УДК 504.61:351.78:614

ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА ПОЙМЕННЫХ ЛУГАХ РЕК ДНЕПР И СОЖ НА ТЕРРИТОРИИ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. Н. АГЕЕВА, Т. П. ШАПШЕЕВА

Могилевский филиал РНИУП «Институт радиологии»
г. Могилев, Беларусь, 212011 e-mail: ageeva.tam@yandex.by

А. В. ЩУР

ГУВПО «Белорусско-Российский университет»
г. Могилев, Беларусь, 212000

(Поступила в редакцию 03.10.2016)

На территории Могилевской области в результате аварии на Чернобыльской АЭС обширные пойменные луга рек Днепр и Сож загрязнены ^{137}Cs. В долине р. Днепр плотность загрязнения почв в основном не превышает 370,0 кБк/м^2, в долине р. Сож – колеблется от 37,0 до 1480,0 кБк/м^2 и выше. Даже при невысокой плотности радиоактивного загрязнения пойменные луга становятся источником получения кормов с повышенным содержанием радионуклидов. В статье представлены результаты радиоэкологического обследования пойменных лугов реки Днепр на территории Быховского района и р. Сож на территории Славгородского и Чериковского районов в отдаленный после аварии период. Показаны прогноз загрязнения ^{137}Cs зеленой массы на разных участках пойменных лугов и фактическое содержание ^{137}Cs в травостое, характеристика почвенного покрова и уровни загрязнения почв ^{137}Cs на разных элементах рельефа, влияние условий почвенной среды на переход радионуклидов в растения. Отмечено, что на переувлажненных торфяно-болотных и песчаных почвах с очень низким содержанием обменного калия до настоящего времени регистрируется зеленая масса с содержанием ^{137}Cs выше допустимого уровня (165 Бк/кг) даже при относительно невысокой плотности радиоактивного загрязнения почв.

Ключевые слова: *пойменные луга, радиоактивное загрязнение, прогноз, травостой, коэффициенты перехода.*

On the territory of Mogilev region as a result of the Chernobyl nuclear disaster, vast floodplain meadows of the rivers Dnieper and Sozh were contaminated with ^{137}Cs. In the valley of the Dnieper, the density of soil contamination usually does not exceed 370.0 kBq / m^2, in the valley of the Sozh – ranges from 37.0 to 1480.0 kBq / m^2 and above. Even with low density of radioactive contamination, floodplain meadows become sources of feeds with a high content of radionuclides. The article presents results of radiological examination of floodplain meadows of the Dnieper on the territory of Bykhov district and the Sozh on the territory of Slavgorod and Cherikov districts in the period long after the accident. We have shown forecast of pollution of green mass by ^{137}Cs in different parts of floodplain meadows and the actual concentration of ^{137}Cs in grasses, soil surface characteristics and ^{137}Cs soil contamination levels at different relief elements, the influence of soil conditions on the transition of radionuclides into plants. We have noted that on water-logged peat swamp and sandy soils with a very low content of exchangeable potassium, there is still green mass with the content of ^{137}Cs above the permissible level (165 Bq / kg), even with a relatively low density of radioactive contamination of soils.

Keywords: *floodplain meadows, radioactive contamination, forecast, herbage, transition coefficients.*

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС почти третья часть территории Могилевской области подверглась радиоактивному загрязнению, в том числе естественные кормовые угодья пойменных лугов. Пойма является важнейшей из экосистем, используемых в качестве сенокосно-пастбищных угодий. Радионуклиды, активно накапливаясь растениями, стали неотъемлемым звеном пищевых цепей и источником внутреннего облучения человека [1, 2].

На территории Могилевской области наиболее обширные пойменные луга расположены в долинах рек Днепр и Сож. Загрязненные радионуклидами пойменные луга р. Днепр расположены в основном на территории Быховского района. Их общая площадь составляет около 10,3 тыс. гектаров. Плотность загрязнения почв ^{137}Cs не превышает 370,0 кБк/м^2. Сельскохозяйственная освоенность достигает 70 % и более. Здесь еще сохранились улучшенные сенокосы и пастбища, созданные в результате осушения заболоченных земель с целью обеспечения животноводства кормовой базой. Даже при низкой плотности радиоактивного загрязнения пойменные луга могут быть источником получения кормов с повышенным содержанием радионуклидов. Загрязненные радионуклидами пойменные луга р. Сож расположены в основном на территории Славгородского и Чериковского районов. Их общая площадь составляет примерно 10,5 тыс. гектаров. Небольшие участки имеются в Климовичском (0,3 тыс. гектаров) и Кричевском (0,54 тыс. гектаров) районе. Плотность загрязнения почв ^{137}Cs колебалась от 37,0 до 1480,0 кБк/м^2 и выше. В связи с высокой плотностью загрязнения и невозможностью получения продукции, загрязненной радионуклидами в пределах допустимых уровней, большая часть пойменных земель (около 7,1 тыс. гектаров) была выведена из сельскохозяйственного использования.

Поймы относятся к динамичным типам ландшафтов из-за ежегодного затопления и перераспределения вещества дождевыми и паводковыми водами. Общая картина радионуклидного загрязнения экосистем речных долин подвергается необратимым изменениям вследствие радиоактивного распада, перераспределения радионуклидов по ландшафтно-геохимическому профилю и выноса их в составе речного стока [2–6]. Большое разнообразие почвенно-геохимических условий на пойменных землях влияет на горизонтальную и вертикальную миграцию ^{137}Cs, а также на его доступность растениям. К местам возможных концентраций радионуклидов в речных долинах относятся: притеррасная пойма, понижения и прибрежья вторичных водоемов центральной поймы, подножья склонов и устьевые участки мелких притоков, старицы, заболоченные участки [2, 3].

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

Высокие переходы радионуклидов в растительность пойменных лугов связаны с агрохимическими свойствами и водным режимом почв, а также с особенностями формирования ботанического состава травостоя. Краткосрочное или длительное весеннее затопление способствует увеличению в структуре травостоя малоценных в кормовом отношении видов трав, отличающихся высокими уровнями накопления радионуклидов [1, 2]. В связи с выше изложенным при оценке радиологической ситуации на пойменных землях необходимо учитывать не только уровень загрязнения, но и рельефные особенности пойменных экосистем и структуру их фитоценозов.

Постоянная миграция, концентрация и рассеяние радионуклидов, обусловленные вовлечением их в пойменное почвообразование, а также естественный распад и фиксация ^{137}Cs почвенно-поглощающим комплексом изменяют радиоэкологическую обстановку в пойменных экосистемах. Поэтому целью работы было изучение радиоэкологической ситуации на пойменных лугах в отдаленный после аварии на ЧАЭС период, оценка их пригодности для использования и уточнение коэффициентов перехода (К*п)* ^{137}Cs из почвы в растения.

Основная часть

Объектами исследований являлись: загрязненные радионуклидами пойменные луга в долинах р. Днепр и р. Сож; аллювиальные (пойменные) почвы разной степени увлажнения и гранулометрического состава; травостой пойменных лугов на различных элементах рельефа. При выполнении работы использовались картосхемы внутрихозяйственного землепользования сельскохозяйственных предприятий Быховского, Чериковского и Славгородского районов; результаты 11 и 12 тура агрохимического и радиологического обследования почв сельскохозяйственных организаций этих районов, выполненного УКПП «Могилевская областная проектно-изыскательская станция «Агрохимизация»» и картосхемы к ним. Для оценки радиоэкологической ситуации выполнен прогноз загрязнения 137Cs зеленой массы пойменных лугов с учетом данных последнего тура обследования в соответствии с имеющейся методикой [7]. Прогноз загрязнения зеленой массы выполнен в разрезе каждого элементарного участка в зависимости от его агрохимической характеристики. В летний период 2012 г. проведено обследование отдельных участков пойменных лугов, где по прогнозу возможно получение зеленой массы выше Республиканского допустимого уровня (РДУ) 165 Бк/кг или же, где она может быть в пределах от 100 до 165 Бк/кг. Были отобраны сопряженные пробы почв и зеленой массы для определения содержания 137Cs в них и уточнения параметров перехода. Изучен видовой состав травостоя на разных элементах рельефа и его урожайность, агрохимические свойства почв.

Удельная активность ^{137}Cs во всех почвенных и растительных образцах определялась с помощью гамма-бета спектрометра МКС-АТ1315. Спектрометр обеспечивает регистрацию минимальной активности 2 Бк/л (Бк/кг) по ^{137}Cs. Расчет коэффициентов перехода (К*п)* ^{137}Cs из почвы в растения (зеленую массу) проводился по общепринятой методике [7]. Агрохимические исследования образцов почвы выполнялись в лаборатории массовых анализов РНИУП «Институт радиологии».

В год проведения исследований наблюдался высокий уровень подъема паводковых вод. Продолжительность затопления поймы р. Днепр составила около 60 дней, р. Сож около 45 дней. В связи с обильными дождями во второй и третьей декаде июня (суммарное месячное количество выпавших осадков было в 1,7 раза выше среднего многолетнего), наблюдался вторичный подъем уровня воды в реках и мелиоративных каналах, что вызвало подтопление более низких участков пойменных лугов. Все это оказало неблагоприятное влияние на рост и развитие трав, сроки их созревания на разных частях поймы и способствовало повышению перехода радионуклидов из почвы в растения.

В Быховском районе почти все пойменные земли р. Днепр находятся на балансе сельскохозяйственных организаций и потенциально пригодны для заготовки кормов. Половина пойменных земель мелиорирована. Плотность загрязнения ^{137}Cs почв пойменных лугов р. Днепр по данным последнего тура обследования колебалась от 37,0 до 240,5 кБк/м^2. В соответствии с полученными прогнозными данными риск получения зеленой массы с содержанием ^{137}Cs выше РДУ (165 Бк/кг) в пойме р. Днепр невелик. По прогнозу лишь на площади в 42,2 га возможно производство кормов с повышенным содержанием радионуклида. В основном эти участки расположены в притеррасной части поймы и представлены торфяными почвами. Максимальное прогнозное содержание ^{137}Cs составило 207 Бк/кг. На площади 387,2 га возможно производство зеленой массы с содержанием ^{137}Cs в пределах от 100 до 164 Бк/кг. В большинстве случаев такие элементарные участки точечно разбросаны на всем протяжении пойменных лугов и представлены торфяными или связнопесчаными почвами. Среднее прогнозное содержание ^{137}Cs в зеленой массе пойменных лугов р. Днепр у разных землепользователей колебалось от 35 до 63 Бк/кг. Невысокое содержание ^{137}Cs в травостое большинства элементарных участков связано с одной стороны, с невысокой плотностью загрязнения почв, с другой, с преобладанием аллювиальных дерновых (глееватых и глеевых) легко- и среднесуглинистых почв (до 80 %), которые характеризуются хорошей сорбцией радионуклидов и невысокой их биологической подвижностью. Коэффициенты перехода (КП) из почвы в растения на таких землях в разы ниже, чем на торфяно-болотных и

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

песчаных почвах. Обследование некоторых участков, где в соответствии с прогнозом возможно было получение зеленой массы с содержанием ^{137}Cs от 100 Бк/кг и выше, показало, что в ряде случаев еще сохраняется проблема получения кормов с повышенным содержанием радионуклидов (табл. 1).

Таблица 1. **Результаты радиологического и агрохимического обследования участков пойменных лугов р. Днепр**

№ участка	Площадь участка, га	Средняя плотность загрязнения почв ^{137}Cs, кБк/м^2	Агрохимические свойства почв:				Содержание ^{137}Cs в пробах зеленой массы, Бк/кг		*Кп* в зеленую массу, Бк/кг, кБк/м^2	Средняя урожайность зеленой массы, ц/га
			органическое вещество, %	K_20 мг/кг	P_20_5 мг/кг	pH (KCl)	максимальное	среднее		
1	14,2	80,1					64	39	0,49	122
3	42,1	333,9	4,5	146	221	4,6	22	14	0,04	135
17	19,5	166,6	25,8	54	57	4,9	587	369	2,21	104
19	30,7	114,7	22,0	76	81	5,7	58	44	0,38	126
20	19,7	250,7	2,3	26	100	5,0	181	179	0,71	59
8	14,0	306,5	4,2	79	72	5,8	14	11	0,04	127
11	35,4	105,8	9,9	74	48	5,2	25	18	0,17	138
21	15,2	143,5	4,2	78	76	5,3	15	12	0,09	126

На двух обследованных участках фактическое содержание ^{137}Cs в травостое превысило РДУ (165 Бк/кг) и оказалось выше прогнозного. Один из них (№17), расположенный в притеррасной части поймы (слабо мелиорированный), представлен переувлажненными торфяными почвами; здесь среднее содержание ^{137}Cs в зеленой массе составило 369 Бк/кг (с колебаниями от 123 до 587 Бк/кг). Повышенная биологическая доступность радионуклидов на торфяно-болотных почвах связана с особенностями их морфологического и генетического строения [2, 6]. В тоже время очень низкое содержание обменного калия, кислая реакция среды и повышенная влажность на участке способствовали высокому уровню накопления радионуклидов зеленой массой. Второй (№20), расположенный в прирусловой зоне, представлен песчаными почвами, обладающими слабой сорбционной способностью, с очень низким содержанием обменного калия (26 мг/кг), невысоким содержанием гумуса и кислой реакцией среды. Здесь среднее содержание ^{137}Cs в зеленой массе составило 179 Бк/кг. На этих двух участках оказались и наиболее высокие коэффициенты перехода ^{137}Cs в зеленую массу, которые составили соответственно 2,21 и 0,71 Бк/кг:кБк/м^2. На остальных обследованных участках пойменных лугов р. Днепр фактическое содержание ^{137}Cs в зеленой массе оказалось ниже прогнозного и не превышало РДУ. Их почвы были в основном легко - и среднесуглинистые, характеризующиеся хорошей сорбцией радионуклидов. Коэффициенты перехода колебались от 0,04 до 0,49 Бк/кг:кБк/м^2. На одном из участков (№1), где по прогнозу содержание ^{137}Cs в травостое было выше РДУ, максимальная удельная активность отобранных проб составила 64 Бк/кг. Участок был представлен дегроторфяными почвами с преобладанием минерального компонента и имел низкую плотность загрязнения (80,1 кБк/м^2). Как показывают литературные данные, при высокой минерализации торфов уровень накопления радионуклида снижается в 10 раз по сравнению с целинными и слабо окультуренными торфами [2, 6]. Регулируемый водный режим, обеспечиваемый системой мелиоративных каналов, также создавал благоприятные условия для минимального накопления радионуклидов.

Оценка ресурсного потенциала показала, что большинство пойменных лугов р. Днепр представлены естественным травостоем с преобладанием злаковых или разнотравно-злаковых ассоциаций. Однако на разных элементах рельефа поймы имелись существенные различия в видовом составе травостоя и его урожайности. В притеррасной части и низких мелиорированных местах доминировал двукисточник тростниковый (60–90 %) и осоковые травы (10–40 %). Центральная и прирусловая части поймы имели более разнообразный видовой состав и были представлены разнотравно-злаковыми и злаково-разнотравными ассоциациями. В центральной части поймы среди злаков преобладали лисохвост луговой, двукисточник тростниковый, ежа сборная, костер безостый; среди разнотравья – птармика хрящеватая, вероника длиннолистая, подмаренник северный и др. В прирусловой части среди злаков встречались костер безостый, мятлик луговой, овсяница луговая; среди разнотравья – подмаренник цепкий, погремок малый, тысячелистник, лютик едкий, смолка обыкновенная и др.

Средняя по обследованным участкам учетная урожайность зеленой массы колебалась от 59 до 138 ц/га и была выше в центральной и хорошо мелиорированной притеррасной части пойменного луга. Состояние травостоя на ряде участков и невысокая урожайность говорят о необходимости проведения поверхностного улучшения. Однако при подборе трав в состав травосмесей необходимо учитывать следующие факторы: длительность затопления, наличие проточных и застойных вод, рельеф участка и глубину затопления его разных частей, устойчивость растений к затоплению.

В Чериковском и Славгородском районах все пойменные земли р. Сож можно разделить на три части: земли, принадлежащие сельскохозяйственным предприятиям (соответственно по районам 2770 га и 1374 га); земли госземзапаса (около 1300 и 3200 га), большая часть из которых относится к категории радиационно-опасных; земли, переданные в гослесфонд (около 860 га и 870 га). При работе все пойменные земли в долине р. Сож, условно были разбиты на 25 участков.

Из сельскохозяйственных земель в пойме р. Сож, радиологическое и агрохимическое

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

обследование (по данным последнего тура) было проведено на 1500 га в Чериковском и 930 га в Славгородском районах. Плотность загрязнения почв ^{137}Cs колебалась от 37,0 до 1106,3 кБк/м^2. Часть сельскохозяйственных пойменных земель была выведена предприятиями из использования в связи с радиоактивным загрязнением, но зачастую ими эксплуатируется. По данным прогноза на значительных площадях существовал риск производства зеленой массы с содержанием ^{137}Cs выше РДУ (165 Бк/кг). В Чериковском районе такие площади составили 850 га (или 56,7 % от обследованных), в Славгородском – 250 га (или 26,8 % от обследованных). Максимальное прогнозное содержание ^{137}Cs составило 739 Бк/кг. Кроме этого, в группу риска вошли площади, где прогнозное содержание ^{137}Cs в зеленой массе могло составлять 100–164 Бк/кг. Это – 285 га в Чериковском районе и 450 га в Славгородском районе. Высокое прогнозное содержание ^{137}Cs в травостое, в основном, было связано с высокой плотностью загрязнения почв.

В тоже время результаты обследования девяти участков, принадлежащих сельскохозяйственным предприятиям, показали, что фактическое содержание ^{137}Cs в травостое оказалось ниже прогнозного и в большинстве случаев не превышало РДУ (табл. 2). Только на двух участках (№12 и №19), содержание ^{137}Cs в пробах зеленой массы было выше допустимого уровня. Максимальная удельная активность проб на участке №12 (Чериковский район) составила 353 Бк/кг. Наиболее высокое содержание ^{137}Cs отмечалось в пробе зеленой массы, отобранной на возвышенной части участка с низкой продуктивностью, песчаными почвами и очень низким содержанием подвижного калия (20 мг/кг). КП по данной пробе составил 0,59 Бк/кг:кБк/м^2. Плотность загрязнения почв ^{137}Cs в среднем по участку №12 составила 674 кБк/м^2 (колебалась от 593,2 до 789,0 кБк/м^2) и оказалась выше по сравнению с данными последнего тура обследования. На участке № 19 (Славгородский район) максимальная активность проб зеленой массы составила 296 Бк/кг (колебалась от 15 до 295 Бк/кг). Наиболее активная проба была с переувлажненной части участка, представленной супесчаными почвы с низким содержанием подвижного калия и фосфора, невысоким содержанием органического вещества (1,59 %) и сильнокислой реакцией среды (pH$_{(KCl)}$ – 3,67). Коэффициент перехода составил 0,88 Бк/кг:кБк/м^2 и был наиболее высоким.

Таблица 2. **Результаты радиологического и агрохимического обследования участков пойменных лугов р. Сож**

Землепользователи	№ участка	Средняя плотность загрязнения почв ^{137}Cs, кБк/м^2	Агрохимические свойства почв:				Содержание ^{137}Cs в пробах зеленой массы, Бк/кг		*Кп* в зеленую массу, Бк/кг, кБк/м^2	Средняя урожайность зеленой массы, ц/га
			органическое вещество, %	K_20 мг/кг	P_20_5 мг/кг	pH (KCl)	максимальное	среднее		
Чериковский район										
УРСП Э/б «Чериков»	6	172,9	1,7	31	146	5,3	43	22	0,15	112,5
	11	682,4	3,5	47	77	4,9	83	38	0,07	113,0
СПК «Прогресс»	10	596,1	3,5	43	44	6,2	35	27	0,05	112,1
ОАО «РАПТС»	12	674,0	6,3	53	81	4,9	353	236	0,36	127,2
	14	684,8	1,6	43	85	6,5	52	31	0,05	76,1
	15	672,3	3,7	63	29	5,9	45	39	0,06	191,5
Славгородский район										
СПК «Присожье»	19	336,9	2,1	36	76	3,8	295	186	0,55	140,0
	24	1274,3	1,6	25	167	6,3	107	52	0,04	102,2
	25	469,2	3,4	69	62	5,3	93	35	0,08	91,4

На остальных обследованных участках, за исключением №24, содержание ^{137}Cs в образцах зеленой массы не превышало 100 Бк/кг (на участке №24 – 107 Бк/кг). Средняя по участкам плотность загрязнения почв колебалась от 172,9 до 1274 кБк/м^2 и наиболее высокой была на участке №24 (Славгородский район). Почвы на участках в основном легко- и среднесуглинистые, которые характеризуются хорошей сорбцией радионуклидов и невысокой их биологической подвижностью. В результате по радиоэкологическому фактору почти все обследованные участки в пойме р. Сож (за исключением №12 и №19) оказались пригодными для использования в кормопроизводстве.

Травостой на обследованных пойменных лугах был в основном естественный, разнообразный и его видовой состав зависел от условий произрастания (типов почв и их увлажнения). На более возвышенных местах преобладали разнотравно-злаковые и злаково-разнотравные ассоциации, в низких и заболоченных местах – осоково-злаковые и осоковые. Окультуренной оказалась лишь центральная часть одного из участков (№15), которая использовалась как сенокос. Урожайность зеленой массы колебалась от 57 до 226,6 ц/га и была выше на окультуренном сенокосе. По состоянию травостоя и его продуктивности большинство участков нуждается в проведении поверхностного улучшения.

Заключение

Таким образом, результаты проведенного обследования показали неравномерное распределение радионуклидов на пойменных землях, что говорит об их постоянной миграции, концентрации или рассеивании в экосистемах пойм. Лишь в отдельных случаях были подтверждены прогнозные данные о возможности получения зеленой массы с повышенным содержанием радионуклидов. В то же время большая часть обследованных пойменных лугов по радиологическому фактору оказалась пригодна для получения кормов. Невысокое содержание

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

^{137}Cs в травостое, с одной стороны, было связано с невысокой плотностью загрязнения почв, особенно в пойме реки Днепр, с другой, – с преобладанием на многих обследованных участках легко- и среднесуглинистых почв, которые характеризуются хорошей сорбцией радионуклидов и невысокой их биологической подвижностью. Проблемными оказались лишь участки, представленные переувлажненными торфяно-болотными (с плотностью загрязнения от 167 кБк/м^2 и выше) и песчаными почвами (с плотностью загрязнения от 250 кБк/м^2 и выше) с очень низким содержанием обменных форм калия и кислой реакцией среды.

Коэффициенты перехода ^{137}Cs из почвы в растения в пойме реки Днепр колебались от 0,04 до 2,45 Бк/кг:кБк/м^2, в пойме Р. Сож – от 0,04 до 0,88 Бк/кг:кБк/м^2 и были наиболее высокими на торфяных переувлажненных почвах в пойме р. Днепр.

Большая часть пойменных лугов р. Днепр на территории Быховского района имела неплохой травостой, представленный злаковыми или разнотравно-злаковыми ассоциациями, существенно отличающимися на различных элементах рельефа пойменного луга. В тоже время ряд участков нуждаются в проведении поверхностного улучшения. Пойменные луга р. Сож на территории Чериковского и Славгородского районов нередко закустарены и заболочены. По состоянию травостоя и его продуктивности большинство из них нуждается в проведении поверхностного улучшения, однако не на всех участках возможно проведение культуртехнических работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по использованию загрязненных радионуклидами пойменных земель Белорусского Полесья /А. Г. Подоляк [и др.] // Комчернобыль. РНИУП «Институт радиологии». Комитет по с.х. и продовольствию Гомельского облисполкома. – Гомель, 2001. – 27 с.

2. Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий, загрязненных в результате крупных радиационных аварий /Н. Н. Цыбулько [и др.]; под общ. ред. Н. Н. Цыбулько. – Минск: Институт радиологии, 2011. – 438 с.

3. Тимофеев, С. Ф. Влияние ландшафтно-геохимических условий на аккумуляцию ^{137}Cs и ^{90}Sr травостоем пойменного луга / С. Ф. Тимофеев, Т. А. Тимофеева // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2005. – № 6 (33). – С. 105–110.

4. Тимофеева, Т. А. Особенности кормопроизводства на поймах рек, загрязненных радионуклидами / Т. А. Тимофеев // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – №1 (34). – С. 400–404.

5. Павлоцкая, Ф. И. Формы нахождения и миграции искусственных радионуклидов в природной среде / I Всесоюзный радиобиологический съезд: Тез. докл., Пущино, 21–27 августа 1989 г. // Акад. наук СССР. – Пущино, 1989. – Т. 2. – С. 493–494.

6. Шмигельская, И. Д. Особенности перехода цезия-137 и стронция-90 в многолетние травы на торфяно-болотных почвах/ И. Д. Шмигельская, В. Ю. Агеец, Н. Н. Путятина // Третий съезд по радиационным исследованиям: Тез. докл. Москва, 14–17 октября, 1997 г. / Межд. ассоциация академ. наук. – Пущино, 1997. – Т. 2. – С. 490–491.

7. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / Под ред. проф. И. М. Богдевича [и др.]. – Минск, 2008. – 72 с.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета