

4. Kotova V.V. Kornevye gnili zernobobovykh kultur. – Leningrad: Agropromizdat, 1986. – 92 s.

5. Kirik H.H., Stebliuk N.I., Ellanskaia I.A. Morfologicheskie i biologicheskie osobennosti vozbuditelia fuzarioznoi kornevoi gnili i uviadaniia gorokha // Selskokhoziaistvennaia biologii. – 1976. – T. XI. – No. 5. – S. 689-695.

6. Sokolova, L.M. Analiz vidovogo raznoobraziia gribov iz roda Fusarium // Agrarnaia nauka. – 2019. – No. S1. – S. 118-122.

7. Nazarov, P., Baleev, D., Ivanova, M., Sokolova, L., Karakozova, M. (2020). Infectious Plant Diseases: Etiology, Current Status, Problems and Prospects in Plant Protection. *Acta Naturae*. 12: 46-59. DOI: 10.32607/actanaturae.11026.

8. Leunov, V., Sokolova, L., Beloshapkina, O.,

Khovrin, A. (2021). Resistance of carrots to *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. and factors influencing it. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 624. 012010. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012010.

9. Sokolova L.M., Tereshonkova T.A., Gorshkova N.S., Leunov V.I. Prichiny uviadaniia gorokha ovoshchnogo v Voronezhskoi oblasti // Zashchita i karantin rastenii. – 2013. – No. 2. – S. 41-43.

10. Akhatov A.K., Dzhililov V.S., Beloshapkina O.O., Stroikov Iu.M., Chizhov V.N. Zashchita rastenii ot boleznei v teplitsakh (Sprasosnik). Pod redaktsiei A.K. Akhatova. – Moskva: Tovari-shchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2002. – 464 s.



УДК 631.445.4:546.42

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-207-1-34-39

В.А. Погорелова, М.А. Мазиров, А.И. Мельченко

V.A. Pogorelova, M.A. Mazirov, A.I. Melchenko

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ НА ДИНАМИКУ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДА В КРЫЖОВНИКЕ

INFLUENCE OF SOME AGRONOMIC PRACTICES ON RADIONUCLIDE ACCUMULATION DYNAMICS IN GOOSEBERRIES

Ключевые слова: почва, глубина расположения, радионуклид, трофическая цепь, динамика накопления, крыжовник, лист, плоды.

В Краснодарском крае на территории ВНИИБЗР г. Краснодара выполнены уникальные для данного региона исследования о накоплении в плодах и листовом аппарате крыжовника ^{90}Sr при различной глубине его расположения в почве. Первый вариант представлял размещение ^{90}Sr на поверхности почвы, второй – на глубине 50 см. Почва – чернозем выщелоченный. В результате многолетних (10 лет) исследований в трофической цепи почва-растение было установлено, что глубина расположения радионуклида в почве оказывает влияние на его накопление в плодах и листовом аппарате. В листьях и плодах крыжовника больше накапливается ^{90}Sr при расположении его на поверхности почвы. Различие по вариантам исследований в накоплении нуклида в листьях крыжовника в 2010 г. составило 2,8 раз, в 2020 г. – в 1,8 раз. Содержание ^{90}Sr в плодах в зависимости от глубины расположения радионуклида в почве также различается: в 2010 г. – в 1,6 раз, в 2020 г. – в 1,2 раз. Наблюдения и выполненные измерения показали, что на урожай изучаемые

варианты расположения нуклида в почве не оказали влияния.

Keywords: soil, location depth, radionuclide, trophic chain, accumulation dynamics, gooseberry, leaf, fruits.

On the territory of the All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection in Krasnodar, unique studies for this region were carried out on the accumulation of ^{90}Sr in the fruits and leaf apparatus of gooseberries at different depths of its location in the soil. The soil is leached chernozem. As a result of long-term (10 years) studies, in the trophic chain soil-plant, it was found that the depth of the radionuclide location in the soil affects its accumulation in fruits and leaf apparatus. In the leaves and fruits of gooseberries, ^{90}Sr accumulates more when it is located on the soil surface. The difference in the study variants in the accumulation of nuclide in gooseberry leaves in 2010 was 2.8 times, in 2020 – 1.8 times. The content of ^{90}Sr in fruits also differs depending on the depth of the radionuclide in the soil: in 2010 – 1.6 times, in 2020 – 1.2 times. The observations and measurements performed showed that the studied variants of the nuclide location in the soil had no effect on the yields.

Погорелова Виктория Александровна, ст. методист, ГБУ дополнительного образования Краснодарского края «Эколого-биологический центр», г. Краснодар, Российская Федерация, e-mail: VikkiM88@mail.ru.

Мазилов Михаил Арнольдович, д.б.н., профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: mazirov@mail.ru.

Мельченко Александр Иванович, д.б.н., доцент, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Российская Федерация, e-mail: alexkuban59@mail.ru.

Pogorelova Viktoriya Aleksandrovna, Educational Supervisor, State Budgetary Institution for Supplementary Education “Ecological and Biological Center”, Krasnodar, Russian Federation, e-mail: VikkiM88@mail.ru.

Mazirov Mikhail Arnoldovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Russian State Agricultural University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, e-mail: mazirov@mail.ru.

Melchenko Aleksandr Ivanovich, Dr. Bio. Sci., Assoc. Prof., Kuban State Agricultural University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, e-mail: alexkuban59@mail.ru.

Введение

Радиоактивное загрязнение окружающей среды происходит в результате различных причин: добыча и переработка радиоактивного сырья, аварии на различных предприятиях атомной энергетики, при хранении радиоактивных отходов и т.д. При этом загрязнению подвергаются природные экосистемы, территории промышленного и сельскохозяйственного назначения. В связи с уменьшением площади плодородных земель (деградация, строительство и т.д.) и ростом численности населения на планете возможность использования радиоактивных почв для получения урожая сельскохозяйственных растений приобретает всё большую актуальность. Однако решать подобные задачи довольно трудно, во-первых, до сих пор присутствует среди населения радиophobia, после аварии на ЧАЭС, во-вторых, в каждом регионе требуется проводить дополнительные исследования в связи с различными типами почв, климатом, спектром выращиваемых растений, принятыми агротехническими мероприятиями и т.д.

Вопросу миграции радионуклидов из почвы в растения уже много лет уделялось и уделяется большое внимание как в нашей стране, так и за рубежом [1, 4-8]. Для сельскохозяйственного производства изучение динамики накопления нуклида из почвы в растение приобретает особенно важное значение. Краснодарский край – аграрный. На его территории выращивается большое видовое разнообразие сельскохозяйственных растений. И если произойдет радиоактивное загрязнение почвенного грунта, то возникнет много вопросов о дальнейшем его использовании, ответ на которые следует получить уже сегодня.

Ранее в Краснодарском крае исследований по накоплению ^{90}Sr в крыжовнике, при различных вариантах его нахождения в почве,

не выполнялось, поэтому экспериментальные данные являются уникальными. Актуальность темы исследований определяется еще и по причине массового выращивания крыжовника на полях фермеров и дачных участках.

Цель – определить, в зависимости от агротехники возделывания крыжовника, накопление ^{90}Sr в его листьях и ягодах.

Задачи:

1) определить удельную активность в листовой пластинке и хозяйственно-ценной части крыжовника ^{90}Sr при распределении его в верхнем слое почвенного грунта;

2) установить удельную активность в листовой пластинке и хозяйственно-ценной части крыжовника ^{90}Sr с расположением его на глубине 50 см;

3) сравнить изучаемые варианты агротехники и определить наиболее выгодную для выращивания крыжовника на радиоактивно загрязненной почве.

Научная новизна. Исследования по применению различных вариантов агротехники выращивания крыжовника на радиоактивно загрязненной почве на территории Краснодарского края не проводились. Экспериментальный материал, приведенный за 10 лет наблюдений, является уникальным для территории Кубани. Определено, что изучаемые варианты агротехники возделывания крыжовника влияют на накопление ^{90}Sr в листьях и плодах. Исследования, выполненные в поле при конкретных погодных условиях, дают возможность рассчитать коэффициенты перехода (K_p) нуклида в растении. В дальнейшем, при уже рассчитанном K_p , выполнив несложные расчеты, можно составить прогноз о возможном использовании почвы для выращивания крыжовника на территории Краснодарского края.

Объекты, методы и методики

Наблюдения и эксперимент выполнены на почве чернозема выщелоченного. Физико-химические свойства этой почвы приведены в трудах В.И. Терпелец [2]. Участок для выполнения эксперимента был подобран согласно требованиям, приведенным в трудах Б.А. Доспехова [3]. Саженцы крыжовника были выращены в питомнике. Для посадки выбирали растения с хорошей корневой системой, не большие, с хорошо развитой надземной частью. В опыте применена 6-кратная повторность. Согласно рекомендациям [3] с обеих сторон рядов посадки крыжовника были созданы «закрайки», то есть по 2 растения высаживали в конце ряда для защиты.

Крыжовник для эксперимента высажен по стандартной схеме опыта: 1-й вариант – ^{90}Sr расположен на поверхности почвы, 2-й вариант – ^{90}Sr расположен вертикально в грунт на 50 см. Для изучаемого кустарника рекомендована площадь питания $3 \times 1,5$ м, которая и была применена.

Полученный экспериментальный материал анализировали на разработанном в России, находящемся в реестре приборе УСК «Гамма Плюс». Методика для подготовки проб и последующем их анализе использована из программного обеспечения «Прогресс», к прибору УСК «Гамма Плюс». Определение бета-излучающих радионуклидов в исследуемых образцах выполнено с использованием бета-спектрометрического тракта со сцинтилляционным блоком детектирования. ГП ВНИИФТРИ является основным учреждением по разработке оборудования методик по определению радиоактивных загрязнений в образцах проб. Определение удельной активности в изучаемых пробах выполнено в аккредитованной лаборатории ВНИИБЗР. Для определения удельной активности в образцах проб были использованы специальные подложки, которые находятся в комплекте к УСК Гамма Плюс для анализа бета-излучающих изотопов [9].

Для математической обработки полученного экспериментального материала применяли методы математической статистики, изложенные в трудах Б.А. Доспехова [3].

Экспериментальный материал

Вегетативные органы изучаемого растения, в том числе и листовая пластика, могут не только

включаться в биологический цикл, но и после своего загрязнения быть источником внешнего облучения животных, и, конечно, человека. Лист и после опада будет представлять опасность для биоты с точки зрения радиоактивного воздействия.

В результате выполненных нами исследований по накоплению ^{90}Sr в листьях ягодного растения была получена информация, которая показывает этот процесс в динамике (рис. 1).

Радиоактивное загрязнение окружающей среды может произойти при различных обстоятельствах, например, аварии на предприятиях (связанных с радиологическим процессом). В этом случае радиоактивное загрязнение (различной плотности) окружающей среды, в том числе и почвы, будет происходить в виде поверхностных радиоактивных выпадений. Этот вариант был нами смоделирован. В начальный период роста и развития изучаемого кустарника его корневая система имеет тесный контакт с загрязнителем. Следовательно, как нами и определено на рисунке 1, происходит довольно быстрое накопление ^{90}Sr в листьях крыжовника. Но в течение нескольких лет исследований нами была установлена тенденция к снижению содержания нуклида в листьях. Причин здесь несколько: постепенное заглубление корневой системы и снижение тесного контакта с нуклидом, увеличение биомассы кустарника, постепенное снижение мобильности в почве самого нуклида. Кроме того, с 6-7-го года растения крыжовника снижают интенсивность роста.

Для снижения накопления нуклида в растениях могут применяться различные варианты агротехники. Одна из них – плантажная вспашка. Нами в исследованиях был смоделирован вариант 2 – имитация плантажной вспашки (рис. 2).

В первые годы жизни кустарникового растения на опытных делянках загрязнение происходит, но невысокое, в связи с тем, что корневая система расположена в основном в верхнем слое почвы, изучаемый радионуклид на глубине 50 см. За изучаемый период роста и развития крыжовника, как уже было сказано, корневая система проникает глубже в почву (а здесь же и находится нуклид). По этой причине в этом варианте нахождения нуклида в почве происходит более интенсивное его накопление не в первые годы жизни кустарника, а несколько лет спустя (рис. 2).

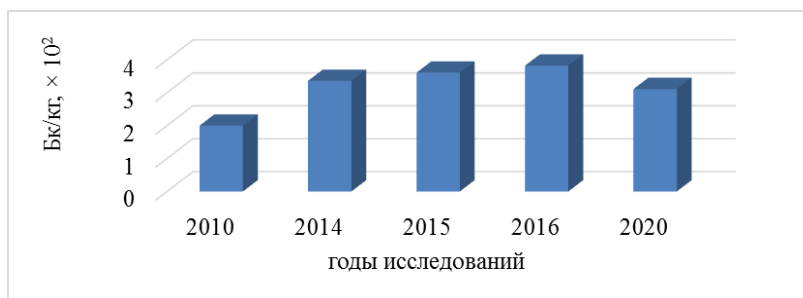


Рис. 1. Удельная активность ⁹⁰Sr в листьях крыжовника в опыте для варианта 1



Рис. 2. Удельная активность ⁹⁰Sr в листьях крыжовника в опыте для варианта 2

Установлено различие в содержании нуклида в листьях крыжовника между 2010 г. следующими годами эксперимента (2014, 2015, 2016, 2020), которое было, соответственно, в 1,7; 1,9; 2,3 и 2,4 раза. Изучаемые нами способы в расположении нуклида в почве оказали существенное влияние на изучаемый показатель для листовой пластинки исследуемого кустарника. В результате исследований было установлено, что удельная активность ⁹⁰Sr в листе gooseberries для варианта 1 выше, чем для варианта 2.

Влияние глубины расположения ⁹⁰Sr в почве на его накопление в листьях крыжовника описано уравнением экспоненциальной регрессии (1):

$$Y = 30,4 \times e^{(4,24 \times 10^{-3} \times X)} \quad (1)$$

при $r = 0,99$ $F = 156$.

Крыжовник выращивают для получения его ценных плодов, которые имеют высокие питательные качества для человека и других живых организмов. Неудивительно, что одна из генеральных задач в поставленном эксперименте –

установить удельную активность изучаемого нуклида в хозяйственно-ценной части крыжовника для предлагаемых вариантов расположения нуклида в почве.

Опыт выполнялся длительное время, в результате которого удалось получить не только конкретные цифры удельной активности в плодах крыжовника, но и определить тенденцию в накоплении ⁹⁰Sr по изучаемым годам (рис. 3).

Определены тенденции в накоплении изучаемого нуклида в плодах и листьях крыжовника – они довольно похожи. С той лишь разницей, что абсолютные значения удельной активности по изучаемым органам растения сильно отличаются. Также в первый период роста и развития кустарника в варианте 1 было довольно быстрое накопление нуклида (рис. 3). В 2010 г. содержание ⁹⁰Sr в ягодах составляло $0,23 \times 10^2$ Бк/кг, но уже к 2014 г. – $0,57 \times 10^2$ Бк/кг, что более чем в 2 раза превышает результат 2010 г.

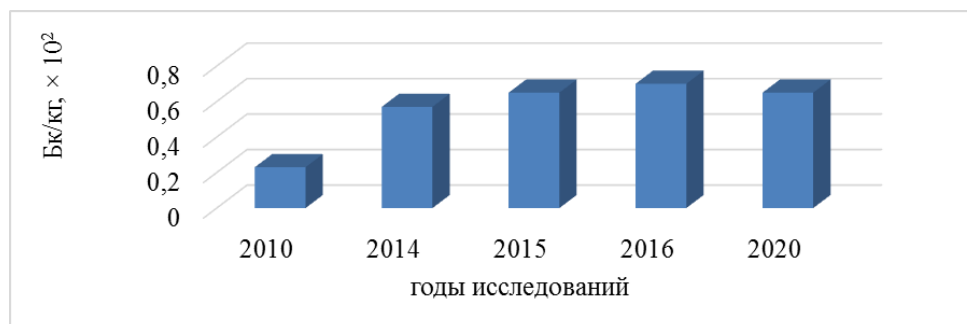


Рис. 3. Удельная активность ⁹⁰Sr в плодах крыжовника в опыте для варианта 1

В следующие годы исследований накопление изучаемого радионуклида происходит менее интенсивно.

Во втором варианте опыта нуклид заглублен в почву, и характер его «поведения» изменился. Причем это «поведение» в первую очередь связано с взаимным расположением корневой системы изучаемого кустарника и нуклида в почве.

В начальный период наблюдений содержание ^{90}Sr в ягодах не высокое. Корневая система кустарника пока не сильно развита и не глубоко

находится в почве. Контакт нуклида с корнями растения пока очень слабый. С течением времени куст увеличивает надземную и подземную массу, корни глубже проникают в почву и, контакт их с нуклидом становится более тесным (рис. 4).

Различие в накоплении нуклида в плодах крыжовника за годы исследований в варианте 2 в динамике между 2010 г. и следующими годами наблюдений (2014, 2015, 2016, 2020) составило 2,4; 2,9; 3,5 и 3,8 раза.



Рис. 4. Удельная активность ^{90}Sr в плодах крыжовника в опыте для варианта 2

Динамика накопления ^{90}Sr в ягодах и листьях изучаемого плодового кустарника в варианте 2 похожа, но отличается по абсолютным величинам. В листьях накопилось больше. Полученный экспериментальный материал позволил сделать вывод об изучаемых вариантах агротехники возделывания крыжовника на радиоактивно загрязненной почве.

К 2020 г. больше ^{90}Sr накопилось в плодах крыжовника, выращиваемых на делянках первого варианта размещения нуклида. Однако, изучая полученный экспериментальный материал, легко заметить, что удельная активность ^{90}Sr в плодах крыжовника постепенно нивелируется по предлагаемым исследуемым вариантам. В качестве доказательства полученного вывода может быть сравнение удельной активности ^{90}Sr в плодах крыжовника в 2010 и в 2020 г., которая, соответственно, составляла 1,6 и в 1,2 раза.

Исследования по изучению динамики накопления ^{90}Sr в плодах крыжовника и определение тенденции в этом процессе следует продолжать. Только многолетние исследования смогут эту тенденцию точно определить. Также только на основе многолетних исследований возможна статистическая обработка материала с построением уравнений зависимости, поэтому следует продолжать исследования над этим растением.

Влияние глубины расположения ^{90}Sr в почве на его накопление в плодах крыжовника описано уравнением линейной регрессии (2)

$$Y = 2,78 + X \times 0,483 \text{ при } r = 0,99 \text{ F} = 98,4. \quad (2)$$

Выводы

Удельная активность ^{90}Sr в листьях крыжовника в варианте 1 больше, чем в варианте 2, различие составило в 2010, 2014, 2015, 2016 и 2020 гг., соответственно, в 2,8; 2,8; 2,6; 2,4 и 1,8 раза.

В динамике за весь период исследований в листьях и плодах крыжовника в первом варианте опыта сначала происходит увеличение содержания нуклида, а затем снижение.

Во втором варианте опыта содержание ^{90}Sr в листьях и плодах изучаемого кустарника в течение всего периода исследований увеличивается.

В первом варианте опыта в плодах крыжовника накопление ^{90}Sr было выше, чем во втором, различие в 2010, 2014, 2015, 2016 и 2020 гг. составило, соответственно, в 1,6; 1,7; 1,6; 1,4 и 1,2 раза.

Библиографический список

1. Мельченко, А. И. Изучение миграционных особенностей ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах плодового ценоза / А. И. Мельченко, В. А. Мельченко,

А. А. Подгорная. – Текст: непосредственный // 33-я научная конференция студентов и молодых ученых вузов Южного Федерального округа. – Краснодар, 2006. – С. 101.

2. Терпелец, В. И. Гумусное состояние чернозема выщелоченного в агроценозах Азово-Кубанской низменности: монография / В. И. Терпелец, Ю. С. Плитинь. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 127 с. – Текст: непосредственный.

3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – Москва: Колос, 1968. – 336 с. – Текст: непосредственный.

4. Булгаков, А. А. Моделирование накопления Cs-137 и Sr-90 при различном вертикальном распределении радионуклида в почве / А. А. Булгаков, А. А. Коноплев, П. Авила. – Текст: непосредственный // Проблемы экологического лесоустройства на Украинском Полесье. – Житомир, Вольтинь, 2000. – Вып. 1 (7). – С. 61-67.

5. Богдевич, И.М. Вертикальная миграция радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах земель запаса и доступность их растениям / И. М. Богдевич. – Текст: непосредственный // Известия национальной академии наук Беларуси, серия аграрных наук. – 2013. – № 3. – С. 58-70.

6. Zhu Y.G., Shaw G. (2000). Soil contamination with radionuclides and potential remediation. *Chemosphere*. 41 (1-2): 121-128. DOI: 10.1016/S0045-6535(99)00398-7.

7. Albrecht, A., Schultze, U., Liedgens, M., et al. (2002). Incorporating soil structure and root distribution into plant uptake models for radionuclides: toward a more physically based transfer model. *Journal of Environmental Radioactivity*. 59. 329-50. DOI: 10.1016/S0265-931X(01)00082-0.

8. Hegazy, A., Afifi, Y., Alatar, A., et al. (2013). Soil characteristics influence the radionuclide uptake of different plant species. *Chemistry and Ecology*. 29. DOI: 10.1080/02757540.2012.744827.

9. Мельченко, А. И. Миграция радионуклидов в агроэкоценозах в условиях лесостепной и степной черноземной биогеохимической зоны юга России: диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук: 03.02.08, 03.02.13 / Мельченко Александр Иванович. – Владимир, 2017. – 395 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Melchenko, A. I. Izuchenie migratsionnykh osobennosti ^{90}Sr i ^{137}Cs v pochvakh plodovogo tsenoza / A. I. Melchenko, V. A. Melchenko, A. A. Podgornaia // 33 nauchnaia konferentsiia studentov i molodykh uchenykh vuzov luzhnogo Federalnogo okruga. – Krasnodar, 2006. – S. 101.

2. Terpelets, V. I. Gumusnoe sostoianie chernozema vyshchelochennogo v agrotsenozakh Azovo-Kubanskoi nizmennosti: monografiia / V. I. Terpelets, Iu. S. Plitin. – Krasnodar: KubGAU, 2015. – 127 s.

3. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta / B. A. Dospekhov. – Moskva: Kolos, 1968. – 336 s.

4. Bulgakov, A. A. Modelirovanie nakopleniia Cs-137 i Sr-90 pri razlichnom vertikalnom raspredelenii radionuklida v pochve / A. A. Bulgakov, A. A. Konoplev, P. Avila // Problemy ekologicheskogo lesoustroistva na Ukrainskom Polese. – Zhitomir: Volyn, 2000. – Vyp. 1 (7). – S. 61-67.

5. Bogdevich, I.M. Vertikalnaia migratsiia radionuklidov ^{137}Cs i ^{90}Sr v pochvakh zemel zapasa i dostupnost ikh rasteniiam / I. M. Bogdevich // Izvestiia natsionalnoi akademii nauk Belarusi, seriia agrarnykh nauk. – 2013. – No. 3. – S. 58-70.

6. Zhu Y.G., Shaw G. (2000). Soil contamination with radionuclides and potential remediation. *Chemosphere*. 41 (1-2): 121-128. DOI: 10.1016/S0045-6535(99)00398-7.

7. Albrecht, A., Schultze, U., Liedgens, M., et al. (2002). Incorporating soil structure and root distribution into plant uptake models for radionuclides: toward a more physically based transfer model. *Journal of Environmental Radioactivity*. 59. 329-50. DOI: 10.1016/S0265-931X(01)00082-0.

8. Hegazy, A., Afifi, Y., Alatar, A., et al. (2013). Soil characteristics influence the radionuclide uptake of different plant species. *Chemistry and Ecology*. 29. DOI: 10.1080/02757540.2012.744827.

9. Melchenko, A. I. Migratsiia radionuklidov v agroekotsenozakh v usloviakh lesostepnoi i stepnoi chernozemnoi biogeokhimicheskoi zony iuga Ros-sii: dissertatsiia ... doktora biologicheskikh nauk: 03.02.08, 03.02.13 / Melchenko Aleksandr Ivanovich. – Vladimir, 2017. – 395 s.

