DOI: 10.21870/0131-3878-2020-29-2-115-127

УДК 614.876(470+476)+628.516:539.163

Почвенно-радиоэкологическое районирование радиоактивно загрязнённых сельскохозяйственных земель Беларуси и России

Цыбулько Н.Н.¹, Панов А.В.², Титов И.Е.², Кречетников В.В.²

¹ Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, Минск;

² ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск

Представлена методология почвенно-радиоэкологического районирования сельскохозяйственных земель, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. В основу ранжирования сельскохозяйственных угодий положен учёт состава и степени загрязнения почв радионуклидами, а также компонентного состава и удельного веса почв, их свойств (генетическая принадлежность, гранулометрический состав, гидроморфизм, степень эродированности) и уровень плодородия. Обосновано выделение в качестве типологической единицы классификации сельскохозяйственных земель административного района и разработан алгоритм районирования загрязнённых радионуклидами территорий, включающий 7 этапов. На основе комплексной оценки радиологических и почвенных факторов проведено ранжирование сельскохозяйственных земель на территории Беларуси и России, в наибольшей степени подвергшихся воздействию от аварии на ЧАЭС. В Беларуси выделено 4, а в России 3 группы районов по степени радиоэкологической напряжённости. В Беларуси первую группу с низкой степенью напряжённости территории представляют 29 районов шести областей. Во вторую группу со средней степенью напряжённости включены 9 районов четырёх областей. Третью группу с высокой степенью напряжённости составляют 12 районов трёх областей и четвёртую группу с очень высокой степенью радиоэкологической напряжённости территории – 7 районов Гомельской области. В России в первую группу включён 1 район Орловской области. Вторую группу составляют 3 южных района Калужской области и 1 район Тульской области. В третью группу входят 5 юго-западных районов Брянской области. Показано, что оптимизация радиационной защиты населения и поэтапный переход территорий радиоактивного загрязнения от ситуации аварийного облучения к ситуации существующего послеаварийного облучения должны осуществляться дифференцированно, в зависимости от группы районов.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, ^{90}Sr , ^{137}Cs , сельскохозяйственное производство, почва, зонирование, плотность загрязнения, риски, радиационная безопасность, реабилитация.

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. более 150 тыс. км² территории Беларуси, России и Украины было отнесено к различным зонам радиоактивного загрязнения, в том числе 48 тыс. км² – в Республике Беларусь, около 65 тыс. км² – на территории Российской Федерации и 53,5 тыс. км² – на территории Украины. Значительную площадь на этих территориях занимают сельскохозяйственные земли. В Беларуси было загрязнено ^{137}Cs 1,4 млн га земель сельскохозяйственного назначения, в России – более 2 млн га, на территории Украины – 0,9 млн га. Возвращение этих территорий и населения к условиям нормальной жизнедеятельности стало ключевой задачей при ликвидации последствий аварии. Основными критериями возможности использования загрязнённых радионуклидами территорий для ведения хозяйственной деятельности являются: дозовые нагрузки на население, плотность загрязнения радионуклидами территории населённых пунктов, сельскохозяйственных земель и лесов, а также возможность получения пищевой продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим требо-

Цыбулько Н.Н.* – зам. директора, д.с.-х.н., доцент. Институт почвоведения и агрохимии НАН Республики Беларусь. Панов А.В. – зам. директора, д.б.н., проф. РАН; Титов И.Е. – н.с.; Кречетников В.В. – н.с. ФГБНУ ВНИИРАЭ.

*Контакты: 220108, Беларусь, Минск, ул. Казинца, 90. Тел. +10-375-17-212-08-10; e-mail: nik.nik1966@tut.by.

ваниям. Учитывая неоднородность загрязнения радионуклидами территорий, подвергшихся воздействию от аварии на ЧАЭС, указанные критерии стали основополагающими при зонировании населённых пунктов [1], лесов [2] и сельскохозяйственных земель [3-4].

Радиоактивно загрязнённые территории Беларуси, России и Украины относятся к зоне интенсивного ведения сельскохозяйственного производства. На всех этапах ликвидации последствий аварии на ЧАЭС реабилитация агросферы являлась одним из ведущих направлений по возвращению пострадавших территорий к условиям нормальной жизнедеятельности, поскольку потребление населением радиоактивно загрязнённых сельскохозяйственных продуктов питания – это важный фактор формирования дозы внутреннего облучения человека [5]. За прошедшие после аварии на ЧАЭС более 30 лет, радиологическая ситуация на загрязнённых территориях значительно улучшилась, однако до настоящего момента в государствах, в наибольшей степени подвергшихся воздействию аварии, остаются области и районы с высокими уровнями радиоактивного загрязнения, что требует продолжения проведения реабилитационных работ [5-6].

Целью исследования являлось научное обоснование методологического подхода к почвенно-радиозэкологическому районированию сельскохозяйственных земель территорий Беларуси и России, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, как экспертно-аналитической основы для совершенствования мероприятий по радиационной защите населения и реабилитации пострадавших территорий в отдалённый послеаварийный период.

Одним из методов комплексной (интегральной) оценки состояния загрязнённых радионуклидами сельскохозяйственных земель является почвенно-радиозэкологическое районирование – способ разделения территории радиоактивного загрязнения по характеру взаимодействия экологических факторов: с одной стороны – состава и степени загрязнения почв радионуклидами, с другой – компонентного состава и удельного веса почв сельскохозяйственного назначения, их свойств и плодородия. Основой такого подхода является рассмотрение территориальной неоднородности, выраженной в виде ранжирования сельскохозяйственных земель по степени радиозэкологической напряжённости или радиационных рисков. Районирование предполагает выделение типологических единиц с различным характером и уровнем радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель, а также степенью его влияния на хозяйственную деятельность и проживающее население [7].

Материалы и методы

В качестве типологической единицы ранжирования сельскохозяйственных земель выбран административный район. Из общепринятых в картографировании вариантов выбора таксономических единиц приоритет в работе отдан территориально-административному делению по следующим причинам. На уровне административных районов имеются необходимые фондовые материалы длительных регулярных наблюдений радиационной обстановки, результаты радиологического и агрохимического обследования почв сельскохозяйственных земель, многолетние данные загрязнения радионуклидами продукции, производимой в аграрном секторе и личных подсобных хозяйствах, данные о средних годовых дозах облучения населения в разрезе населённых пунктов, почвенные карты, карты радиоактивного загрязнения, другие материалы. В разрезе административных единиц имеются оцифрованные картографические основы, что даёт возможность проведения районирования на разных уровнях административного деления. Пла-

нирование мероприятий программ (межгосударственных, федеральных, региональных) по преодолению последствий аварии на ЧАЭС, мер радиационной защиты населения и реабилитационных мероприятий в аграрном секторе, их практическая реализация осуществляются в пределах административно-территориальных образований. Агрегирование информации также производится в разрезе административных единиц. В основу метода почвенно-радиозэкологического районирования положен подход, базирующийся на комплексной информационно-аналитической оценке территорий с применением ГИС-технологий и использованием карт (радиоактивного загрязнения и почвенных) Беларуси и России, административных областей и районов, данных радиологического и агрохимического обследования сельскохозяйственных земель, других информационных материалов.

Почвенно-радиозэкологическое районирование сельскохозяйственных земель основывается на двух основных факторах – радиологическом и почвенном. По каждому фактору определены критерии – показатели, характерные для всей территории радиоактивного загрязнения, а также свойственные каждому району. К радиологическим показателям, определяющим степень радиоактивного загрязнения территории или степень радиозэкологической нагрузки, относятся площади и удельный вес земель в составе сельскохозяйственного землепользования, загрязнённых ^{137}Cs и ^{90}Sr . Также выделяются почвенные показатели, которые непосредственно или косвенно влияют на интенсивность перехода радионуклидов из почвы в растения и конечную сельскохозяйственную продукцию, а также параметры, влияющие на перераспределение радионуклидов в агроландшафтах. В числе таких показателей рассматриваются: генетическая принадлежность почв сельскохозяйственных земель; гранулометрический состав почв; степень увлажнения (гидроморфизм) почв; степень эродированности почв. Данные показатели обуславливают существенные различия в продуктивности сельскохозяйственных земель.

На основе вышеперечисленных параметров проводится комплексная оценка радиозэкологической ситуации, рассматриваемая как территориальное сочетание радиологических и почвенных факторов, определяющих радиационную обстановку, радиационные риски (вероятности) производства пищевых продуктов, сельскохозяйственной продукции и сырья с превышением нормативов по содержанию радионуклидов и дозовых нагрузок на население на определённой территории. На основе измеряемых характеристик рассчитываются показатели, которые определяют прогнозные риски:

- производства основных видов растениеводческой продукции (зерно, картофель, овощи) на пищевые цели с содержанием ^{90}Sr и ^{137}Cs , превышающим установленные нормативы;
- производства сельскохозяйственного сырья и кормов для получения основных видов продукции животноводства (молоко, мясо) с содержанием ^{90}Sr и ^{137}Cs , превышающим установленные нормативы.

Для комплексной оценки радиоактивно загрязнённых районов на основе радиологических и почвенных факторов применена шкала, где каждый диапазон значений анализируемых показателей выражается в баллах от 0 до 4. Балл 0 присваивается в случае отсутствия сельскохозяйственных земель в соответствии с принятыми критериями, низшему баллу (1) соответствует наименьший диапазон изменения показателя, высшему баллу (4) – максимальный диапазон (табл. 1).

Таблица 1

**Балльная оценочная шкала почвенно-радиозэкологического районирования
сельскохозяйственных земель**

Показатель	Диапазон изменения показателя, %	Балл
1. Удельный вес земель с плотностью загрязнения ^{137}Cs 37-1480 кБк/м ²	отсутствуют	0
	< 10	1
2. Удельный вес земель с плотностью загрязнения ^{90}Sr 5,55-111 кБк/м ²	11-25	2
	26-50	3
	> 51	4
3. Удельный вес земель с плотностью загрязнения ^{137}Cs 185-1480 кБк/м ²	отсутствуют	0
	< 1,0	1
4. Удельный вес земель с плотностью загрязнения ^{90}Sr 11,1-111 кБк/м ²	1,1-5,0	2
	5,1-10,0	3
	> 10,1	4
5. Удельный вес почв, характеризующихся высокими параметрами перехода радионуклидов в растения, %	отсутствуют	0
	до 5,0	1
	5,1-10,0	2
	10,1-15,0	3
	> 15,1	4

Алгоритм почвенно-радиозэкологической оценки и районирования сельскохозяйственных земель включает в себя следующие этапы [8]:

- I. Формирование баз данных для каждого из выбранных критериев районирования.
- II. Анализ баз данных и ранжирование районов по каждому из выбранных критериев, их визуализация с составлением картодиаграмм.
- III. Ранжирование районов по сумме почвенно-радиологических факторов с визуализацией в виде синтезированной картодиаграммы.
- IV. Формирование баз данных прогнозных оценок рисков производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции (зерно на пищевые цели, картофель, овощи, разные виды кормов для получения молока и мяса) с содержанием радионуклидов, превышающим допустимые нормативы.
- V. Расчёты рисков превышения содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в разных видах продукции в разрезе административных районов.
- VI. Группировка административных районов по уровням радиозэкологической напряжённости (остроте радиозэкологической ситуации) на основе радиационных рисков с использованием геоинформационной системы (ГИС).
- VII. ГИС-ранжирование сельскохозяйственных земель по уровню радиозэкологической напряжённости и рисков.

Изучение опыта почвенно-радиозэкологического районирования в Беларуси и России показало, что оно должно строиться в единой для всей территории системе соподчинённых таксономических единиц, отображающих объективно существующие природно-производственные комплексы разных рангов [9].

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследований была проведена оценка районов Беларуси и России, в наибольшей степени подвергшихся воздействию от аварии на ЧАЭС, по комплексу радиологических характеристик сельскохозяйственных земель. Из 118 административных районов Бела-

руси в 57 районах имеются сельскохозяйственные земли, загрязнённые ^{137}Cs с плотностью от 37 до 1480 кБк/м^2 . В 28 районах эти земли одновременно загрязнены и ^{90}Sr с плотностью от 5,55 до 111 кБк/м^2 . В разрезе районов площади и доля загрязнённых ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственных земель колеблются в широких пределах. Удельный вес земель, загрязнённых ^{137}Cs , варьирует от 0,1 до 100%, ^{90}Sr – от 0,1 до 96,3% от общей площади сельскохозяйственных земель района. В зависимости от удельного веса земель, загрязнённых ^{137}Cs с плотностью 37-1480 кБк/м^2 и (или) загрязнённых ^{90}Sr с плотностью от 5,55 до 111 кБк/м^2 , все районы разделены на 4 группы (табл. 2). Из 57 районов в 25 удельный вес загрязнённых ^{137}Cs сельскохозяйственных земель не превышает 10%, в 9 районах такие земли занимают 11-25%, в 10 районах – 26-50% и в 13 районах – более 50%. В 23 районах, относящихся к третьей и четвёртой группам по степени загрязнения, сосредоточено 81% (79 тыс. га) всех загрязнённых ^{137}Cs сельскохозяйственных земель, тогда как в остальных 34 районах, относящихся к первой и второй группам, – 19% (18,5 тыс. га). Доля загрязнённых ^{137}Cs сельскохозяйственных земель в составе землепользования не превышает 10% в 4 районах Брестской области; 1 районе Витебской области; 3 районах Гомельской области; 3 районах Гродненской области; 8 районах Минской области; 6 районах Могилёвской области. От 11 до 25% загрязнены ^{137}Cs сельскохозяйственные земли в 1 районе Брестской области; 2 районах Гомельской области; 2 районах Гродненской области; 3 районах Минской области; 1 районе Могилёвской области. Сельскохозяйственные земли загрязнены от 26 до 50% в 1 районе Брестской области; 6 районах Гомельской области; 3 районах Могилёвской области. Наиболее высокий удельный вес (более 50%) загрязнённых ^{137}Cs сельскохозяйственных земель отмечается в 9 районах Гомельской области и 4 районах Могилёвской области. Из 28 районов, загрязнённых ^{90}Sr , в 14 удельный вес сельскохозяйственных земель не превышает 10%, в 3 районах такие земли занимают 11-25%, в 6 районах – 26-50% и в 5 районах – более 50%. В 14 наиболее загрязнённых ^{90}Sr районах сосредоточено 96% всех загрязнённых этим радионуклидом земель, тогда как в остальных 14 районах – 4%. Незначительная доля (до 10%) сельскохозяйственных земель загрязнена ^{90}Sr в 3 районах Брестской области; 6 районах Гомельской области; 5 районах Могилёвской области. Земли 1 района Гомельской области, 2 районов Могилёвской области загрязнены ^{90}Sr в средней степени (от 11 до 25%). В 6 районах Гомельской области загрязнено от 26 до 50% земель. Наибольший удельный вес (более 50%) загрязнённых ^{90}Sr земель в Брагинском, Ветковском, Наровлянском, Речицком и Хойникском районах Гомельской области.

Таблица 2

Распределение районов Республики Беларусь и Российской Федерации, пострадавших от аварии на ЧАЭС, по удельному весу загрязнённых ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственных земель

Градации по удельному весу загрязнённых земель в районе, %	Радионуклид	Республика Беларусь			Российская Федерация		
		Площадь земель		Всего районов	Площадь земель		Всего районов
		га	% от общей площади		га	% от общей площади	
до 10	^{137}Cs	47 714	4,9	25	-	-	-
	^{90}Sr	12 065	3,6	14	-	-	-
11-25	^{137}Cs	137 679	14,1	9	-	-	-
	^{90}Sr	32 863	9,8	3	-	-	-
26-50	^{137}Cs	232 445	23,7	10	21 433	5,8	1
	^{90}Sr	104 642	31,1	6	-	-	-
более 50	^{137}Cs	561 664	57,3	13	345 649	94,2	9
	^{90}Sr	186 748	55,5	5	-	-	-
Всего	^{137}Cs	979 502	100	57	367 082	100	10
	^{90}Sr	336 318	100	28	-	-	-

В Российской Федерации наибольшему радиоактивному загрязнению, вследствие аварии на ЧАЭС, подверглись 6 юго-западных районов Брянской области, 3 южных района Калужской области и, в меньшей степени, ряд районов Орловской и Тульской областей. На основе данных радиоэкологического мониторинга по состоянию на 2018 г. [3], проведена комплексная оценка и почвенно-радиоэкологическое районирование юго-западных районов Брянской области (Гордеевского, Злынковского, Клинцовского, Красногорского, Новозыбковского), 3 районов Калужской области (Жиздринского, Ульяновского, Хвастовичского), Плавского района Тульской области и Болховского района Орловской области. Во всех исследованных районах доля загрязнённых ^{137}Cs земель свыше 37 кБк/м^2 составляет более 50%, за исключением Хвастовичского района Калужской области – 38% или 21,4 тыс. га. В 9 районах, относящихся к четвёртой группе по степени радиоактивного загрязнения, сосредоточено более 94% (345,6 тыс. га) всех загрязнённых ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий (табл. 2).

Максимальная доля таких земель отмечена в юго-западных районах Брянской области: в Новозыбковском районе она составляет 99,9% или 60,6 тыс. га, в Гордеевском районе – 98,1% или 53,8 тыс. га, в Красногорском районе – 96,7% или 52,9 тыс. га, в Злынковском районе – 87,8% или 28,4 тыс. га, в Клинцовском районе – 80,2% или 49,2 тыс. га. Гораздо лучше радиоэкологическая ситуация в южных районах Калужской области с меньшими уровнями радиоактивного загрязнения: в Ульяновском районе 74,4% или 38,0 тыс. га сельскохозяйственных земель являются загрязнёнными ^{137}Cs ; в Жиздринском районе – 55,2% или 25,1 тыс. га. Минимальные уровни загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий отмечены в Плавском районе Тульской области – 78,5% земель или 30,5 тыс. га и Болховском районе Орловской области – 60% земель или 7,2 тыс. га. Также стоит отметить отсутствие в России в настоящее время сельскохозяйственных угодий, загрязнённых ^{90}Sr плотностью $5,55 \text{ кБк/м}^2$ и выше.

Удельный вес загрязнённых ^{90}Sr и ^{137}Cs земель в составе сельскохозяйственного землепользования является показателем, характеризующим степень радиоактивного загрязнения территории, определяющей ограничения при возделывании сельскохозяйственных культур. В качестве критериев ранжирования приняты значения удельного веса в составе загрязнённых радионуклидами сельскохозяйственных земель с плотностью по ^{90}Sr – $11,1 \text{ кБк/м}^2$ и выше, и по ^{137}Cs – 185 кБк/м^2 и выше, которые являются наиболее «проблемными» для производства сельскохозяйственной продукции, отвечающей нормативным требованиям. В Республике Беларусь земли, загрязнённые ^{137}Cs плотностью 185 кБк/м^2 и выше, имеются в Брестской, Гомельской, Гродненской, Минской и Могилёвской областях. Общая площадь их составляет 210,7 тыс. га или 21,5% от общей площади загрязнённых ^{137}Cs земель на территории 33 из 57 районов. Основные массивы их сосредоточены в 6 районах Гомельской области и 3 районах Могилёвской области. Из 28 районов, загрязнённых ^{90}Sr с плотностью $11,1 \text{ кБк/м}^2$ и выше, сельскохозяйственные земли присутствуют в 13 районах. Общая площадь таких земель составляет 138,9 тыс. га и основные массивы их находятся в 6 районах Гомельской области. По удельному весу земель, загрязнённых ^{137}Cs с плотностью 185 кБк/м^2 и выше и ^{90}Sr с плотностью $11,1 \text{ кБк/м}^2$ и выше, районы объединены в 4 группы. Первую группу представляют районы, в которых доля таких земель не превышает 1% от общей их площади по республике, вторую группу – районы с долей 1,1-5,0%, третью группу – с долей 5,1-10,0% и четвёртую группу – районы с долей загрязнённых земель $>10,1\%$ (табл. 3). На 18 районов, в которых доля земель с плотностью загрязнения ^{137}Cs 185 кБк/м^2 и выше составляет не более 1% от общей их площади, приходится

10 тыс. га земель, тогда как на остальные 15 районов, относящихся ко второй (1,1-5,0%), третьей (5,1-10,0%) и четвёртой группам (более 10,1%) – более 200 тыс. га, или 95%. Из 13 районов, где имеются земли, загрязнённые ^{90}Sr с плотностью 11,1 кБк/м² и выше, в 6, относящиеся к третьей (5,1-10,0%) и четвёртой группам (более 10,1%), сосредоточено 85% (118,5 тыс. га) земель, а в остальных 7 районах, относящихся к первой (до 1%) и второй (1,1-5,0%) группам, только 15% (20,3 тыс. га).

Таблица 3

Распределение районов Республики Беларусь и Российской Федерации, пострадавших от аварии на ЧАЭС, по удельному весу земель, загрязнённых ^{137}Cs с плотностью 185 кБк/м² и выше, загрязнённых ^{90}Sr с плотностью 11,1 кБк/м² и выше

Градации по удельному весу загрязнённых земель в районе, %	Радионуклид	Республика Беларусь			Российская Федерация		
		Площадь земель		Всего районов	Площадь земель		Всего районов
		га	% от общей площади		га	% от общей площади	
до 1,0	^{137}Cs	10 268	4,9	18	12 051	9	1
	^{90}Sr	308	0,2	2	-	-	-
1,1-5,0	^{137}Cs	65 397	31,0	8	4 004	3	3
	^{90}Sr	20 003	14,4	5	-	-	-
5,1-10,0	^{137}Cs	64 079	30,4	4	-	-	-
	^{90}Sr	39 905	28,7	4	-	-	-
более 10,0	^{137}Cs	70 926	33,7	3	118 442	88	6
	^{90}Sr	78 690	56,7	2	-	-	-
Всего	^{137}Cs	210 670	100	33	134 497	100	10
	^{90}Sr	138 906	100	13	-	-	-

В России земли сельскохозяйственного назначения, загрязнённые ^{137}Cs плотностью свыше 185 кБк/м², имеются во всех исследуемых районах Брянской, Калужской и Тульской областей, кроме Болховского района Орловской области. Общая площадь их составляет 122,5 тыс. га или 33,4% от общей площади загрязнённых земель. Основные массивы их сосредоточены в 5-ти юго-западных районах Брянской области – Гордеевском (51,3% или 28,1 тыс. га), Злынковском (38% или 12,3 тыс. га), Клинцовском (24,8% или 15,2 тыс. га), Красногорском (29,2% или 16,7 тыс. га), Новозыбковском (61,6 % или 37,4 тыс. га). Эти земли составляют 89,6% от площади сельскохозяйственных угодий с плотностью загрязнения ^{137}Cs свыше 185 кБк/м² (табл. 3). По удельному весу земель, загрязнённых ^{137}Cs с плотностью 185 кБк/м² и выше, районы распределены на следующие группы. В первую группу (с долей таких земель, не превышающих 1%) вошёл Болховский район Орловской области, во вторую группу (с долей 1,1-5,0%) включены 3 района Калужской области – Жиздринский (2,2% или 0,9 тыс. га), Ульяновский (3,7% или 1,9 тыс. га) и Хвастовичский (2% или 1,1 тыс. га). В четвёртую группу (с долей загрязнённых земель >10,1%) вошли 5 юго-западных районов Брянской области – Гордеевский, Злынковский, Клинцовский, Красногорский, Новозыбковский, а также Плавский район Тульской области (22,4% или 8,7 тыс. га).

Структура почвенного покрова, генетические свойства и плодородие почв, наряду с характером и степенью их радиоактивного загрязнения, играют важнейшую роль, связанную с поведением радионуклидов в агроэкосистемах, а также параметрами поступления их по пищевым цепочкам. Сельскохозяйственные земли районов Республики Беларусь, подвергшихся радиоактивному загрязнению, характеризуются значительной пестротой почвенного покрова, широким разнообразием его компонентного состава, обусловленным типовыми различиями, степенью увлажнения, гранулометрическим составом почвообразующих и подстилающих пород. Однако

основной фонд представляют дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы, занимающие соответственно 33,4% и 35,6%. Значительные площади занимают также торфяно-болотные (11,4%), дерновые заболоченные (10,3%) и аллювиальные дерновые заболоченные (5,6%) почвы.

В последние годы увеличились площади антропогенно-преобразованных торфяных почв (3,7%), образовавшиеся в результате деградации торфяно-болотных почв при их интенсивном сельскохозяйственном использовании. По гранулометрическому составу сельскохозяйственных земель загрязнённой радионуклидами территории преобладают супесчаные почвы – 46,4%, песчаные занимают 27,9%, а глинистые и суглинистые – 12,5%. Степень увлажнения – один из важнейших факторов, определяющих не только почвенное плодородие, но и параметры миграции радионуклидов в системе почва-растение. Автоморфные почвы занимают 33,1%, полугидроморфные – 52,0%, гидроморфные – 14,9%. При оценке структуры почвенного покрова важное значение имеет выделение почв с высокими параметрами перехода радионуклидов в сельскохозяйственные культуры: торфяно-болотные, торфяно-глеевые, деградированные торфяно-минеральные, минеральные остаточно-торфяные и минеральные пост-торфяные и аллювиальные (пойменные) почвы.

В составе сельскохозяйственных земель, загрязнённых радионуклидами районов России, встречаются дерново-подзолистые, пойменные, чернозёмы (выщелоченные, оподзоленные, луговые), дерново-глеевые, дерново-карбонатные, серые лесные, перегнойно-подзолистые, торфяно-болотные, овражно-балочный комплекс, аллювиальные слоистые. На фоне общей пестроты основной фонд сельскохозяйственных земель представляют дерново-подзолистые почвы, занимающие 71,1%. Всего в сельскохозяйственных организациях на территории радиоактивного загрязнения эти почвы в сумме составляют около 338,4 тыс. га. Значительные площади занимают также чернозёмы (8,3%), торфяно-болотные (4,9%), дерново-глеевые и серые лесные по 4,5% соответственно, аллювиально-слоистые (2,9%) почвы. В разрезе административных районов отмечены значительные колебания в распределении почв по типам. Дерново-подзолистые почвы преобладают в юго-западных районах Брянской области и 3 районах Калужской области, где их площади составляют 65-91% от общей площади сельскохозяйственных земель. В Плавском районе Тульской области наблюдаются преимущественно чернозёмы – свыше 90%. В Болховском районе Орловской области – серые лесные почвы, составляющие 95%. По гранулометрическому составу сельскохозяйственных земель наиболее загрязнённой радионуклидами территории 4-х рассматриваемых областей России преобладают суглинистые почвы – 46%, супесчаные почвы – 40,5%, глинистые – 5,7%, органические – 4,8% и песчаные – 3%.

В результате почвенно-радиологической оценки сельскохозяйственных земель получена итоговая сумма баллов по каждому району, которая характеризует степень радиоэкологической напряжённости территорий Беларуси и России, в наибольшей степени подвергшихся воздействию от аварии на ЧАЭС. Суммарный балл по районам в зависимости от сочетаний радиологических и почвенных условий колеблется от 1 до 19. Минимальным баллом (1) характеризуются районы, в которых загрязнённые ^{137}Cs земли составляют не более 10%, отсутствуют земли с плотностью загрязнения 185 кБк/м^2 и выше, земли, загрязнённые ^{90}Sr , и почвы с высокими параметрами перехода радионуклидов в растения. Из 57 загрязнённых районов Беларуси минимальный балл (1) отмечается в 10 районах. Максимальный балл (19) имеет 1 район (табл. 4).

Таблица 4

**Распределение районов Беларуси и России, пострадавших от аварии на ЧАЭС,
по степени радиоэкологической напряжённости**

Группа	I	II	III	IV
Степень радиоэкологической напряжённости территории	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
Диапазон баллов	1-4	5-8	9-12	13-19
Республика Беларусь				
Брестская область	4	1	1	-
Витебская область	1	-	-	-
Гомельская область	3	4	6	7
Гродненская область	5	-	-	-
Минская область	10	1	-	-
Могилёвская область	6	3	5	-
Всего районов	29	9	12	7
Российская Федерация				
Брянская область	-	-	5	-
Калужская область	-	3	-	-
Тульская область	-	1	-	-
Орловская область	1	-	-	-
Всего районов	1	4	5	-

В Беларуси первая группа с низкой степенью радиоэкологической напряжённости объединяет 29 районов, в которых доля сельскохозяйственных земель, загрязнённых ^{137}Cs с плотностью от 37 до 185 кБк/м², как правило, не превышает 10% (в отдельных случаях может достигать 20%); отсутствуют или не превышают 0,5% земли с плотностью загрязнения выше 185 кБк/м², а также нет сельскохозяйственных угодий, загрязнённых ^{90}Sr . Доля почв, характеризующихся повышенным переходом радионуклидов в растения, как правило, не превышает 5,0%, только в отдельных случаях. В группу со средней степенью радиоэкологической напряжённости) входит 9 районов четырёх областей – Брестской, Гомельской, Минской и Могилёвской. Эта группа объединяет районы, в которых площади загрязнённых ^{137}Cs земель колеблются от 11,9 до 100%, в том числе имеются незначительные площади земель с плотностью загрязнения выше 185 кБк/м². Доля земель, загрязнённых ^{90}Sr с плотностью 5,55-11,1 кБк/м², не превышает 10% и отсутствует с плотностью выше 11,1 кБк/м². Почвы, характеризующиеся повышенными параметрами поступления радионуклидов в растения, занимают 0,1-5,0%. Только в отдельных районах их площади достигают 7-10%. Третью группу с высокой степенью напряжённости включены 12 районов, в том числе 1 район Брестской области, 6 районов Гомельской области и 5 районов Могилёвской области. В этих районах площади загрязнённых ^{137}Cs земель колеблются от 19 до 100%, в том числе с плотностью загрязнения выше 185 кБк/м² – могут достигать 11%. Доля земель, загрязнённых ^{90}Sr , изменяется от 1,0 до 31,0%, в том числе с плотностью загрязнения выше 11,1 кБк/м² может достигать 10%. В отдельных районах радиологическая ситуация усугубляется значительным (11-18%) удельным весом в структуре землепользования почв с повышенными параметрами поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию. В четвёртую группу с очень высокой степенью радиоэкологической напряжённости входит 7 наиболее радиоактивно загрязнённых районов Гомельской области. В этой группе практически весь земельный фонд подвержен загрязнению ^{137}Cs и ^{90}Sr . В этих районах сконцентрировано

44% всех земель, загрязнённых ^{137}Cs выше 185 кБк/м^2 , и 79% земель, загрязнённых ^{90}Sr выше $11,1 \text{ кБк/м}^2$. В ряде районов (Ельском, Брагинском, Хойникском) радиологическая ситуация обостряется значительной долей (17-24%) торфяно-болотных, аллювиальных (пойменных) и деградированных торфяно-минеральных почв.

В России в группу с низкой степенью радиоэкологической напряжённости вошёл Болховский район Орловской области (суммарный балл 4). В группу со средней степенью вошли 3 района Калужской области: Жиздринский и Хвастовичский (с суммарными баллами 7), Ульяновский (суммарный балл 8) и Плавский район Тульской области (суммарный балл 8). В группу с высокой степенью экологической напряжённости вошли юго-западные районы Брянской области: Красногорский (суммарный балл 9), Гордеевский и Злынковский (с суммарными баллами 11), а также Клинцовский и Новозыбковский (с суммарными баллами 12).

Агрохимслужбами и межобластными ветеринарными лабораториями указанных областей проводится радиационный контроль продукции растениеводства, кормопроизводства и животноводства в коллективных хозяйствах, частном секторе, а также на рынках и предприятиях по переработке сельскохозяйственной продукции. Доля кормов и продукции растениеводства с превышением нормативов в 2017-2018 гг. в группе с высокой степенью радиоэкологической напряжённости варьировала от 4 до 16%, а в группах со средней и низкой степенью радиоэкологической напряжённости отмечено отсутствие превышения нормативов по содержанию ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции, что согласуется с расчётными рисками [10].

Заключение

Разработанная и апробированная на территориях Беларуси и России методология показала, что комплексная почвенно-радиоэкологическая оценка и районирование радиоактивно загрязнённых сельскохозяйственных земель – способ ранжирования, объективно учитывающий территориальное сочетание радиологических и почвенных условий, характера и интенсивности их проявления, обуславливающих риски (вероятности) производства сельскохозяйственной продукции с превышением гигиенических нормативов по содержанию радионуклидов и лимитирующих эффективное землепользование.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Б18Р-133) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-516-00006).

Литература

1. Брук Г.Я., Романович И.К., Базюкин А.Б., Братилова А.А., Власов А.Ю., Громов А.В., Жеско Т.В., Кадука М.В., Кравцова О.С., Сапрыкин К.А., Степанов В.С., Титов Н.В., Яковлев В.А. Средние годовые эффективные дозы облучения в 2017 году жителей населённых пунктов Российской Федерации, отнесённых к зонам радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС (для целей зонирования населённых пунктов) //Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 4. С. 73-78.
2. Марадудин И.И., Жуков Е.А., Раздайковин А.Н., Радин А.И., Ромашкин Д.Ю. Радиоэкологическое районирование лесов, загрязнённых радионуклидами //Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49, № 4. С. 502-509.
3. Панов А.В., Санжарова Н.И., Шубина О.А., Гордиенко Е.В., Титов И.Е. Современное состояние и прогноз загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС //Радиация и риск. 2017. Т. 26, № 3. С. 66-74.
4. Алексахин Р.М., Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Ульяненко Л.Н., Филипас А.С., Панов А.В. Концепция реабилитации загрязнённых сельскохозяйственных угодий в отдалённый период после аварии на Чернобыльской АЭС //Вестник РАСХН. 2003. №3. С. 14-17.
5. Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Панов А.В. Реабилитационные мероприятия в агропромышленном комплексе как основа социально-экономического развития территорий, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС //Вестник РАСХН. 2009. № 6. С. 28-30.
6. Цыбулько Н.Н. Научно-методологическое обоснование и реализация мер радиационной защиты населения после катастрофы на Чернобыльской АЭС //Экологический вестник. 2015. № 2. С. 111-120.
7. Смеян Н.И. Совершенствование специализации сельскохозяйственного производства на основе почвенно-экологического районирования //Почвоведение и агрохимия. 2007. № 2. С. 15-27.
8. Цыбулько Н.Н. Районирование территории радиоактивного загрязнения Беларуси на основе комплексной почвенно-радиологической оценки //Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2018. № 1. С. 69-75.
9. Цыбулько Н.Н. Комплексная оценка и почвенно-радиоэкологическое районирование территории радиоактивного загрязнения Беларуси //Земля Беларуси. 2018. № 4. С. 32-35.
10. Панов А.В., Прудников П.В., Титов И.Е., Кречетников В.В., Ратников А.Н., Шубина О.А. Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязнённых радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС //Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 1. С. 25-35.

Soil-radioecological zoning of radioactively contaminated agricultural lands of Belarus and Russia

Tsybulko N.N.¹, Panov A.V.², Titov I.E.², Krechetnikov V.V.²

¹ Institute for Soil Science and Agrochemistry, Minsk;

² Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk

The paper presents the methodology of soil and radioecological zoning of agricultural lands exposed to radioactive contamination resulted from the Chernobyl accident. The ranking of agricultural lands is based on the composition and degree of soil contamination by radionuclides, as well as the composition and a specific gravity of soils, their properties (genetic affiliation, particle size distribution, hydromorphism, degree of erosion) and fertility level. The paper justifies the allocation as a typological unit of classification of agricultural lands, which is a district of a region. Also, developed an algorithm for the zoning of radioactively contaminated territories, which includes 7 stages. On the basis of a comprehensive assessment of soil and radiological factors, the agricultural lands were ranked within Belarussian and Russian regions, which were mostly affected by the Chernobyl accident. In Belarus and Russia, distinguished 4 and 3 groups of districts according to the degree of radioecological tension, respectively. In Belarus, the first group with a low degree of territorial tension is represented by 29 districts of six regions. The second group with an average degree of tension includes 9 districts of four regions. The third group with a high degree of tension is made up of 12 districts of three regions and the fourth group with a very high degree of radioecological tension of the territory consists of 7 districts of the Gomel region. In Russia, the first group includes one district of the Oryol region. The second group consists of 3 southern districts of the Kaluga region and one district of the Tula region. The third group includes 5 districts of the Bryansk region. It is shown that the optimisation of the radiation protection system of the population and the phased transition of the radioactively contaminated territories from the situation of emergency exposure to the situation of existing post-emergency exposure should be carried out differentially, depending on the group of districts.

Keywords: NPP Chernobyl accident, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, agricultural production, soil, zoning, density contamination, risks, radiation safety, rehabilitation.

References

1. **Bruc G.Ya., Romanovich I.K., Bazyukin A.B., Bratilova A.A., Vlasov A.Yu., Gromov A.V., Zhesko T.V., Kaduka M.V., Kravtsova O.S., Saprykin K.A., Stepanov V.S., Titov N.V., Yakovlev V.A.** The average annual effective radiation doses in 2017 of residents of settlements of the Russian Federation assigned to zones of radioactive contamination due to the Chernobyl disaster (for zoning of settlements). *Radiatsionnaya gigiyena – Radiation Hygiene*, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 73-78. (In Russian).
2. **Maradudin I.I., Zhukov E.A., Razdayvodin A.N., Radin A.I., Romashkin D.Yu.** Radioecological zoning of forests contaminated with radionuclides. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya – Radiation Biology. Radioecology*, 2009, vol. 49, no. 4. pp. 502-509. (In Russian).
3. **Panov A.V., Sanzharova N.I., Shubina O.A., Gordiyenko E.V., Titov I.E.** Contamination of agricultural lands in Bryansk, Kaluga, Orel and Tula regions with Cs-137 as a result of the Chernobyl accident: current status and prognosis. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 66-74. (In Russian).
4. **Aleksakhin R.M., Fesenko S.V., Sanzharova N.I., Ul'yanenko L.N., Filipas A.S., Panov A.V.** The concept of rehabilitation of contaminated agricultural land in the long-term period after the Chernobyl NPP accident. *Vestnik RASKHN – Bulletin of RAAS*, 2003, no. 3, pp. 14-17. (In Russian).
5. **Aleksakhin R.M., Sanzharova N.I., Panov A.V.** Rehabilitation measures in the agro-industrial complex as the basis for the socio-economic development of the territories affected by the Chernobyl NPP accident. *Vestnik RASKHN – Bulletin of RAAS*, 2003, no. 6, pp. 28-30. (In Russian).

Tsybulko N.N.* – Deputy Director, D. Sc., Agricult. BRISSA. **Panov A.V.*** – Deputy Director, D. Sc., Biol., Prof. RAS; **Titov I.E.** – Researcher; **Krechetnikov V.V.** – Researcher. RIRAE.

*Contacts: 90 Kazinets str., Minsk, Belarus, 220108. Tel.: +10-375-17-212-08-10; e-mail: nik.nik1966@tut.by.

6. **Tsybul'ko N.N.** Scientific and methodological substantiation and implementation of radiation protection measures for the population after the Chernobyl disaster. *Ekologicheskiy vestnik – Ecological Bulletin*, 2015, no. 2, pp. 111-120. (In Russian).
7. **Smeyan N.I.** Improving the specialization of agricultural production based on soil and ecological zoning. *Pochvovedeniye i agrokhimiya – Soil Science and Agrochemistry*, 2007, no. 2, pp. 15-27. (In Russian).
8. **Tsybul'ko N.N.** Zoning of the territory of radioactive contamination of Belarus based on a comprehensive soil and radiological assessment. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya – Journal of Belarusian State University. Ecology*, 2018, no. 1, pp. 69-75. (In Russian).
9. **Tsybul'ko N.N.** Comprehensive assessment and soil-radioecological zoning of the territory of radioactive contamination of Belarus. *Zemlya Belarusi – Land of Belarus*, 2018, no. 4, pp. 32-35. (In Russian).
10. **Panov A.V., Prudnikov P.V., Titov I.E., Krechetnikov V.V., Ratnikov A.N., Shubina O.A.** Radioecological assessment of agricultural land and products in south-west districts of the Bryansk region contaminated by radionuclides as the result of the Chernobyl NPP accident. *Radiatsionnaya gigiyena – Radiation Hygiene*, 2019, vol. 12, no. 1, pp. 25-35. (In Russian).