

<https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-2-125-132>

УДК 633.2: [631.445.4:631.418]

© 2022

Поступила 07.04.2022

Received 07.04.2022



Принята в печать 11.05.2022

Accepted 11.05.2022

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ В ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ^{90}Sr ПРИ РАСПОЛОЖЕНИИ ЕГО В ПОЧВЕ ЧЕРНОЗЕМ ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ

Виктория А. Погорелова¹, Бэлла С. Ципинова^{2*}, Александр И. Мельченко¹

¹ ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»;
ул. Калинина, д. 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»;
ул. Первомайская, д. 191, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация

Аннотация. В XXI веке продолжает высокими темпами развиваться атомная энергетика. В связи с ростом численности населения на планете, ростом его благосостояния требуется больше энергии, которую может дать в том числе и атомная энергетика. В настоящее время продолжается работа по совершенствованию реакторов, используемых на АЭС. Тем не менее, к сожалению, нет гарантий их безаварийной работы. Поэтому при возможных авариях и радиоактивном загрязнении почвы возникает вопрос о дальнейшем ее использовании в сельскохозяйственном производстве. Возврат радиоактивно загрязненных плодородных земель в сельскохозяйственное производство – наиважнейшая задача на современном этапе жизни человека. Цель исследований – изучить содержание удельной активности в травянистой растительности в зависимости от ее вида при расположении нуклида в почве на глубине 50 см. Изучена миграция и накопление ^{90}Sr в травянистой растительности, находящейся в плодовом саду в почве на глубине 50 см. Изучение накопления радионуклидов в сельскохозяйственных растениях после радиоактивного загрязнения почвы является одной из актуальнейших задач современности. В плодовом семечковом саду выполнен полевой эксперимент. Травянистая растительность – ценнейший биоресурс, то есть это потенциальный корм для домашних и диких животных, поэтому важно составить прогноз возможного его использования. Накопление радионуклида в травянистой растительности по трофической цепи может привести к его накоплению в организме человека. Наибольшим накоплением ^{90}Sr в однолетней травянистой растительности, как возможном кормовом биоресурсе, при расположении радионуклида в почве на глубине 50 см отличается вьюнок полевой. В 2019 г. различие в накоплении нуклида между вьюнком полевым и пыреем ползучим составило 2,5 раза. Составлен убывающий ряд по накоплению радионуклида при его расположении в почве на глубине 50 см: вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.) > одуванчик полевой (*Taraxacum officinale*) = осот полевой (*Sonchus arvensis* L.) > пырей ползучий (*Agropyrum repens* L.) > тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.).

Ключевые слова: почва, радионуклид, травянистая растительность, миграция, накопление, загрязнители, радиоактивные загрязнения, удельная активность, питательные вещества, чернозем выщелоченный, гумусовый слой

Для цитирования: Погорелова В.А., Ципинова Б.С., Мельченко А.И. Анализ содержания в травянистой растительности ^{90}Sr при расположении его в почве чернозем выщелоченный // Новые технологии. 2022. Т. 18, № 2. С. 125-132. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-2-125-132>

ANALYSIS OF THE ^{90}Sr CONTENT IN GRASSLAND VEGETATION WHEN PLACED IN LEACHED CHERNOZEM

Victoria A. Pogorelova¹, Bella S. Tsipinova² *, Alexander I. Melchenko¹

¹ FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin»;
13 Kalinin str., Krasnodar, 350044, the Russian Federation

² FSBEI HE «Maikop State Technological University»;
191 Pervomaiskaya str., Maikop, 385000, the Russian Federation

Abstract. Nuclear power continues to develop rapidly in the 21st century. Due to the growth of the population on the planet and the growth of its well-being, more energy is required, which nuclear energy can also provide. Currently, work to improve the reactors used at nuclear power plants is going on. However, unfortunately, there are no guarantees for their trouble-free operation. Therefore, in case of possible accidents and radioactive contamination of the soil, the question arises of its further use in agricultural production. The return of radioactively contaminated fertile lands to agricultural production is the most important task at the present stage of human life. The purpose of the research is to study the content of specific activity in grassland vegetation, depending on its type, when the nuclide is located in the soil at a depth of 50 cm. The migration and accumulation of ^{90}Sr in grassland vegetation located in the orchard in the soil at a depth of 50 cm has been studied. The study of the accumulation of radionuclides in agricultural plants and soil after its radioactive contamination is one of the most urgent problems of our time. A field experiment has been carried out in a fruit seed orchard. Grassland vegetation is the most valuable bioresource, that is, it is a potential food for domestic and wild animals, so it is important to make a forecast of its possible use. Accumulation of the radionuclide in grassland vegetation along the trophic chain can lead to its accumulation in the human body. The largest accumulation of ^{90}Sr in annual herbaceous vegetation, as a possible fodder bioresource, when the radionuclide is located in the soil at a depth of 50 cm, is distinguished by field bindweed. In 2019, the difference in the accumulation of the nuclide between field bindweed and couch grass was 2.5 times. A decreasing series is compiled for the accumulation of the radionuclide, when it is located in the soil at a depth of 50 cm: field bindweed (*Convolvulus arvensis* L.) > field dandelion (*Taraxacum officinale*) = field sow thistle (*Sonchus arvensis* L.) > creeping couch grass (*Agropyrum repens* L.) > common yarrow (*Achillea millefolium* L.).

Keywords: soil, radionuclide, herbaceous vegetation, migration, accumulation, pollutants, radioactive contamination, specific activity, nutrients, leached chernozem, humus layer

For citation: Pogorelova V.A., Tsipinova B.S., Melchenko A.I. Analysis of the ^{90}Sr content in grassland vegetation when placed in leached chernozem. *New technologies*. 2022; 18(2): 125-132. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-2-125-132>

Введение

В течение последних нескольких десятилетий в биосфере нашей планеты появились новые загрязнители – искусственно созданные человеком радиоактивные изотопы. Теперь к уже существующим в природе рассеянными естественным радиоактивным элементам добавились искусственные радиоактивные загрязнители. Это произошло по причине быстрого развития атомной энергетики и атомной промышленности в целом. В середине XX века основную роль в загрязнении биосферы играли испытания атомного оружия. Но в последние десятилетия в загрязнение биосферы внесли свой вклад аварийные ситуации на самих АЭС. И если ранее эти аварии носили в основном локальный характер, то авария 1986 года на Чернобыльской АЭС имела глобальный характер, с большим числом жертв среди животного, растительного мира и среди людей. Авария 2011 года в Японии еще раз доказала, насколько атомная энергетика может быть опасной, если происходят аварии. Тем не менее, строительство АЭС продолжается и в настоящее время, но выполняются работы по усовершенствованию реакторов, что должно снизить вероятность аварий на объектах атомной энергетики. Однако они всё же возможны. Поэтому одной из актуальнейших задач современности является изучение накопления радионуклидов в сельскохозяйственных растениях после радиоактивного загрязнения почвы.

Загрязнение может произойти и культурных сельскохозяйственных растений, и травянистой растительности, участвующей в пищевой цепи животных. Искусственные радиоактивные изотопы могут включаться в биологические цепи питания и проникать в организм животных, а затем и человека. При рассеянии в окружающей человека среде радиоактивных нуклидов возникает опасность, при которой, во-первых, увеличивается доза внешнего облучения человека,

во-вторых, возрастает доза внутреннего облучения в результате потребления пищи растительного и животного происхождения [3–5, 7; 8].

Цель исследований – изучить содержание удельной активности в травянистой растительности в зависимости от ее вида при расположении нуклида в почве на глубине 50 см.

Материалы и методы. Полевой эксперимент выполнен в плодовом семечковом саду. На изучаемой территории сада, как и на территории любого плодового сада, есть травянистая растительность. Она может отличаться степенью развития, видовым разнообразием, густотой стояния и т.д., но она практически всегда присутствует. В случае возможного радиоактивного загрязнения сада травянистая растительность также будет загрязнена. Известно, что с сорной растительностью в саду надо бороться. Для этого используют гербициды, биологические варианты и, конечно, агротехнические. Один из них – глубокая вспашка. Преимуществом она дает немало – перемещение семян сорной растительности на большую глубину снижает возможность ее прорастания, энергии может не хватить для того, чтобы выбраться на поверхность почвы. При этом часть химического или радиационного загрязнения, если оно есть, также оказывается на глубине. Но как поведет себя загрязнитель, оказавшись на глубине, сколько его накопится в травянистой растительности и затем включится в пищевую цепь животных – оставалось неизвестным. Поэтому появилась задача этот пробел в знаниях восполнить.

Исследования выполнены на территории ВНИИБЗР г. Краснодар в плодовом семечковом саду. Почва чернозем выщелоченный среднегумусный сверхмощный [6]. В 1989 г. внесен $^{90}\text{SrCl}_2$ – 500 МБк/м². Повторностей в опыте 6, по рекомендациям, предложенным в методиках опытного дела. По краям опытных делянок расположены защитные растения. Расположение делянок – рядовое. После отбора

проб растений измеряли удельную активность каждого из исследуемых органов на спектрометрическом комплексе. Это базовый прибор, на котором выполняется спектрометрия радионуклидных источников. Для определения удельной активности изучаемого радионуклида в растительных образцах применили методику измерения удельной активности ^{90}Sr в счетных образцах с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра. Исследования с применением загрязняющих почву веществ не должны выполняться на больших площадках. А в случае с радиоактивными веществами их применение вообще невозможно на полях общего сельскохозяйственного назначения. Для подобных исследований отводится специальная площадка, которая обязательно находится под строжайшей охраной и видеонаблюдением. Конечно, на таких территориях в принципе невозможны большие делянки, но они обязательно должны быть стандартными для данного вида исследований. Малые делянки, об этом неоднократно информировали исследователи разных стран, могут быть небольшими, причины тому тоже объективные, но и при этом можно получить высокую точность опыта [2].

Для определения возможного влияния биологических особенностей изучаемых растений на изменение в них удельной активности техногенного радионуклида – ^{90}Sr обязательно следует изучить эти особенности и выяснить причину различного накопления в них нуклида.

Каждый вид растений имеет свои особенности, которые в конечном итоге сыграют определенную роль в степени накопления нуклида. К таким особенностям может быть отнесена гидрофобность или опушенность листа. Эти особенности важны, если происходит выпадение загрязняющего вещества из атмосферы, а тем более в виде дождя, то различие уже может быть предположительным, так как при гидрофобности листа большая

часть воды, на него попадающей, просто с него стечет, а на опушенном листе – в немалом количестве задержится. Находясь на поверхности листа, загрязнитель может через устьица оказаться внутри, а если еще и период нахождения на листе длительный, то и загрязнение может быть высоким. Еще одной особенностью растений является расположение корневой системы в почве. Если выпадение загрязнителя случится на поверхность почвы, а так чаще всего и бывает, то при поверхностно расположенной корневой системе большая часть радиоактивного загрязнителя будет в самом растении. Здесь главную роль сыграет корневой путь поступления радионуклида в растение. Временной фактор также имеет немаловажное значение в накоплении радионуклида в растениях. При длительном вегетационном периоде в растении больше будет содержаться нуклида, чем в растении с коротким вегетационным периодом. Даже пространственное расположение листы, стебля растения тоже оказывает важнейшее влияние на накопление нуклида в нем. Таких особенностей у растений, конечно же, больше, некоторые приведены в описании самих растений, участвующих в эксперименте:

1. Пырей ползучий (*Agropyrum repens* L.), многолетник, высота растения 45–80 (иногда и более) см; стебель прямостоячий, гладкий, округлый; корневая система представляет собой ползучее корневище, основная часть которого располагается на глубине 10–15 см. На пастбищах этот злак – самый ранний корм. Зеленые вкусные побеги возвращают скоту крепость и упитанность. В стойловый период пырейное сено одно из лучших – коровы, лошади, овцы поедают его полностью.

2. Вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), многолетник, вьющийся длинный стебель; корневая система в виде хорошо развитых разветвленных вертикальных и горизонтальных корней, которые в основном расположены в

слое до 25 см. Очень хорошо поедается животными.

3. Осот полевой (*Sonchus arvensis* L.), многолетник, высота до 150 (иногда до 180) см; корни в основном расположены на глубине до 30 см.

4. Одуванчик полевой (*Taraxacum officinale*), многолетник, высота 10–30 см; корень сильный, вертикально расположенный.

5. Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), многолетник; корневая система располагается близко к поверхности почвы. Распространен повсеместно и является типичным растением лугов, садов, огородов, пастбищ.

Результаты и обсуждение

В результате выполненных исследований было установлено, что наибольшее накопление изучаемого радионуклида среди корневищных сорных растений было у пырея ползучего (рис. 1).

В целом содержание в изучаемой травянистой растительности ^{90}Sr можно считать небольшим. Однако оно всё же есть. Расположение корневой системы у обоих растений в основном поверхностное. Но небольшое их количество достигает глубины нахождения радионуклида в почве, что привело к определенному его накоплению. Большая часть корневой системы при поступлении питательных веществ с верхнего (чистого) слоя почвы позволила

выполнить некоторое разбавление загрязнителя в растении.

Различие в накоплении изучаемого радионуклида составило по годам исследований 2017, 2018 и 2019 гг. соответственно в 1,2; 1,4 и 1,2 раза. Основной причиной различий в накоплении радионуклида в изучаемых растениях можно считать их биологические особенности. В данном случае пырей ползучий отличается от тысячелистника обыкновенного более интенсивным ростом. Пырей ползучий для обеспечения высоких темпов роста и размножения имеет высокий расход влаги.

Так, если транспирационный коэффициент пырея составляет 1100–1200, то мари белой 800–850, ярутки полевой – 650–700, а у культурных растений пшеницы и проса – соответственно 500 и 250 [1]. За короткий промежуток времени он занимает огромные площади и практически вытесняет другие растения.

На территории сада для исследований были определены травянистые растения: вьюнок полевой, осот полевой и одуванчик полевой. Содержание изучаемого радионуклида в вегетативной массе приведено на рисунке 2.

Наибольшей удельной активностью ^{90}Sr в вегетативной массе отличается вьюнок полевой. Различие по годам исследований 2017, 2018 и 2019 гг. между вьюнком полевым и одуванчиком полевым

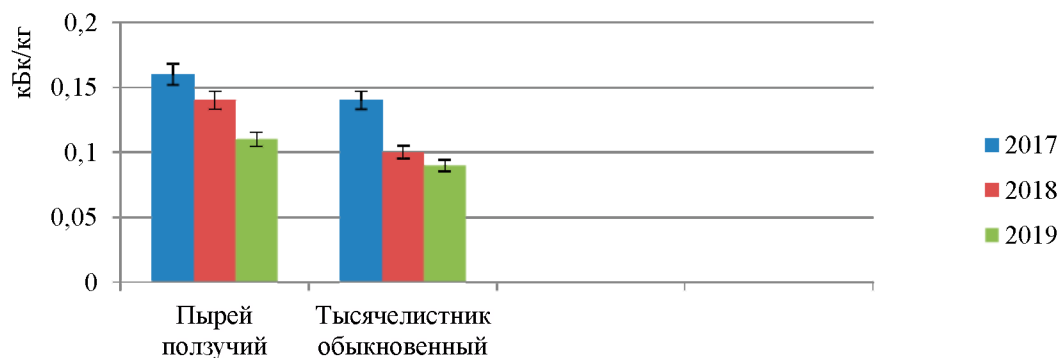


Рис. 1. Удельная активность ^{90}Sr в травянистой растительности на территории сада, глубина расположения ^{90}Sr в почве 50 см)

Fig. 1 Specific activity of ^{90}Sr in grassland vegetation in a garden, depth of ^{90}Sr location in the soil is 50 cm)

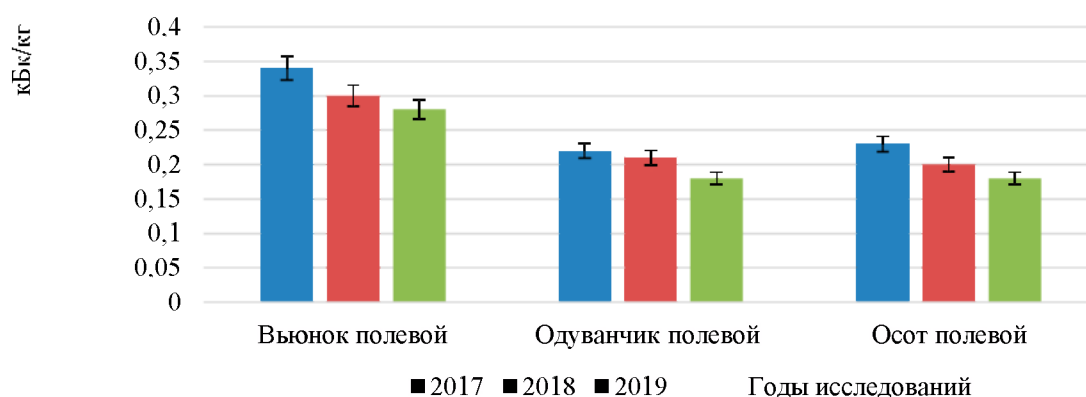


Рис. 2. Удельная активность ^{90}Sr в травянистой растительности на территории сада (глубина расположения ^{90}Sr в почве 50 см)

Fig. 2. Specific activity of ^{90}Sr in grassland vegetation in a garden (^{90}Sr location depth in soil is 50 cm)

составляет соответственно в 1,5; 1,4 и 1,5 раза. Различие в содержании ^{90}Sr в вегетативной массе между вьюнком полевым и осотом полевым за эти же годы исследований составило соответственно в 1,5; 1,5 и 1,5 раза.

Одной из причин более высокого накопления ^{90}Sr в вегетативной массе вьюнка полевого может быть его отношение к кальцию. Это растение предпочитает почвы, содержащие этот элемент. Известно, что Са является неизотопным аналогом ^{90}Sr . Важнейшее отличие чернозема выщелоченного – выщелоченность гумусового слоя от карбонатов кальция. Однако

иногда они могут находиться и в гумусовом слое. Те не менее, эта особенность может влиять на различие в накоплении стронция-90 в растениях.

В целом можно отметить еще одну закономерность по годам исследований – тенденция к снижению содержания изучаемого радионуклида в растениях.

Причин такого снижения нуклида в растениях несколько: с течением времени снижается подвижность ^{90}Sr в почве, внесение нуклида было в 1989 г. За истекший период радионуклид постепенно переходит в менее доступную для растений форму. Свою лепту вносит и период

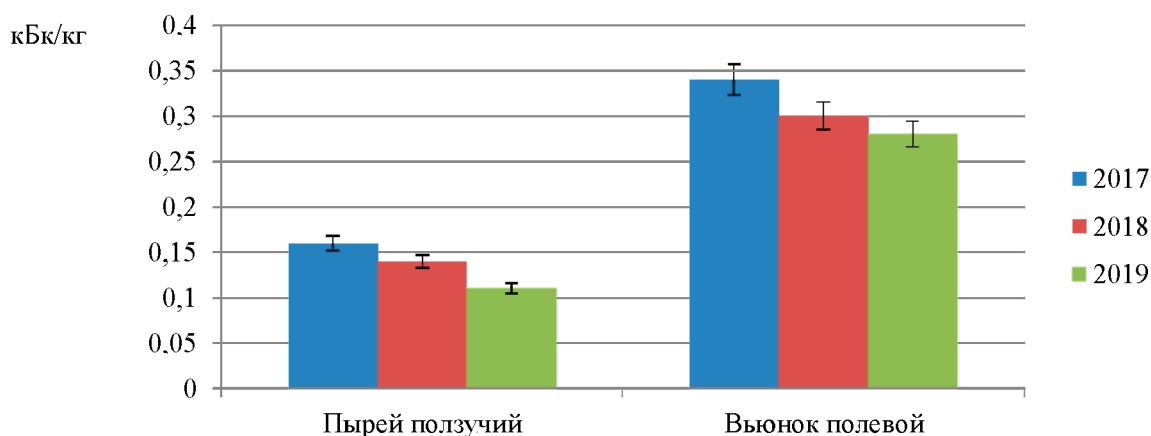


Рис. 3. Содержание ^{90}Sr в травянистой растительности на территории сада (глубина расположения ^{90}Sr в почве 50 см)

Fig. 3. ^{90}Sr content in grassland vegetation in a garden (^{90}Sr location depth in soil is 50 cm)

полураспада ^{90}Sr (29,12 лет), что, в конечном счете, уменьшает его абсолютную активность в почве.

В результате эксперимента появилась возможность сравнить содержание изучаемого радионуклида в травянистой растительности с различной глубиной залегания основной массы корневой системы (рис. 3). В результате эксперимента было установлено различие в накоплении стронция-90 между растением пырей ползучий, у которого основная масса корневой системы расположена в верхнем слое почвы, и растением вьюнок полевой, у которого корневая система располагается в почве до 1,5–2,0 м. Различие по годам исследований 2017, 2018 и 2019 гг. составило в 2,1; 2,1 и 2,5 раза.

Одной из основных причин различного накопления ^{90}Sr в изучаемых растениях является глубина залегания корневой системы. В связи с тем, что радионуклид располагался на глубине 50 см и имел тесный и длительный контакт с корневой системой вьюнка полевого, в нем больше накопилось загрязнителя.

Математическая обработка полученного экспериментального материала позволила сделать заключение относительно существенности различий в содержании исследуемого техногенного нуклида в пырее ползучем и вьюнке полевым. Оно оказалось существенным на 5% уровне значимости, которое выражается в формуле линейной зависимости:

$$Y = 7,91 + X \times 0,61 \quad \text{при } r = 0,98 \quad F = 211$$

В процессе исследований был составлен убывающий ряд по накоплению радионуклида при его расположении в почве на глубине 50 см: вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.) > одуванчик полевой (*Taraxacum officinale*) = осот полевой (*Sonchus arvensis* L.) > пырей ползучий (*Agropyrum repens* L.) > тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.).

Полученный экспериментальный материал позволяет определить коэффициенты перехода, что в дальнейшем даст возможность составить прогноз в содержании изучаемого радионуклида в исследованных растениях.

ВЫВОДЫ

1. Видовые особенности изученных травянистых растений оказали влияние на накопление в вегетативной массе ^{90}Sr при расположении его в почве на глубине 50 см.

2. Фактор времени оказывает влияние на накопление радионуклида в растениях, наблюдается тенденция к снижению.

3. Составлен убывающий ряд по накоплению радионуклида при его расположении в почве на глубине 50 см: вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.) > одуванчик полевой (*Taraxacum officinale*) = осот полевой (*Sonchus arvensis* L.) > пырей ползучий (*Agropyrum repens* L.) > тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Верещагин Л.Н. Атлас травянистых растений. Киев: Юнивест Маркетинг, 2002. 384 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1968. 336 с.
3. Мельченко А.И., Мельченко (Погорелова) В.А., Подгорная А.А. Изучение миграционных особенностей ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах плодового ценоза // XXXIII Научная конференция студентов и молодых ученых вузов Южного Федерального округа. Краснодар, 2006. С. 101.
4. Погорелова В.А., Мельченко А.И. Накопление стронция-90 в различных видах травянистой растительности при ее поверхностном расположении на почве // *Advances in Agricultural and Biological Sciences*. 2019. Т. 5, № 2. С. 41–48.
5. Погорелова В.А., Мазиров М.А., Мельченко А.И. Вертикальная миграция ^{90}Sr в изучаемых почвенных горизонтах чернозема выщелоченного // *Агрехимический вестник*. 2021. № 2. С. 50–53.
6. Соколов М.С. Актуальные задачи оздоровления почв России // *Почвы в биосфере и жизни человека: монография*. М.: МГУЛ, 2012. С. 356–384.

7. Роль растений в пространственной дифференциации состояния ^{137}Cs и ^{90}Sr на агрегатном уровне / С.П. Торшин [и др.] // Почвоведение. 2016. № 4. С. 448–458.

8. Поступление в растения ^{137}Cs и ^{90}Sr с поверхности почвенных агрегатов и из внутрипедного пространства / А.Д. Фокин [и др.] // Почвоведение. 2014. № 12. С. 1416–1425.

REFERENCES:

1. Vereshchagin L.N. Atlas of herbaceous plants. Kiev: Univest Marketing; 2002 (in Russ).
2. Armor B.A. Methods of field experience. M.: Kolos; 1968 (in Russ).
3. Melchenko A.I., Melchenko (Pogorelova) V.A., Podgornaya A.A. Study of migratory features of ^{90}Sr and ^{137}Cs in soils of fruit cenosis. XXXIII Scientific conference of students and young scientists of universities of the Southern Federal District. Krasnodar; 2006: 101 (in Russ).
4. Pogorelova V.A., Melchenko A.I. Accumulation of strontium-90 in various types of herbaceous vegetation with its surface location on the soil. Advances in Agricultural and Biological Sciences. 2019; 5(2): 41–48 (in Russ).
5. Pogorelova V.A., Mazirov M.A., Melchenko A.I. Vertical migration of ^{90}Sr in the studied soil horizons of leached chernozem. Agrochemical Bulletin. 2021; 2: 50–53 (in Russ).
6. Sokolov M.S. Actual problems of improving soils in Russia. Soils in the biosphere and human life: a monograph. Moscow: MSUL; 2012: 356–384 (in Russ).
7. Torshin S.P. [et al.] The role of plants in the spatial differentiation of the state of ^{137}Cs and ^{90}Sr at the aggregate level. Soil Science. 2016; 4: 448–458 (in Russ).
8. Fokin A.D. [et al.] Entry of ^{137}Cs and ^{90}Sr into plants from the surface of soil aggregates and from intrapedal space. Soil Science. 2014; 12: 1416–1425 (in Russ).

Информация об авторах / Information about the authors

Виктория Александровна Погорелова, методист эколого-биологического центра г. Краснодар, аспирант ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»
alexkuban59@mail.ru
тел.: 8(918)336 27 73

Бэлла Схатбиевна Ципинова, доцент кафедры землеустройства ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», кандидат биологических наук

bella-0101@mail.ru
тел.: 8(952)811 21 21

Александр Иванович Мельченко, доцент кафедры прикладной экологии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», доктор биологических наук, доцент

alexkuban59@mail.ru
тел.: 8(918)336 27 73

Victoria A. Pogorelova, a methodologist of the Ecological and Biological Center in Krasnodar, a postgraduate student of FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin»

alexkuban59@mail.ru
tel.: 8(918)336 27 73

Bella S. Tsipinova, an associate professor of the Department of Land Management, FSBEI HE «Maikop State Technological University», Candidate of Biological Sciences

bella-0101@mail.ru
tel.: 8(952)811 21 21

Alexander I. Melchenko, an associate professor of the Department of Applied Ecology, FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», Doctor of Biological Sciences, an associate professor

alexkuban59@mail.ru
tel.: 8(918)336 27 73