bryansk region. *Radiation biology. Radioecology*. 2021; Vol.61.No.3:277-285. doi: 10.31857/S0869803121030048
6. Anisimov V.S., Kuznetsov V.K., Sanzharov A.I. Vertical migration of ¹³⁷Cs of Chernobyl fallout in various soils. *Radiation Biology. Radioecology*. 2021; Vol.61. No3:286-300 (In Russ.). doi: 10.31857/S0869803121030036
7. Andreeva N.V., Belova N.V., Kuznetsov V.K., Grunskaya V.P. Influence of different types of organic fertilizers on the transfer of ¹³⁷CS into the grain crops harvest. *Radiation Biology. Radioecology*. 2020; Vol.60.No1:99-107 (In Russ.) doi: 10.31857/S086980312001004X
8. Perevolotskaya T.V., Perevolotsky A.N. Mathematical model of radionuclide distribution in the system "Aboveground phytomass of plants-soil surface" in chronic radioactive fallout in forest biogeocenosis. *Radiation Biology. Radioecology*. 2020; Vol.60. No2:203-210 (In Russ.) doi: 10.31857/S0869803120020101
9. Utkin A.A. Assessment of the radiation situation in reference areas of agricultural lands of the Vladimir region. *Radiation Biology. Radioecology*. 2022; Vol.62.No6:660-672 (In Russ.) doi: 10.31857/S0869803122060133
10. Omar-Nazir L., Xiaopei S., Moller A., Musso T., Ben S., Hancock S., Seymour K., Mothersill K. Long-term effects of ionizing radiation after the Chernobyl accident: possible contribution of historic dose. *Environmental Research*. 2018; Vol.165: 55-62. doi:10.1016/j.envres.2018.04.005
11. Panov A.V., Prudnikov P.V., Titov I.E., Krechetnikov V.V., Ratnikov A.N., Shubina O.A. Radioecological assessment of the agricultural lands and products in south-west districts of the Bryansk region contaminated by radionuclides as the result of the Chernobyl NPP accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(1):25-35 (In Russ.) doi: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-25-35
12. Tsvetnova O.B., Shcheglov A.I., Isaeva S.R. Features of accumulation and distribution of ⁹⁰Sr in the root system of Scots pine in the remote period after the Chernobyl fallout. *Radiation Biology. Radioecology*. 2020; Vol.60.No1:82-88 (In Russ.) doi: 10.31857/S0869803120010154
13. Gorodnichaya A., Glinyanova I., Pogorelova V. Eco-phytomonitoring in ensuring radiological safety of urban building. *E3S Web of Conferences* 138.01022 (2019) <https://doi.org/10.105/e3s.conf/201913801022>.
14. Pogorelova V.A., Tsipinova B.S., Melchenko E.A., Ashinov Yu.N. Accumulation of ⁹⁰Sr in plant litter of fruit cenosis. *New technologies*. 2022;18(4):201 – 209 (In Russ.). doi: 10.47370/2072-0920-2022-18-4-201-209.
15. Scintillation beta spectrometer with Progress software. Methodology for measuring the activity of radionuclides. FSUE VNIIFTRI Moscow. Certificate No. 40152.4D362/01.00294 dated May 30, 2014. 41 p. (In Russ.)
16. Zhulanova V.N., Kanzivaa S.O., Tulush V.P., Bolat-ool C.K., Khovalyg N.A., Ordina E.A., Chadamba N.D., Balagan L.D. Methods of experimental business. 2018. Kyzyl: Publishing House of TvSU. 98 p. (In Russ.)
17. Slyusarev V.N., Shvets T.V., Osipov A.V. Soils of the Krasnodar territory: textbook. KubGAU. 2022. 259 p. (In Russ.)
18. Kopylov, V.I., Nikolenco. V.V. Strawberry. 2023. 387 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Евгений Александрович Мельченко – аспирант кафедры прикладной экологии, melchenko.e.a.@mail.ru;

Сергей Борисович Криворотов – доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и общей экологии, s.krevorotov_2002@rambler.ru;

Александр Иванович Мельченко – доктор биологических наук, доцент кафедры прикладной экологии, alexkuban59@mail.ru;

Виктория Александровна Погорелова – кандидат биологических наук, доцент кафедры прикладной экологии, vikkim88@mail.ru.

Information about the authors

Evgeny A. Melchenko – Postgraduate student, Department of Applied Ecology, melchenko.e.a.@mail.ru;

Sergey B. Krivorotov – Doctor of Science (Biology), Professor, Department of Botany and General Ecology, s.krevorotov_2002@rambler.ru;

Alexander I. Melchenko – Doctor of Science (Biology), Associate Professor, Department of Applied Ecology, alexkuban59@mail.ru;

Victoria A. Pogorelova – Candidate of Science (Biology), Associate Professor, vikkim88@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 13.03.2024; одобрена после рецензирования 08.05.2024; принята к публикации 14.05.2024.

The article was submitted 13.03.2024; approved after reviewing 08.05.2024; accepted for publication 14.05.2024.