



УДК 502.37:632.1:631.45

DOI 10.18413/2075-4671-2018-42-3-459-466

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ
НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ
НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РФ**

**THE EFFECTIVENESS OF REHABILITATION MEASURES
ON RADIOACTIVELY CONTAMINATED SODDY-PODZOLIC SOILS
OF NONCHERNOZEM ZONE OF RUSSIAN FEDERATION**

**А.Н. Ратников, С.П. Арышева, Д.Г. Свириденко, Г.И. Попова,
К.В. Петров, Л.И. Ратникова
A.N. Ratnikov, S.P. Arysheva, D.G. Sviridenko, G.I. Popova,
K.V. Petrov, L.I. Ratnikova**

Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии,
Россия, 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км

Russian Institute of Radiology and Agroecology,
109 km Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia

E-mail: ratnikov-51@mail.ru; arysheva_sv@mail.ru

Аннотация

В статье дана оценка влияния реабилитационных мероприятий в хозяйстве Ульяновского района Калужской области на старопахотных угодьях на количественные показатели миграции ^{137}Cs по трофической цепочке (почва – растения – животные – человек). Действие реабилитационных мероприятий направлено на повышение плодородия почв, продуктивности растений и снижение миграции ^{137}Cs по трофической цепочке. Максимальное снижение перехода ^{137}Cs из почвы в озимую пшеницу (2.3 раза) наблюдалось при комплексном окультуривании почвы (внесение извести, фосфоритной муки, навоза и калийных удобрений). В отдаленный период после аварии на ЧАЭС количественные параметры переноса ^{137}Cs по трофической цепочке определяются уровнем плодородия почв, а также интенсивностью и объемом реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве. Агрохимические мероприятия, направленные на повышение плодородия почвы, снижали содержание ^{137}Cs в зерне до 3 раз, а также заметно влияли на интенсивность азотфиксации и потенциальную активность дыхания почвы. Максимальная кратность снижения активности азотфиксации отмечалась при обработке почвы известкованием, а минимальная – при комплексном окультуривании почвы. Потенциальная активность дыхания почвы превышала контроль в 2 раза в осенний и зимний периоды при обработке с внесением фосфоритной муки или с применением калийных удобрений.

Abstract

In the article, it has been estimated the influence of rehabilitation measures on the farm of Ulyanovsk district of Kaluga region on long-arable lands on the quantitative indicators of the migration of ^{137}Cs in the food chain (soil – plants – animals – man). The effect of rehabilitation measures aimed at improving of soil fertility, plant productivity and reducing the migration of ^{137}Cs in the food chain. The maximum reduction in the transition of ^{137}Cs from soil to winter wheat (2.3 times) was observed in the complex cultivation of the soil (application of lime, phosphorus flour, and manure and potassium fertilizers). In the long-term period after the Chernobyl accident, the quantitative ^{137}Cs transfer parameters along the trophic chain are determined by the level of soil fertility and intensity and volume of rehabilitation measures in the agricultural sector. Agrochemical measures aimed at increasing soil fertility, reduced the content of ^{137}Cs in the grain to three times, and significantly influenced the intensity of nitrogen fixation and the potential activity of soil respiration. The maximum multiplicity of reducing the activity of nitrogen



fixation was noted in the variant with liming, and the minimum – in the complex cultivation of the soil. The potential activity of soil respiration exceeded the control by two times in the autumn and winter periods in variants with the introduction of phosphorite flour or with the use of potassium fertilizers.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, коэффициент перехода ^{137}Cs , дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, биологическая активность почвы, озимая пшеница, урожайность.

Keywords: radioactive contamination, transfer coefficient ^{137}Cs , soddy-podzolic light loamy soil, soil biological activity, winter wheat, yield.

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС десять районов Калужской области общей площадью около 4000 км² подверглись радиоактивному загрязнению; особенно пострадали Ульяновский, Хвастовичский и Жиздринский районы [Рекомендации..., 1997; Титов и др., 2012]. В 1986–1988 гг. реабилитационные мероприятия в агропромышленном производстве Калужской области проводились наиболее интенсивно, в 1989–1992 гг. – в оптимальных размерах, с 1993 г. объемы работ резко сократились. В 1995 г. в Ульяновском районе известкование почв было проведено на 9 % площади, требующей обработки. Ежегодное внесение калийных удобрений составляло 10–20 % от нормы, рекомендуемой на загрязненных территориях. В Ульяновском районе вносили 6 кг д.в. минеральных удобрений на 1 га посевов. Органические удобрения внесены в дозе 0.6–1.5 т/га [Ратников и др., 2006, Жигарева и др., 2012]. Поэтому риск получения кормов и, следовательно, молока с содержанием ^{137}Cs , не соответствующим радиологическим нормативам, существует в хозяйствах и населенных пунктах этих районов.

Проблема получения продукции растениеводства (в частности кормов), отвечающей радиологическим стандартам, в условиях недостаточного финансирования защитных мероприятий требует особого внимания. К проведению реабилитационных мероприятий необходим адресный подход, основанный на изучении и анализе радиационной обстановки, закономерности поведения радионуклидов в агроценозах и оценки риска получения сверхнормативно загрязненной продукции растениеводства [Реестр..., 2009; Fesenko et.c., 2006; 2007]. Особенностью отдаленного периода после аварии на ЧАЭС является введение жестких – «доаварийных» – санитарно-гигиенических нормативов на сельскохозяйственную продукцию, получаемую на загрязненных угодьях [Продовольственное..., 2001, Об утверждении..., 2010].

В связи с этим проведена оценка влияния реабилитационных мероприятий на количественные показатели миграции ^{137}Cs по трофической цепочке (почва – растения – животные – человек) в хозяйстве Ульяновского района Калужской области на старопахотных угодьях. Действие реабилитационных мероприятий направлено на повышение плодородия почв, продуктивности растений и снижение миграции ^{137}Cs по трофической цепочке.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в полевом опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой слабосмьгтой почве, где изучали действие агрохимических приемов в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур на переход ^{137}Cs в продукцию растениеводства и потенциальную активность азотфиксации и дыхания почвы. Почвы южных районов Калужской области, подвергшиеся после аварии на ЧАЭС наибольшему радиоактивному загрязнению, имеют низкий уровень плодородия, особенно по таким показателям, как содержание обменного калия и подвижных форм фосфора.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя (0-20 см) дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почвы следующая: pH_{KCl} – 5.1; содержание гумуса – 1.31; содержание подвижного фосфора – 39, обменного калия – 67 мг/кг почвы; содержание обменного кальция и магния 6.0 и 0.59 мг.-экв/100 г почвы соответственно; гидролитическая кислотность – 2.34 мг.-экв/100 г почвы. В почву вносили весной до вспашки известь в количестве 6.5 т/га; навоз 60 т/га; калийные удобрения (K₂O)(KCl) 380 кг/га; после вспашки – фосфоритную муку в дозе 2.1 т/га. Размер делянок 10×100 м. Повторность четырехкратная. Делянки расположены блоками с расстоянием между ними 50 м. Плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs 187±21 кБк/м². Опытная культура – озимая пшеница сорта «Заря». Планирование полевого опыта и анализ структуры урожая после уборки пшеницы проводили по Доспехову [Доспехов, 1972]. Коэффициент перехода (Кп) ¹³⁷Cs рассчитывали так:

$$K_p = \frac{\text{Содержание радионуклида в растении (Бк/кг)}}{\text{Содержание подвижных форм радионуклида в почве (кБк/м}^2\text{)}}$$

Содержание ¹³⁷Cs в почве, растворах и растительном материале измеряли методом полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием детектора из сверхчистого германия (HPGe, ORTEC) и анализатора спектра IN 1200 (INTERTECHNIQUE) [Методические..., 1995]. Определение активности азотфиксации почвы проводили на газовом хроматографе (Модель 3700) с пламенно-ионизационным детектором ацетиленовым методом [Методы..., 1991], активность дыхания – на том же хроматографе с использованием детектора по теплопроводности по методике МГУ [Практикум..., 2001]. Статистическую обработку результатов исследований выполняли с использованием программы Microsoft Excel 2007 с 95 %-ным уровнем значимости результатов.

Результаты и их обсуждение

Получение стабильных урожаев сельскохозяйственных культур лимитируется элементами питания растений, содержащимися в почве в минимуме. Анализ факторов, определяющих интенсивность миграции ¹³⁷Cs в системе почва–растения в отдаленный период после радиационной аварии, показал, что существует зависимость между накоплением радионуклида в растениях и его подвижностью в почве. Коэффициент корреляции (R) между количеством обменного ¹³⁷Cs (вытесняемого раствором NH₃COONH₄) в почве и его содержанием в зерне ячменя равен + 0.73, а для овса + 0.68 [Жигарева и др., 2003]. Реабилитационные мероприятия на пахотных угодьях позволяют повысить уровень плодородия и уменьшить подвижность ¹³⁷Cs в почве за счет более прочной фиксации радионуклида ППК.

Применение комплекса агрохимических мероприятий при возделывании озимой пшеницы приводило к повышению показателей плодородия почвы и увеличению урожайности зерна. Прибавка урожая в засушливый год составила 4.1–10.7 ц/га (табл. 1), а при благоприятных погодных условиях – 20–35 ц/га [Жигарева и др., 2003].

Предшественником озимой пшеницы в севообороте служили многолетние травы. Плужная обработка дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы после трав способствовала увеличению содержания гумуса и подвижных форм фосфора за счет разложения корневых остатков и стерни. Однократное внесение 60 т/га органических удобрений не вызывало резкого увеличения содержания гумуса в почве в конце вегетационного периода. Содержание гумуса при комплексном окультуривании почвы повышалось на 14 %.

Таблица 1
Table 1

Влияние агрохимических мероприятий на переход ^{137}Cs в озимую пшеницу сорта Заря
The influence of agrochemical measures of transition ^{137}Cs in winter wheat variety Zarya

Агрохимические мероприятия	Урожай зерна, ц/га	Кп ^{137}Cs	Вынос ^{137}Cs , Бк/м ² п 10 ⁻²
Контроль	11.6	0.08	0.87
Известь	16.4	0.05	0.87
Фосфоритная мука	15.7	0.07	1.04
Ку	16.6	0.04	0.61
Навоз	18.8	0.05	0.96
Навоз + известь	17.3	0.05	0.78
Навоз + Ку	19.9	0.04	0.78
Навоз + фосфоритная мука	18.5	0.05	0.94
Навоз + известь + Ку	18.9	0.04	0.68
Навоз + известь + фосфоритная мука + Ку	22.3	0.03	0.74
НСР ₀₅	1.8	0.005	

Содержание подвижного фосфора после агрохимических приемов повышалось на 12.5–81 мг/кг почвы. Особенно значительные изменения фосфатного режима происходили при внесении 2.05 т/га фосфоритной муки и совместном внесении всех испытываемых мелиорантов. Применение высоких доз калийных удобрений (380 кг/га) на почвах с низким уровнем плодородия приводило к незначительному увеличению содержания обменного калия (на 13–23 мг/кг почвы).

Экспериментальная оценка эффективности агрохимических приемов при возделывании озимой пшеницы показала, что внесение только навоза или навоза с известью и калийными удобрениями повышало урожай озимой пшеницы в 1.6 – 1.7 раза по сравнению с контролем, а комплексное применение всех удобрений и агроулучшителей – практически в 2 раза.

Раздельное внесение извести и фосфоритной муки снижало содержание ^{137}Cs в зерне озимой пшеницы в 1.1–1.4 раза (табл. 1). При фосфоритовании дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы вынос ^{137}Cs с зерном пшеницы возрастал в 1.2 раза. Содержание ^{137}Cs в зерне при внесении навоза было в 1.5 раза ниже, чем на удобренной почве, но за счет прибавки урожая (+7,2 ц/га) поток радионуклида (Бк/м²) с единицы площади увеличивался в 1.1 раза. Эффективность известкования и фосфоритования по ограничению перехода ^{137}Cs в растения на фоне навоза возрастала до 1.7 раза.

Переход Кп ^{137}Cs из почвы в зерно озимой пшеницы снижался до 2-х раз как при внесении одних калийных удобрений, так и при их внесении вместе с навозом. Был получен положительный эффект и по критерию выноса (Бк/м²) с урожаем. Накопление ^{137}Cs в зерне при комплексном внесении навоза, извести, калийных удобрений было в 2.1 раза меньше, чем на удобренной почве. Максимальный эффект по ограничению перехода ^{137}Cs из почвы в озимую пшеницу наблюдался при комплексном окультуривании почвы (внесение извести, фосфоритной муки, навоза и Ку под основную и предпосевную обработку почвы) и составил 2.3 раза.

Агрохимические приемы заметно влияли на интенсивность азотфиксации и потенциальную активность дыхания почвы (рис. 1 а-б).

Уровень азотфиксации в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве крайне низок. Применение одновременно агроулучшителей и калийных удобрений способствовало снижению уровня азотфиксации в почве в 1.2–1.9 раза (04.09).

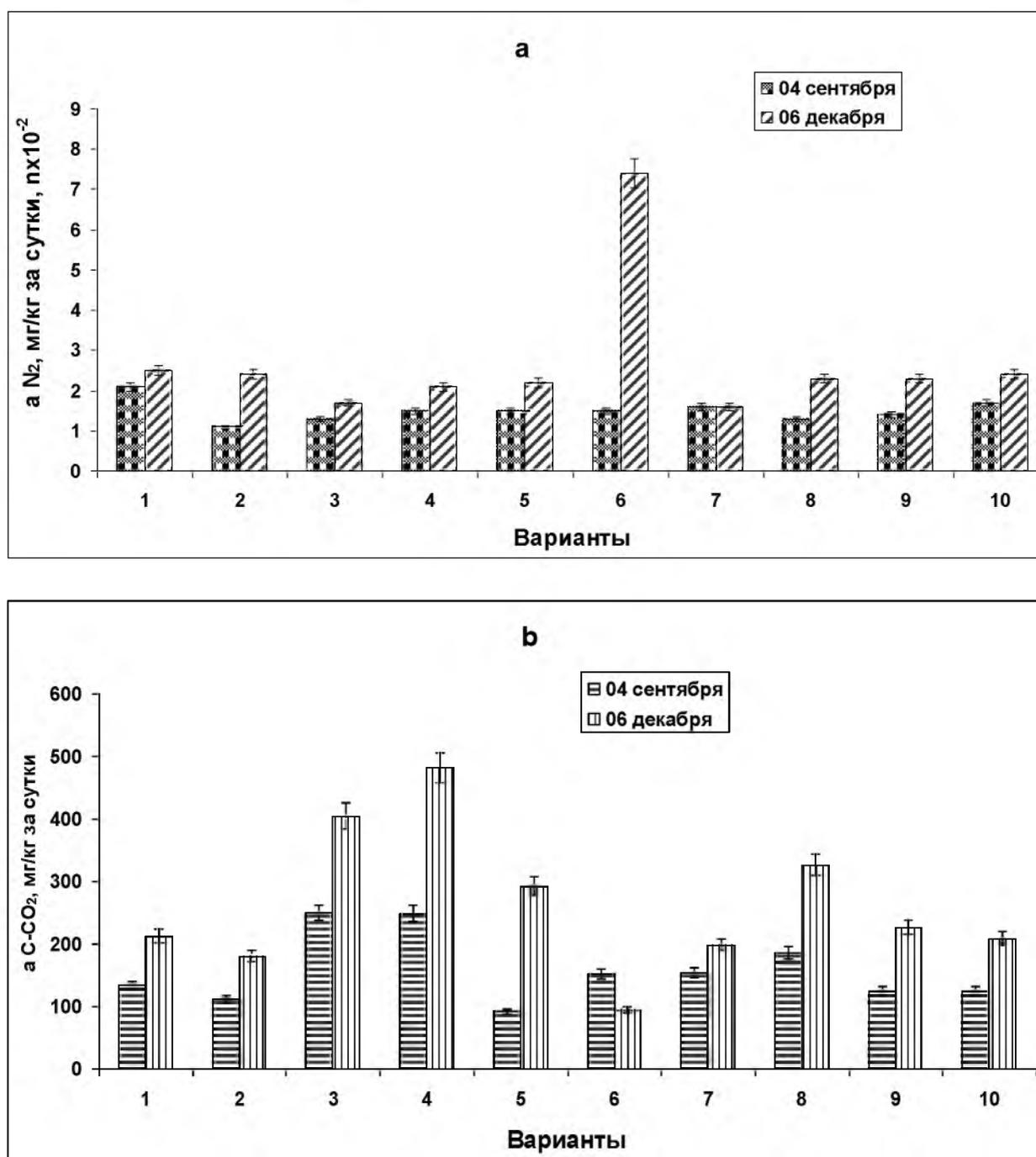


Рис. 1. Влияние агрохимических мероприятий на биологическую активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы: а – потенциальная активность азотфиксации, б – потенциальная активность дыхания почвы.

1. Контроль; 2. Известь; 3. Фосфоритная мука; 4. Ку; 5. Навоз; 6. Навоз + известь; 7. Навоз + Ку; 8. Навоз + фосфоритная мука; 9. Навоз + известь + Ку; 10. Навоз + известь + фосфоритная мука + Ку.

Различия статистически значимы при $P < 0.05$

Fig. 1. Influence of agrochemical measures on biological activity of soddy-podzolic light loamy soil: а – potential activity of nitrogen fixation, б – potential activity of soil respiration

1. Control; 2. Lime; 3. Phosphorite flour; 4. Potassium fertilizers; 5. Manure; 6. Manure + lime; 7. Manure + potassium fertilizers; 8. Manure + phosphorite flour; 9. Manure + lime + potassium fertilizers; 10. Manure + lime + phosphorite flour + potassium fertilizers. $P < 0.05$



Уровень азотфиксации в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве крайне низок. Применение одновременно агроメリорантов и калийных удобрений способствовало снижению уровня азотфиксации в почве в 1.2–1.9 раза (04.09). Максимальная кратность снижения активности азотфиксации отмечалась в варианте с известкованием, а минимальная – при комплексном окультуривании почвы. В более поздний период наблюдений (06.12) было отмечено, что при раздельном внесении извести, фосфоритной муки, навоза и калийных удобрений уровень азотфиксации на 4–36 % был ниже, чем в контроле. При совместном внесении навоза и калийных удобрений установлено достоверное ($НСР_{05} = 0.002$ мг N_2 /кг почвы за сутки) ингибирование азотфиксации как в осенний период, так и в начале зимнего.

Известкование и раздельное внесение навоза снижало скорость эмиссии CO_2 в почве осенью и в зимний период по сравнению с контролем соответственно в 1.2 и 1.4 раза. $НСР_{05} = 20$ мг $C-CO_2$ /кг почвы за сутки. Применение фосфоритной муки и калийных удобрений стимулировало активность дыхания почвы. Совместное использование навоза и фосфоритной муки увеличивало скорость эмиссии CO_2 в почве в 1.4 раза. Наблюдалось снижение активности дыхания почвы при тройной комбинации удобрений и комплексном окультуривании почвы осенью (04.09). В начале зимнего периода активность дыхания почвы при раздельном внесении навоза, фосфоритной муки и калийных удобрений возрастала в 1.4–2.3 раза (06.12). Разложение органического вещества почвы при совместном применении навоза и извести замедляется по сравнению с неудобренной почвой в 2.2 раза. Внесение навоза в сочетании с фосфоритной мукой стимулировало дыхание почвы в 1.5 раза. Однако эффект был ниже, чем от действия одной фосфоритной муки. Использование тройной комбинации (навоз + известь + K_2O) и комплексного применения удобрений на скорость разрушения органического вещества почвы не проявилось (по сравнению с неудобренной почвой) во все сроки наблюдений.

Заключение

Результаты исследований свидетельствуют о том, что на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах Калужской области в отдаленный период после аварии на ЧАЭС количественные параметры переноса ^{137}Cs по трофической цепочке определяются уровнем плодородия почв, интенсивностью и объемом реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве. Максимальное снижение перехода ^{137}Cs из почвы в зерно озимой пшеницы сорта Заря (2.3 раза) наблюдалось при комплексном окультуривании почвы. Агрохимические мероприятия, направленные на повышение плодородия почвы, снижали накопление ^{137}Cs в зерне озимой пшеницы до 3.0 раза, а также заметно влияли на интенсивность азотфиксации и потенциальную активность дыхания почвы. Максимальная кратность снижения активности азотфиксации отмечалась при обработке почвы известкованием, а минимальная – при комплексном окультуривании почвы. Потенциальная активность дыхания почвы превышала контроль в 2 раза в осенний и зимний периоды в вариантах с внесением фосфоритной муки или с применением калийных удобрений.

Список литературы

References

1. Доспехов Б.А. 1972. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных. М., Колос, 207.
Dospikhov B.A. 1972. The planning of field experience and statistical processing of its data. M., Kolos, 207. (in Russian)



2. Жигарева Т.Л., Ратников А.Н., Алексахин Р.М., Попова Г.И., Петров К.В., Белоус Н.М., Куриленко А.Т. 2003. Влияние технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур на накопление ^{137}Cs в урожае. *Агрохимия*, 10: 67–74.

Zhigareva T.L., Ratnikov A.N., Aleksakhin R.M., Popov G.I., Petrov K.V., Belous N.M., Kurylenko A.T. 2003. Influence of processing methods of cultivation of crops on accumulation of ^{137}Cs in a harvest. *Agrochemistry*, 10: 67–74. (in Russian)

3. Жигарева Т.Л., Ратников А.Н., Санжарова Н.И., Свириденко Д.Г., Попова Г.И., Петров К.В., Мазуров В.Н. 2012. Реабилитация сельскохозяйственных угодий, подвергшихся техногенному загрязнению. В кн.: Доклады научно-практической конференции, посвященной 40-летию основания ГНУ ВНИИСХРАЭ РАСХН (место проведения конференции, даты). Издательство ООО «Раритет», Обнинск: 218–229.

Zhigareva T.L., Ratnikov A.N., Sanzharova N.I., Sviridenko D.G., Popova G.I., Petrov K.V., Mazurov V.N. 2012. Rehabilitation of the agricultural grounds which have undergone technogenic pollution. In: Reports of the scientific and practical conference devoted to the 40 anniversary of the basis of RIARAE of Russian Academy of Agrarian Sciences (venue of a conference, date). Publishing house Raritet, Obninsk: 218–229. (in Russian)

4. Методические указания по обследованию почв сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства на содержание тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов и радионуклидов. М., ЦИНАО, 1995, 45.

Methodical instructions on inspection of soils of agricultural grounds and production of crop production on the content of heavy metals, residual amounts of pesticides and radionuclides. M., CINAO, 1995, 45. (in Russian)

5. Методы микробиологии и биохимии почв / ред. Д.Г. Звягинцева. М., МГУ, 1991, 304.

Methods of microbiology and biochemistry of soils / Ed. D.G. Zvyagintsev. Moscow, Moscow State University, 1991, 304. (in Russian)

6. Об утверждении СанПиН 2.3.2.2650-10 «Дополнения и изменения № 18 к санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.3.2.1078-01» Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.06.2010 № 71.

About a statement the SanPiN 2.3.2.2650-10 «Additions and changes № 18 to sanitary and epidemiologic rules and standards the SanPiN 2.3.2.1078-01 «Hygienic requirements of safety and nutrition value of foodstuff. Resolution of the Chief state health officer of the Russian Federation of 28.06.2010 № 71. (in Russian)

7. Практикум по агрохимии / ред. В.Г. Минеева. М., МГУ, 2001, 689.

Workshop on agrochemistry / Ed. V.G. Mineev. M., MSU, 2001, 689. (in Russian)

8. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01. Постановление главного государственного санитарного врача РФ от 14.11.2001 года № 36 (с изменениями на 6.06.2011 года).

Food staples and foodstuff. Hygienic requirements of safety and nutrition value of foodstuff. Sanitary and epidemiologic rules and standards SanPiN 2.3.2.1078-01. The resolution of the Chief state health officer of the Russian Federation of 14.11. 2001 № 36 (with changes for 6.06.2011). (in Russian)

99. Ратников А.Н., Попова Г.И., Жигарева Т.Л., Свириденко Д.Г., Петров К.В., Васильев А.В., Краснова Е.Г. 2006. Оценка влияния реабилитационных мероприятий на поведение ^{137}Cs в сельскохозяйственных экосистемах и снижение дозы внутреннего облучения населения южных районов Калужской области. В кн.: Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Вып. 9. Калуга: 249–267.

Ratnikov A.N., Popova G.I., Zhigareva T.L., Sviridenko D.G., Petrov K.V., Vasilyev A.V., Krasnova E. G. 2006. Assessment of influence of rehabilitation actions on behavior ^{137}Cs in agricultural ecosystems and decrease in a dose of internal radiation of the population of the southern areas of the Kaluga region. In: Works of a regional competition of scientific projects in the field of natural sciences. Iss. 9. Kaluga: 249–267. (in Russian)

10. Реестр технологических приемов восстановления техногенно нарушенных сельскохозяйственных земель. Обнинск, ГНУ ВНИИСХРАЭ РАСХН, 2009, 106.

The registry technological methods of recovery of man-disturbed agricultural lands. Obninsk, RIARAE, 2009, 106. (in Russian)



11. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на радиоактивнозагрязненной территории Калужской области. 1997 / Под ред. Р.М. Алексахина. Обнинск-Москва, 130 с.

Recommendations for management of agricultural production on radioactive-actively contaminated areas of the Kaluga region. / Ed. R.M. Alexahin. Moscow, 130 p. (in Russian)

12. Титов И.Е., Шубина О.А., Санжарова Н.И., Жигарева Т.Л., Кузнецов В.К. 2012. Апробация технологий реабилитации сельскохозяйственных угодий с высокими уровнями радиоактивного загрязнения, временно выведенных из землепользования после аварии на ЧАЭС. Радиация и риск, 21 (2): 33–38.

Titov I.E., Choubina O.A., Sanzharova N.I., Zhigareva T.L., Kuznetsov V.K. 2012. Approbation of technologies of rehabilitation of the agricultural grounds with high levels of radioactive pollution, which are temporarily brought out of land use after accident on the CNPP. Radiation and risk, 21 (2): 33–38. (in Russian)

13. Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Balonov M.I., Bogdevich I.M., Howard B.J., Kashparov V.A., Sanzharova N.I., Voigh G., Zhuchenko Yu.M. 2006. Consequences for agriculture. Nuclear engineering International, 51 (620): 34–37.

14. Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Balonov M.I., Bogdevich I.M., Howard B.J., Kashparov V.A., Sanzharova N.I., Panov A.V., Voigt G., Zhuchenko Yu.M. 2007. An extended critical review of twenty years of countermeasures used in agriculture after the Chernobyl accident. Science of the Total Environment, 383 (1–3): 1–24.

Ссылка для цитирования статьи

Reference to article

Ратников А.Н., Арышева С.П., Свириденко Д.Г., Попова Г.И., Петров К.В., Ратникова Л.И. Эффективность реабилитационных мероприятий на радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых почвах нечерноземной зоны РФ // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, №3. С. 459-466. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-459-466

Ratnikov A.N., Arysheva S.P., Sviridenko D.G., Popova G.I., Petrov K.V., Ratnikova L.I. The Effectiveness of Rehabilitation Measures on Radioactively Contaminated Soddy-Podzolic Soils of Nonchernozem Zone of Russian Federation // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series. 2018. V. 42, №3. P. 459-466. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-459-466