
РАДИОЭКОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOECOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 632.15:631.4

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ С ПРЕВЫШЕНИЕМ ДОПУСТИМЫХ УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs И ^{90}Sr НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Н. Н. ЦЫБУЛЬКО¹⁾

¹⁾Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси,
ул. Казинца, 90, 220108, Минск, Беларусь

Выполнена прогнозная оценка рисков производства сельскохозяйственной продукции с превышением допустимых уровней по содержанию радионуклидов. Оценка базировалась на показателях предельно допустимой плотности загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr для получения разных видов товарной продукции растениеводства, сельскохозяйственного сырья и кормов. Все районы на территории радиоактивного загрязнения сгруппированы в зависимости от степени риска производства различных видов сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: ^{137}Cs ; ^{90}Sr ; почвы; оценка; риски; сельскохозяйственная продукция; дозовые нагрузки.

Образец цитирования:

Цыбулько Н. Н. Оценка рисков производства сельскохозяйственной продукции с превышением допустимых уровней содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr на территории радиоактивного загрязнения // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. 2018. № 2. С. 57–70.

For citation:

Tsybulka M. M. Assessment of agricultural production risks with exceeding the admissible levels content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the territory of radioactive contamination. *J. Belarus. State Univ. Ecol.* 2018. No. 2. P. 57–70 (in Russ.).

Авторы:

Николай Николаевич Цыбулько – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; заместитель директора по научной работе.

Authors:

Mikalai M. Tsybulka, doctor of science (agriculture), associate professor; deputy director for science.
nik.nik1966@tut.by

ASSESSMENT OF AGRICULTURAL PRODUCTION RISKS WITH EXCEEDING THE ADMISSIBLE LEVELS CONTENT OF ^{137}Cs AND ^{90}Sr IN THE TERRITORY OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

M. M. TSYBULKA^a

^aThe Institute for Soil Science and Agrochemistry of National Academy of Sciences of Belarus,
Kazinets street, 90, 220108, Minsk, Belarus

The forecast estimation of risks of production of agricultural products with excess of admissible levels on the maintenance of radionuclides is performed. The assessment was based on the maximum permissible density of soil pollution ^{137}Cs and ^{90}Sr to obtain different types of marketable crop production, agricultural raw materials and feed. All areas of radioactive contamination are grouped according to the degree of risk of producing different types of agricultural products.

Key words: ^{137}Cs ; ^{90}Sr ; почвы; оценка; риски; сельскохозяйственная продукция; дозовые нагрузки.

Введение

Пространственные различия в характере и уровнях радиоактивного загрязнения и особенностях почвенного покрова территории обуславливают пространственную дифференциацию радиационной обстановки, радиационные риски (вероятности) производства пищевых продуктов, сельскохозяйственной продукции и сырья с превышением гигиенических нормативов по содержанию радионуклидов и дозовые нагрузки на население на определенной территории.

Под радиационными рисками понимается присутствие радионуклидов, которые могут оказать вредное воздействие на здоровье людей в результате производства и потребления пищевых продуктов со сверхнормативным их содержанием. На основе измеряемых характеристик рассчитываются показатели, которые определяют прогнозные риски производства основных видов растениеводческой продукции (зерно, картофель, овощи) на пищевые цели и кормов для получения основных видов продукции животноводства (молоко, мясо) с содержанием ^{137}Cs и ^{90}Sr , превышающим установленные нормативы.

Цель исследования – на основе анализа территориальных сочетаний радиологических и почвенных факторов, характера и интенсивности их проявления определить риски (вероятности) производства сельскохозяйственной продукции с содержанием радионуклидов, превышающем допустимые нормативы, а также установить взаимосвязь их с дозовыми нагрузками на население по группам районов.

Почвенно-радиологические условия и риски загрязнения сельскохозяйственной продукции

Из 118 административных районов Беларуси в 57 имеются сельскохозяйственные земли, загрязненные ^{137}Cs с плотностью от 1 до 40 Ки/км². Кроме этого в 26 районах сельскохозяйственные земли одновременно загрязнены и ^{90}Sr с плотностью от 0,15 до 3,0 Ки/км². В разрезе районов площади и доля загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr земель колеблются в очень широких пределах. Удельный вес земель, загрязненных ^{137}Cs , изменяется от 0,1 до 100 %, ^{90}Sr – от 0,1 до 96,3 % от общей площади сельскохозяйственного землепользования района. В зависимости от удельного веса земель, загрязненных ^{137}Cs с плотностью 1,0–40,0 Ки/км² и (или) загрязненных ^{90}Sr с плотностью 0,15–3,0 Ки/км², все районы разделены на 4 группы (табл. 1).

Первую группу представляют районы, в которых доля таких земель не превышает 10 %, вторую группу – районы с долей 11–25 %, третью группу – с долей 26–50 % и четвертую группу – районы с долей загрязненных земель >50 %. Из 57 районов в 25 удельный вес загрязненных ^{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 четвертой группам по степени загрязнения, сосредоточено 81 % (79 тыс. га) всех загрязненных ^{137}Cs сельскохозяйственных земель, тогда как в остальных 34 районах, относящихся к первой и второй группам, – 19 % (18,5 тыс. га).

Доля загрязненных ^{137}Cs земель в составе землепользования не превышает 10 % в Березовском, Дрогичинском, Ивановском, Пинском р-нах Брестской обл., Толочинском р-не Витебской обл., Житковичском, Петриковском и Светлогорском р-нах Гомельской обл., Кореличском, Сморгонском и Дятловском р-нах Гродненской обл., Борисовском, Вилейском, Крупском, Логойском, Минском, Молодечненском,

Слуцком и Столбцовском р-нах Минской обл., Бельничском, Бобруйском, Кировском, Климовичском, Кличевском, Мстиславском р-нах Могилевской обл. От 11 до 25 % загрязнены ^{137}Cs земли в Столинском р-не Брестской обл., Жлобинском, и Калинковичском р-нах Гомельской обл., Новогрудском и Ивьевском р-нах Гродненской обл., Березинском, Воложинском и Солигорском р-нах Минской обл., Могилевском р-не Могилевской обл. Земли загрязнены от 26 до 50 % в Лунинецком р-не Брестской обл., Гомельском, Добрушском, Лельчицком, Лоевском, Мозырском и Речицком р-нах Гомельской обл., Костюковичском, Кричевском и Чаусском р-нах Могилевской обл. Наиболее высокий удельный вес (более 50 %) загрязненных ^{137}Cs земель отмечается в Брагинском, Буда-Кошелевском, Ветковском, Ельском, Кормянском, Наровлянском, Рогачевском, Хойникском и Чечерском р-нах Гомельской обл., Быховском, Краснопольском, Славгородском и Чериковском р-нах Могилевской обл.

Таблица 1

Распределение районов по удельному весу загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственных земель

Table 1

The distribution of districts according to the specific weight of ^{137}Cs and ^{90}Sr contaminated agricultural land

Градации по удельному весу земель в районе, %	Радионуклид	Площадь земель		Всего районов
		га	% от общей площади	
До 10	^{137}Cs	47714	4,9	25
	^{90}Sr	12065	3,6	14
11–25	^{137}Cs	137679	14,1	9
	^{90}Sr	32863	9,8	3
26–50	^{137}Cs	232445	23,7	10
	^{90}Sr	104642	31,1	6
Более 50	^{137}Cs	561664	57,3	13
	^{90}Sr	186748	55,5	5

Из 28 районов, загрязненных ^{90}Sr , в 14 удельный вес загрязненных 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 загрязненных ^{90}Sr районах сосредоточено 96 % всех загрязненных этим радионуклидом земель, тогда как в остальных 14 районах – 4 %. Незначительная доля (до 10 %) сельскохозяйственных земель загрязнена ^{90}Sr в Лунинецком, Пинском и Столинском р-нах Брестской обл., Жлобинском, Лельчицком, Кормянском, Мозырском, Рогачевском и Светлогорском р-нах Гомельской обл., Быховском, Климовичском, Краснопольском, Кричевском и Славгородском р-нах Могилевской обл. Земли Буда-Кошелевского р-на Гомельской обл., Костюковичского и Чериковского р-нов Могилевской обл. загрязнены ^{90}Sr в средней степени (от 11 до 25 %). В Гомельском, Добрушском, Ельском, Калинковичском, Лоевском и Чечерском р-нах Гомельской обл. загрязнено от 26 до 50 % земель. Наибольший удельный вес (более 50 %) загрязненных ^{90}Sr земель в Брагинском, Ветковском, Наровлянском, Речицком и Хойникском р-нах Гомельской обл.

Удельный вес загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr земель в составе сельскохозяйственного землепользования является количественным показателем, характеризующим степень радиоактивного загрязнения территории, определяющей ограничения в возделывании сельскохозяйственных культур. Качественными являются показатели, отражающие плотности загрязнения земель ^{137}Cs и ^{90}Sr . В качестве таких критериев были приняты значения удельного веса в составе загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственных земель, почв с плотностью загрязнения соответственно 5 Ки/км², 0,30 Ки/км² и выше, которые являются наиболее «проблемными» для производства продукции, отвечающей гигиеническим нормативам.

Земли, загрязненные ^{137}Cs 5 Ки/км² и выше, имеются в Брестской, Гомельской, Гродненской, Минской и Могилевской обл. Общая площадь их составляет 210670 га или 21,5 % от общей площади загрязненных ^{137}Cs земель. В 33 из 57 загрязненных ^{137}Cs районов в составе земель имеются земли, загрязненные с плотностью 5 Ки/км² и выше. Основные массивы их сосредоточены в 6 районах Гомельской обл. – Ветковском, Кормянском, Хойникском, Наровлянском, Чечерском, Буда-Кошелевском и 3 районах Могилевской обл. – Славгородском, Костюковичском и Чериковском.

Из 28 районов, загрязненных ^{90}Sr , в 13 районах имеются сельскохозяйственные земли, загрязненные данным радионуклидом с плотностью 0,30 Ки/км² и выше. Общая площадь этих земель составляет 138906 га и основные массивы их находятся в 6 районах Гомельской обл. – Брагинском, Хойникском, Речицком, Добрушском, Ветковском и Калинковичском.

По удельному весу земель, загрязненных ^{137}Cs с плотностью 5 Ки/км² и выше и ^{90}Sr 0,30 Ки/км² 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 четвертую группу – районы с долей загрязненных земель >10,0 % (табл. 2).

На 18 районов, в которых доля земель с плотностью загрязнения ^{137}Cs 5 Ки/км² 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 четвертой группам (более 10 %) – более 200 тыс. га или 95 %.

Из 13 районов, где имеются земли, загрязненные ^{90}Sr с плотностью 0,30 Ки/км² и выше, в 6 районах, которые относятся к третьей (5,1–10,0 %) и четвертой группам (более 10 %), сосредоточено 85 % (118,5 тыс. га) этих земель, а в остальных 7 районах, относящихся к первой (до 1 %) и второй (1,1–5,0 %) группам, – только 15 % (20,3 тыс. га).

Генетические свойства и плодородие почв, наряду с характером и степенью их радиоактивного загрязнения, играют важнейшую роль, связанную с поведением радионуклидов в агроэкосистемах, параметрами поступления их по пищевым цепочкам.

Таблица 2

Распределение районов по удельному весу земель, загрязненных ^{137}Cs с плотностью 5 Ки/км² и выше и ^{90}Sr 0,30 Ки/км² и выше

Table 2

The distribution of districts according to the specific weight of land contaminated with ^{137}Cs with a density of 5 Ki/km² and above and ^{90}Sr of 0.30 Ki/km² and above

Градации по удельному весу земель в районе, %	Радионуклид	Площадь земель		Всего районов
		га	% от общей площади	
До 1,0	^{137}Cs	10268	4,9	18
	^{90}Sr	308	0,2	2
1,1–5,0	^{137}Cs	65397	31,0	8
	^{90}Sr	20003	14,4	5
5,1–10,0	^{137}Cs	64079	30,4	4
	^{90}Sr	39905	28,7	4
Более 10,0	^{137}Cs	70926	33,7	3
	^{90}Sr	78690	56,7	2
Всего	^{137}Cs	210670	100	33
	^{90}Sr	138906	100	13

Сельскохозяйственные земли районов, подвергшихся радиоактивному загрязнению, характеризуются значительной пестротой почвенного покрова, широким разнообразием его компонентного состава, обусловленным типовыми различиями, степенью увлажнения, гранулометрическим составом почвообразующих и подстилающих пород. На почвенных картах отдельных землепользователей часто выделяется до 40 и более разновидностей, различающихся между собой водно-физическими и агрохимическими свойствами [1].

В составе сельскохозяйственных земель встречаются дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболоченные, дерново-карбонатные, дерновые, торфяно-болотные, аллювиальные (пойменные, торфяно-болотные), дерновые заболоченные, деградированные торфяно-минеральные, минеральные остаточные-торфяные и минеральные постторфяные. Однако на фоне общей пестроты, основной фонд представляют дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы, занимающие соответственно 33,4 и 35,6 %. Всего на территории радиоактивного загрязнения эти почвы в сумме составляют около 700,0 тыс. га. 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 районам наблюдаются колебания в распределении почв по типам. Дерново-подзолистые автоморфные почвы преобладают в Бельничском, Быховском, Кричевском, Могилевском, Славгородском, Чаусском, Чечерском, Ветковском, Кормянском, Добрушском районах, где их площади составляют

40–60 % от площади сельскохозяйственных земель. Среди дерново-подзолистых почв в виде мелких пятен и островов встречаются дерновые и дерново-карбонатные почвы с высоким потенциальным плодородием. Однако площадь их составляет только около 95 тыс. га или 9,5 % от площади загрязненных радионуклидами земель. Крупноконтурные массивы и участки этих почв расположены в районах Полесья – Лунинецком, Пинском и Столинском р-нах Брестской обл., Житковичском, Лоевском, Рогачевском и Хойникском р-нах Гомельской обл., а также в Солигорском р-не Минской обл. В этих районах удельный вес дерновых и дерново-карбонатных почв в составе сельскохозяйственных земель занимает 20 % и более. Дерново-подзолистые заболоченные почвы характерны для Белорусского Полесья (Наровлянский, Ельский и др. р-ны), а также для некоторых р-нов Могилевской обл. с выровненным рельефом (Костюковичский, Краснопольский р-ны), где их площадь составляет более 50 %. Дерновые заболоченные почвы занимают большие площади в Лунинецком, Пинском, Столинском, Брагинском, Добрушском, Лоевском, Речицком и Хойникском р-нах (15–40 %), а аллювиальные дерновые заболоченные – в Столинском, Гомельском, Лоевском, Мозырском, Рогачевском и Быховском (более 10 %).

В Полесском регионе значительное распространение получили торфяно-болотные почвы, в ряде районов их площади составляют 15–35 % (Лунинецкий, Брагинский, Ельский, Калинковичский, Лельчицкий, Хойникский р-ны). Большие площади торфяных почв имеются также в Быховском р-не Могилевской обл. (13,6 %). Наибольшие площади деградированных (торфяно-минеральных, минеральных остаточнo-торфяных и минеральных постторфяных) почв имеются в Лунинецком, Ельском, Калинковичском р-нах (более 10 %).

Поступление радионуклидов в растения существенно зависит от гранулометрического состава почвы. По гранулометрическому составу в составе сельскохозяйственных земель загрязненной радионуклидами территории преобладают супесчаные почвы – 46,4 %, песчаные занимают 27,9 %, а глинистые и суглинистые – 12,5 %. Высоким удельным весом суглинистых почв характеризуются отдельные районы Могилевской области (Кричевский – 63,8 %, Могилевский – 36,8 %, Бельничский – 36,3 %, Чериковский – 28,5 %), а также Столинский р-н Брестской обл. (25,9 %). В ряде районов такие почвы практически отсутствуют (менее 1 %). Это Лунинецкий, Пинский, Брагинский, Ельский, Калинковичский, Лельчицкий р-ны. Наибольшие площади супесчаных почв в Могилевской обл. Более 60 % сельскохозяйственных земель они занимают в Быховском, Костюковичском, Краснопольском, Славгородском, Чауском и Чериковском р-нах. В некоторых районах Гомельской области они также преобладают (Будакашелевский, Ветковский, Добрушский, Кормянский, Рогачевский – более 50 %). Песчаные почвы преобладают на территории Полесья, занимающие более 50 % площади земель в Лунинецком, Пинском, Гомельском, Ельском, Калинковичском, Лельчицком, Лоевском, Мозырском, Наровлянском р-нах.

Степень увлажнения – важнейший фактор, определяющий параметры миграции радионуклидов в системе «почва–растение». На территории радиоактивного загрязнения в составе сельскохозяйственных земель автоморфные почвы занимают 33,1 %, полугидроморфные – 52,0 %, гидроморфные – 14,9 %. Площади полугидроморфных и гидроморфных почв составляют 66,9 %. По районам этот показатель колеблется от 40,8 % в Чериковском р-не до 94,9 % – в Лунинецком.

При оценке почвенного покрова важное значение имеет выделение почв с высокими параметрами перехода радионуклидов в растения. К таким почвам относятся: торфяно-болотные, торфяно-глеевые, деградированные торфяно-минеральные, минеральные остаточнo-торфяные и минеральные постторфяные и аллювиальные (пойменные) почвы. Значительные площади таких почв отмечаются в Лунинецком и Пинском р-нах Брестской обл., Петриковском р-не Гомельской обл., Солигорском р-не Минской обл. От 20 до 30 % таких почв в Брагинском, Ельском, Лельчицком р-нах Гомельской обл. (рис. 1).

В результате оценки получена итоговая сумма баллов по каждому району, которая характеризует степень радиоэкологической напряженности территории. Суммарный балл по районам, в зависимости от сочетаний радиологических и почвенных условий, колеблется от 1 до 19. Минимальным баллом (1) характеризуются районы, в которых загрязненные ^{137}Cs земли составляют не более 10 %, отсутствуют земли с плотностью загрязнения 5 Ки/км² и выше, а также земли, загрязненные ^{90}Sr , и почвы с высокими параметрами перехода радионуклидов в растения.

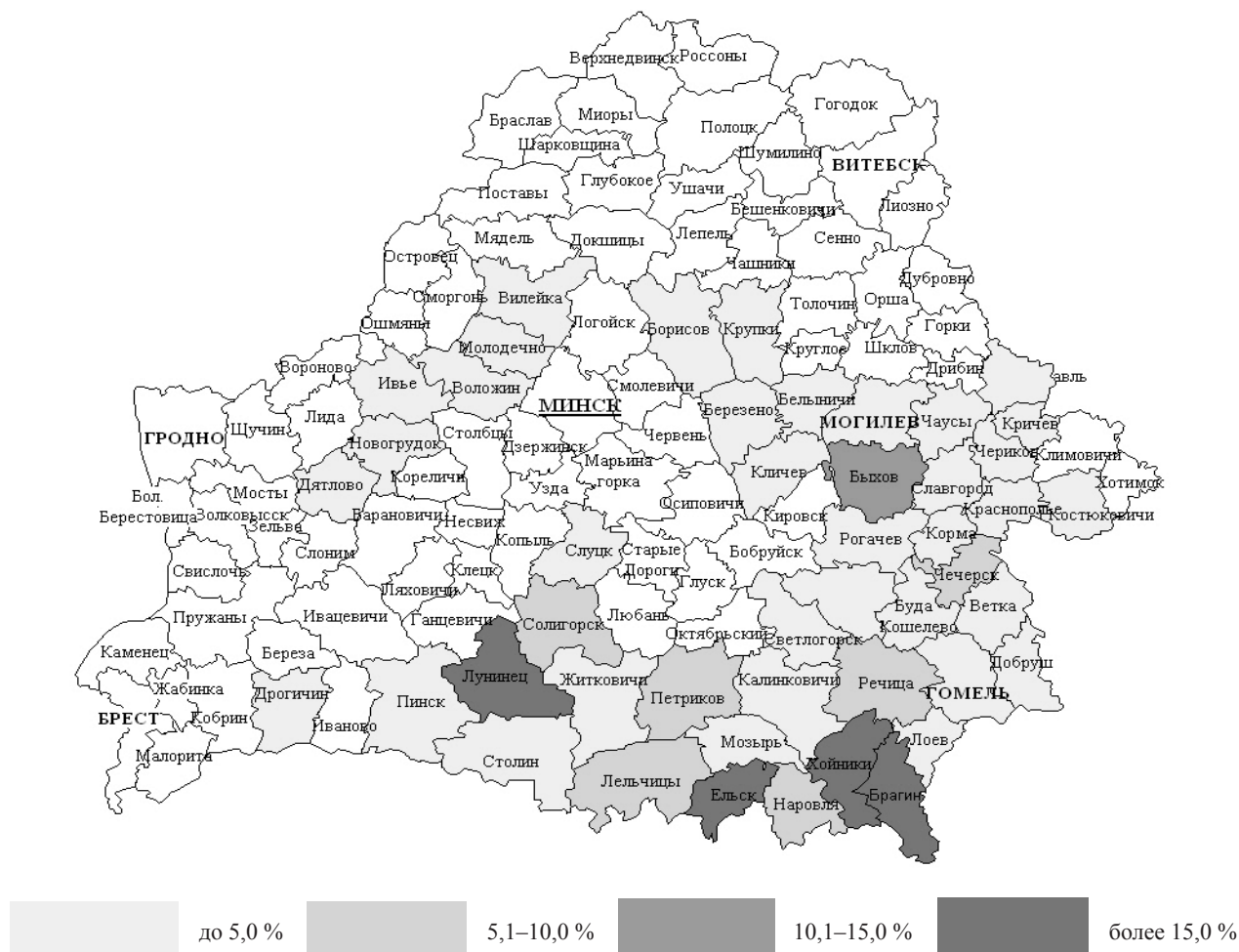


Рис. 1. Удельный вес почв с высокими параметрами перехода радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию

Fig. 1. Specific gravity of soils with high radionuclide transport parameters agricultural product

Из 57 загрязненных районов минимальный балл отмечается в 10 районах. Максимальный балл (19) имеют районы, в которых почти вся площадь земель загрязнена ^{137}Cs и ^{90}Sr , в том числе с высокой плотностью, а также в структуре почвенного покрова значительную долю занимают почвы с высокими параметрами перехода радионуклидов. Максимальный балл имеет 1 район (табл. 3).

Таблица 3

Суммарная балльная оценка районов по радиологическим и почвенным факторам

Table 3

Total score assessment of areas by radiological and soil factors

Сумма баллов	Количество районов	Максимальный удельный вес в составе землепользования почв, %				
		загрязненных ^{137}Cs 1–40 Ки/км ²	загрязненных ^{90}Sr 0,15–3,0 Ки/км ²	загрязненных ^{137}Cs 5–40 Ки/км ²	загрязненных ^{90}Sr 0,30–3,0 Ки/км ²	с высоким переходом ^{137}Cs и ^{90}Sr
1–2	20	7,9	0	0	0	0,6
3–4	9	22,2	0	0,2	0	6,8
5–6	7	44,8	4,9	0,9	0	6,3
7–8	2	55,0	0,2	2,3	0	10
9–10	10	100,0	34,6	13,1	6,5	17,6
11–12	1	82,1	21,3	5,1	1,5	4,4

Окончание табл. 3

Ending table 3

Сумма баллов	Количество районов	Максимальный удельный вес в составе землепользования почв, %				
		загрязненных ^{137}Cs 1–40 Ки/км ²	загрязненных ^{90}Sr 0,15–3,0 Ки/км ²	загрязненных ^{137}Cs 5–40 Ки/км ²	загрязненных ^{90}Sr 0,30–3,0 Ки/км ²	с высоким переходом ^{137}Cs и ^{90}Sr
13–14	4	88,3	56,5	8,1	8,4	23,6
15–16	2	98,6	77,8	11,2	5,1	6,8
17–19	2	94,2	95,7	9,4	29,5	19,0

Интегральными показателями степени экологической напряженности или состояния территорий являются экологические риски. При рассмотрении последствий облучения термин «риск» используется в его общем смысле, рассматривая его в качестве эквивалента понятию «опасность» [2]. По определению МАГАТЭ, риск – это многозначная величина, выражающая угрозу, опасность или возможность возникновения вредных или поражающих последствий в результате действительного или потенциального облучения [3].

Для оценки последствий воздействия техногенных факторов на агроэкосистемы в рамках существующей экологической ситуации предложено использовать два вида риска [4]:

- риск воздействия техногенных факторов на «критические» компоненты агроценозов с точки зрения их чувствительности и системообразующей роли;
- риск негативного воздействия на человека в результате увеличения содержания загрязняющих веществ в компонентах агроэкосистем и сельскохозяйственной продукции.

Радиационное воздействие на агроэкосистему может вызвать не только изменение ее компонентов и устойчивости в целом, но и нарушение целевой функций этой системы – производство продукции, отвечающей гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов.

К основным характеристикам радиационного фактора, оказывающего негативное влияние на человека при загрязнении агроэкосистемы радионуклидами, относятся содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и дозовая нагрузка на различные категории населения, формируемая в результате внутреннего и внешнего облучения. В связи с этим оценка последствий радиоактивного загрязнения агроэкосистемы должна выполняться с использованием в качестве нормативов допустимых содержаний радионуклидов в продукции.

В качестве критериев оценки рисков для населения наиболее целесообразно использовать нормативы, законодательно утвержденные и отраженные в соответствующих нормативных документах – гигиенические нормативы содержания радионуклидов в пищевых продуктах, сельскохозяйственной продукции, сырье и кормах.

Оценка последствий радиационного воздействия на компоненты экосистем и человека может быть выполнена на основе как фактических, так и прогнозируемых рисков. Идентификация фактических рисков осуществляется на получении данных радиационного контроля содержания радионуклидов в пищевых продуктах, сельскохозяйственном сырье и кормах. Определение фактических рисков целесообразно при локальных загрязнениях и в условиях квазиравновесной ситуации, когда воздействие радиационного фактора носит хронический характер. Расчет прогнозируемых рисков выполняется с использованием соответствующих методов прогноза.

Оценка радиационных рисков включает прогноз накопления радионуклидов в пищевых продуктах и прогноз дозовых нагрузок на человека в результате употребления данных продуктов. Выделены «критические» виды пищевых продуктов и сельскохозяйственной продукции. Прогноз радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции и соответствующих дозовых нагрузок от внутреннего облучения при потреблении такой продукции дают возможность: определить целесообразность производства той или иной продукции на имеющихся землях; выяснить возможность прямого использования продукции или необходимость ее переработки; выявить критические продукты питания и разработать рекомендации по изменению структуры пищевых рационов населения; определить необходимость проведения защитных мероприятий для снижения загрязнения продукции.

В разрезе районов выполнена прогнозная оценка рисков производства сельскохозяйственной продукции с превышением допустимых уровней по содержанию радионуклидов. Оценка базировалась на показателях предельно допустимой плотности загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr для получения разных видов товарной продукции растениеводства, сельскохозяйственного сырья и кормов. Выделены «критические»

виды сельскохозяйственной продукции – зерно на пищевые цели, картофель, овощи, зернофураж и зеленая масса для получения цельного молока и мяса.

На основе сравнительного анализа данных фактических уровней и площадей загрязненных сельскохозяйственных земель и расчетных параметров предельно допустимых плотностей загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr при получении разных видов растениеводческой продукции определен удельный вес площадей земель, на которых возможно превышение установленных нормативов по содержанию данных радионуклидов.

Для обеспечения высокого запаса прочности и оценки максимально возможного риска загрязнения продукции при расчетах допустимых плотностей загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr принимались коэффициенты перехода радионуклидов из почвы в растениеводческую продукцию при низких показателях плодородия ($\text{pH} - 4,6-5,0$, $\text{K}_2\text{O} - 81-140$ мг/кг почвы). По удельному весу земель, на которых возможно превышение в производимой продукции нормативов содержания радионуклидов, принята следующая градация степени рисков (табл. 4).

Таблица 4

Схема градации по степени риска производства сельскохозяйственной продукции

Table 4

Grading scheme for the degree of risk of agricultural production

Степень риска	Риск превышения нормативов в продукции, %
Риск отсутствует	0
Слабая	0,1–10,0
Средняя	10,1–25,0
Высокая	25,1–50,0
Очень высокая	> 50,0

На основании полученных данных рисков производства с превышением допустимых уровней содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне на пищевые цели, картофеле и овощах, зернофураже, корнеплодах и зеленой массе для получения молока и мяса выполнен корреляционно-регрессионный анализ с целью установления зависимостей между значениями (баллами) комплексной оценки районов и рисками производства в них перечисленных видов продукции.

Установлены тесные взаимосвязи показателей комплексной оценки районов и рисков производства с превышением допустимых уровней содержания ^{137}Cs в зерне на пищевые цели, а также зерновых культур (проса и гороха). Коэффициенты корреляции (r) составили 0,72–0,87 (табл. 5).

Таблица 5

Зависимости между показателями комплексной почвенно-радиологической оценки районов и рисками производства в них разных видов растениеводческой продукции по содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr

Table 5

Dependences between indicators of complex soil-radiological assessment of areas and production risks of different types crop production on the content of ^{137}Cs and ^{90}Sr

Вид продукции	Культура	Уравнение регрессии	r
	^{137}Cs		
Зерно на пищевые цели	Озимая рожь, озимая пшеница	$y = 0,0331x^2 + 0,1993x + 0,1957$	0,72
	Яровая пшеница, ячмень, овес	$y = 0,046x^2 + 0,344x + 0,2435$	0,87
Картофель и овощи	Картофель, столовая свекла, морковь, капуста	$y = 0,0135x^2 + 0,114x + 0,3867$	0,60
Зерно на фураж для производства молока	Озимая рожь, озимое тритикале, ячмень и овес	$y = 0,0346x^2 + 0,3138x + 0,4751$	0,85
	Горох, люпин	$y = 0,0813x^2 + 1,2746x - 3,3842$	0,70
Зерно на фураж для производства мяса	Озимая рожь, озимое тритикале, ячмень и овес	$y = 0,0346x^2 - 0,3138x + 0,4751$	0,82
	Горох	$y = 0,0521x^2 + 0,0489x - 0,5431$	0,66
	Люпин	$y = 0,0813x^2 + 1,2746x - 3,3842$	0,69
Зеленая масса для производства молока	Многолетние злаковые травы	$y = 0,0813x^2 + 1,2746x - 3,3842$	0,70
Зеленая масса для производства мяса	Многолетние злаковые травы	$y = 0,0742x^2 + 0,1389x - 0,2622$	0,71

Окончание табл. 5

Ending table 5

Вид продукции	Культура ⁹⁰ Sr	Уравнение регрессии	r
Зерно на пищевые цели	Озимая рожь, озимая пшеница и яровая пшеница, ячмень, овес	$y = 0,4129x^2 - 2,7677x + 3,439$	0,93
Картофель на пищевые цели	Картофель	$y = 0,3285x^2 - 4,0271x + 7,2647$	0,83
Овощи	Столовая свекла, морковь, капуста	$y = 0,4328x^2 - 4,867x + 8,3953$	0,91
Зерно на фураж для производства молока	Озимая рожь, озимое тритикале, ячмень и овес	$y = 0,3285x^2 - 4,0271x + 7,2647$	0,84
	Горох	$y = 0,4328x^2 - 4,867x + 8,3953$	0,91
	Люпин	$y = 0,4129x^2 - 2,7677x + 3,439$	0,93
Корнеплоды для производства молока	Кормовая свекла	$y = 0,4129x^2 - 2,7677x + 3,439$	0,93
Зеленая масса для производства молока	Многолетние бобово-злаковые травы	$y = 0,3205x^2 - 3,9303x + 7,0934$	0,83

Заметная взаимосвязь ($r = 0,60$) установлена между показателями комплексной оценки районов и рисками производства с превышением допустимых уровней по содержанию ¹³⁷Cs картофеля и овощей. Даже в районах с высокими оценочными баллами (12–16) риск получения продукции этих культур с превышением допустимых уровней невысокий – 4–6 %.

Высокие взаимосвязи показателей комплексной оценки районов установлены с рисками производства с превышением допустимых уровней по ¹³⁷Cs фуражного зерна, зеленой массы многолетних трав для использования при получении цельного молока. Коэффициенты корреляции составили от 0,70 до 0,85. Тесная взаимосвязь показателей установлена также с рисками производства фуражного зерна озимой ржи, озимого тритикале, ячменя и овса с превышением допустимых уровней по ¹³⁷Cs для использования с целью получения мяса.

Установлены тесные взаимосвязи показателей балльной оценки районов и рисков производства с превышением допустимых уровней содержания ⁹⁰Sr в пищевом зерне, картофеле и овощах (свекла, морковь, капуста), фуражном зерне зерновых культур, гороха и люпина, корнеплодов и зеленой массы многолетних бобово-злаковых трав.

На основе комплексной оценки почвенно-радиологических условий и рисков производства продукции все районы, расположенные на территории радиоактивного загрязнения, ранжированы по радиоэкологической напряженности. В зависимости от суммарной балльной оценки выделено 4 группы районов. Первую группу представляют районы, в которых суммарный балл колеблется от 1 до 4, вторую группу – районы от 5 до 8 баллов, третью группу – от 9 до 12 баллов, четвертую группу – районы с баллом 13 и выше (табл. 6).

Таблица 6

Распределение районов по степени радиоэкологической напряженности

Table 6

The distribution of districts according to the degree of radio-ecological tension

Группа	Степень радиоэкологической напряженности территории	Диапазон баллов	Всего районов	В том числе по областям					
				Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
I	Низкая	1–4	29	4	1	3	5	10	6
II	Средняя	5–8	9	1	–	4	–	1	3
III	Высокая	9–12	11	1	–	5	–	–	5
IV	Очень высокая	13 и более	8	–	–	8	–	–	–
Всего			57	6	1	20	5	11	14

На рис. 2 представлена синтезированная картодиаграмма выделенных групп районов по степени радиоэкологической напряженности. Первая группа с низкой степенью радиоэкологической напряженности

объединяет 29 районов, в которых доля земель, загрязненных ^{137}Cs с плотностью от 1 до 5 Ки/км², как правило, не превышает 10 % (в отдельных случаях может достигать 20 %), отсутствуют, или не превышают 0,5 % земли с плотностью загрязнения выше 5 Ки/км², а также отсутствуют земли, загрязненные ^{90}Sr . Доля почв, характеризующихся повышенным переходом радионуклидов в растения, как правило, не превышает 5 %, только в отдельных случаях (Петриковский р-н) может достигать 6,8 %.

Анализ рисков производства сельскохозяйственной продукции с превышением допустимых уровней содержания радионуклидов в первой группе районов показал следующее. Из 29 районов, относящихся к этой группе, в 10 районах отсутствует риск превышения норматива по содержанию ^{137}Cs в зерне на пищевые цели озимых и яровых зерновых культур, в 19 районах существует слабая степень риска (не более 7 %). Возделывание гороха на пищевые цели в 24 районах имеет слабую степень риска, в 5 районах – среднюю степень (до 25 %). Во всех 29 районах отсутствуют риски производства картофеля и овощей с превышением допустимых уровней по содержанию ^{137}Cs . Только в 6 районах первой группы (Березинском, Воложинском, Житковичском, Могилевском, Новогрудском и Светлогорском) в кормопроизводстве имеется слабая степень риска (0,1–1,4 %) превышения содержания ^{137}Cs в фуражном зерне гороха и люпина, зеленой массе многолетних трав для использования при получении цельного молока, а также в фуражном зерне люпина – при использовании его для получения мяса. В остальных районах риски отсутствуют. В этой группе районов также отсутствуют риски производства товарной продукции растениеводства и кормов с превышением нормативов по содержанию ^{90}Sr .

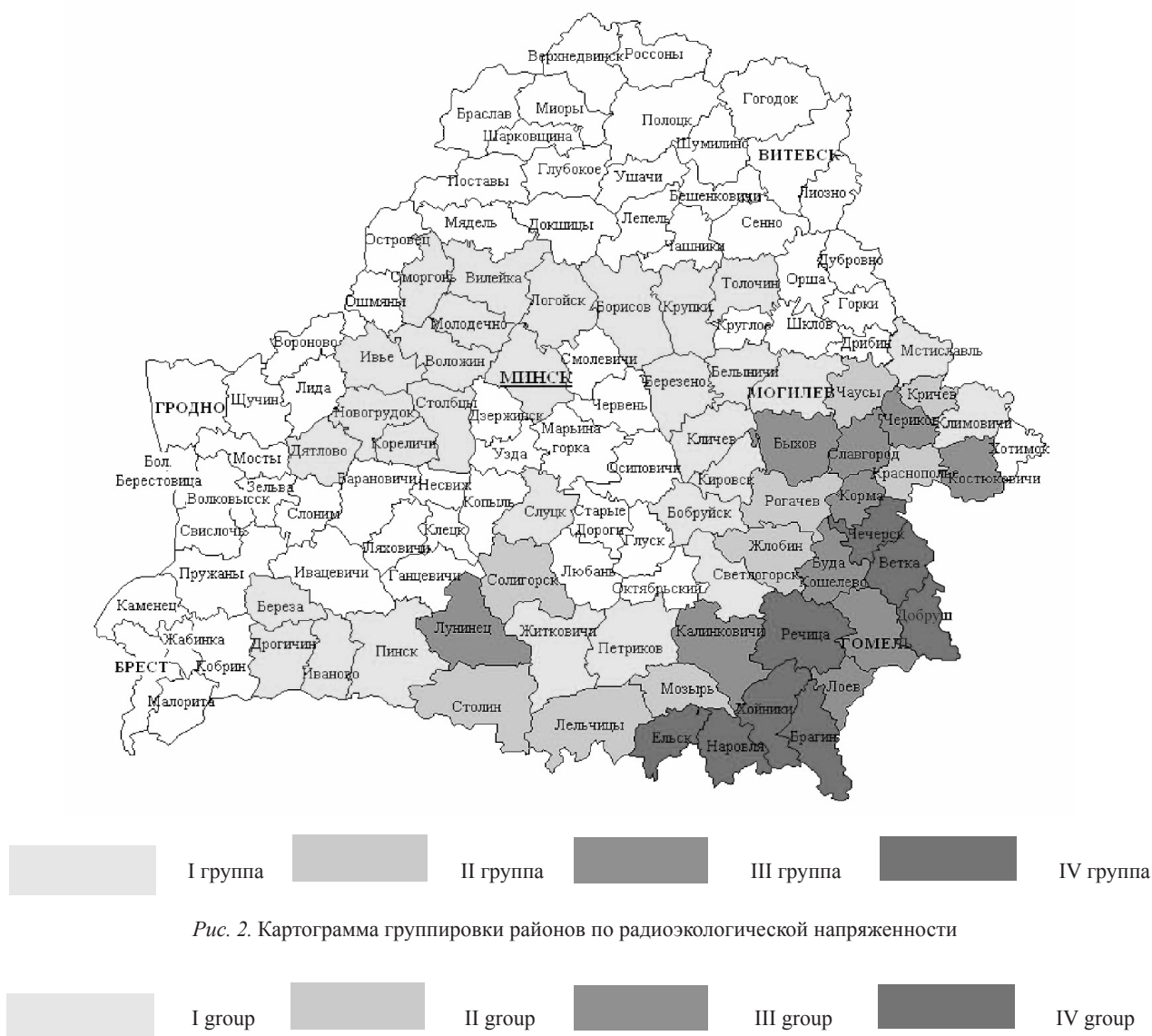


Рис. 2. Картограмма группировки районов по радиоэкологической напряженности

Fig. 2. The map of groupings of districts on radioecological tension

Во вторую группу (средняя степень радиоэкологической напряженности) входит 9 районов четырех областей – Брестской, Гомельской, Минской и Могилевской. Эта группа объединяет районы, в которых площади загрязненных ^{137}Cs земель колеблются от 11,9 до 100 %, в том числе имеются незначительные площади земель с плотностью загрязнения выше 5 Ки/км². Доля земель, загрязненных ^{90}Sr с плотностью 0,15–0,30 Ки/км², не превышает 10 % и отсутствуют с плотностью выше 0,30 Ки/км². Почвы, характеризующиеся повышенными параметрами поступления радионуклидов в растения, занимают 0,1–5,0 %. Только в таких районах, как Солигорский и Лельчицкий, их площади достигают 7–10 %.

В районах второй группы наблюдается слабый риск (0,1–6,3 %) превышения допустимого уровня содержания ^{137}Cs в зерне на пищевые цели озимых и яровых зерновых культур (озимая рожь, озимая пшеница, озимое тритикале, яровая пшеница, ячмень, овес), в 1-ом районе (Лельчицком) – средняя степень риска (1,1 %). В отношении возделывания проса и гороха на пищевые цели в 3-х районах (Лельчицком, Рогачевском и Чаусском) существует средняя степень риска. Высокие риски возделывания гороха пищевого (28,4–44,8 %) отмечаются в 4-х районах – Чаусском (44,8 %), Лельчицком (38,6 %), Мозырском (28,9 %) и Кричевском (28,4 %), в 1-ом районе (Рогачевском) наблюдается очень высокий риск – 59,8 %. При возделывании продовольственного картофеля и овощей только в 1-ом районе (Столинском) имеется слабый риск, в остальных районах они отсутствуют. Зерно фуражное озимых и яровых зерновых культур при использовании его для получения цельного молока и мяса (заклещительный откорм) можно производить без ограничений в 4-х районах (Жлобинском, Мозырском, Климовичском и Кричевском), в 5 районах (Лельчицком, Рогачевском, Солигорском, Столинском и Чаусском) имеются слабые риски (0,1–0,4 %). Возделывание гороха и люпина на зернофураж при использовании его для производства молока и мяса, многолетних трав при скормлинии зеленой массы животным для производства молока цельного имеет слабый риск в 7 районах. В 6 районах этой группы (Жлобинском, Климовичском, Лельчицком, Мозырском, Рогачевском, Столинском) отмечается слабая степень риска производства со сверхнормативным содержанием ^{90}Sr пищевого зерна озимых и яровых зерновых, фуражного зерна люпина и зеленой массы многолетних трав при использовании этих кормов для получения цельного молока. По остальным группам продукции риски отсутствуют.

Третью группу с высокой степенью напряженности включают 12 районов, в том числе 1 район Брестской области, 6 районов – Гомельской обл. и 5 районов Могилевской области. В этих районах площади загрязненных ^{137}Cs земель колеблются от 19 до 100 %, в том числе с плотностью загрязнения выше 5 Ки/км² могут достигать 11 %. Доля земель, загрязненных ^{90}Sr , изменяется от 1,0 до 31,0 %, в том числе с плотностью загрязнения выше 0,30 Ки/км² может достигать 10 %. В отдельных районах (Лунинецкий, Быховский) радиологическая ситуация усугубляется значительным (11–18 %) удельным весом в структуре землепользования почв с повышенными параметрами поступления радионуклидов в растениеводческую продукцию.

В 11 районах данной группы существуют высокие и очень высокие риски производства пищевого зерна гороха с превышением норматива по содержанию ^{137}Cs , а также в 3-х районах фуражного зерна гороха и люпина при использовании его для получения цельного молока и мяса. В 4-х районах этой группы (Гомельском, Добрушском, Калинковичском и Лоевском) наблюдаются высокие риски производства пищевого зерна озимых и яровых зерновых культур, гороха с превышением норматива по содержанию ^{90}Sr , а также фуражного зерна люпина и многолетних трав при использовании этих кормов для получения цельного молока.

В четвертую группу с очень высокой степенью радиоэкологической напряженности входит 7 наиболее загрязненных районов Гомельской обл. В этой группе практически весь земельный фонд подвержен загрязнению ^{137}Cs и ^{90}Sr . В этих районах сконцентрировано 44 % всех земель, загрязненных ^{137}Cs выше 5 Ки/км², и 79 % земель, загрязненных ^{90}Sr выше 0,30 Ки/км². В ряде районов (Ельском, Брагинском, Хойникском) радиологическая ситуация обостряется значительной долей (17–24 %) торфяно-болотных, аллювиальных (пойменных) и деградированных торфяно-минеральных почв.

В 6 из 7 районов этой группы наблюдается средняя степень риска производства пищевого зерна зерновых культур с превышением норматива по содержанию ^{137}Cs , а в 6 районах очень высокая степень риска производства гороха на пищевые цели. В 3-х районах имеется слабая степень и в 2-х средняя степень риска производства картофеля и овощей. Наибольшие риски в этой группе районов существуют в отношении ^{90}Sr . В 5 районах очень высокая вероятность получения со сверхнормативным содержанием ^{90}Sr пищевого зерна зерновых культур и гороха, фуражного зерна люпина, многолетних трав при использовании их для получения молока.

Оценочные данные рисков производства продукции с превышением допустимых уровней по содержанию радионуклидов согласуются с фактическими данными производства продукции с превышением содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в разрезе административных районов.

Оценка дозовых нагрузок на население по группам районов

Интегральным показателем оценки воздействия радиационного фактора на человека является дозовая нагрузка, формируемая внутренним и внешним облучением в результате загрязнения продукции и компонентов экосистем (прежде всего почв). В соответствии с законодательством Беларуси, жизнедеятельность на территории радиоактивного загрязнения не требует каких-либо ограничений, если средняя годовая эффективная доза облучения населения (СГЭД) не превышает 1 мЗв над уровнем естественного и техногенного радиационного фона. При превышении СГЭД 1 мЗв над уровнем естественного и техногенного радиационного фона проводятся защитные мероприятия [5]. Согласно КATALOGу 2015 г., средняя годовая эффективная доза облучения населения равна или превышает 1 мЗв в 82 населенных пунктах, что составляет 3,4 % от общего количества населенных пунктов, расположенных в зонах радиоактивного загрязнения. В этих населенных пунктах проживает 23,4 тыс. чел. или 2 % населения, проживающего на территории радиоактивного загрязнения [6].

В результате корреляционно-регрессионного анализа установлено, что между показателями комплексной почвенно-радиологической оценки районов, с одной стороны, и СГЭД в разрезе районов существует тесная взаимосвязь. Коэффициент корреляции составил 0,77 (рис. 3). Также высокая корреляция ($r = 0,70$) показателей суммарной оценки районов установлена с коллективными дозами облучения населения в разрезе районов (рис. 4).

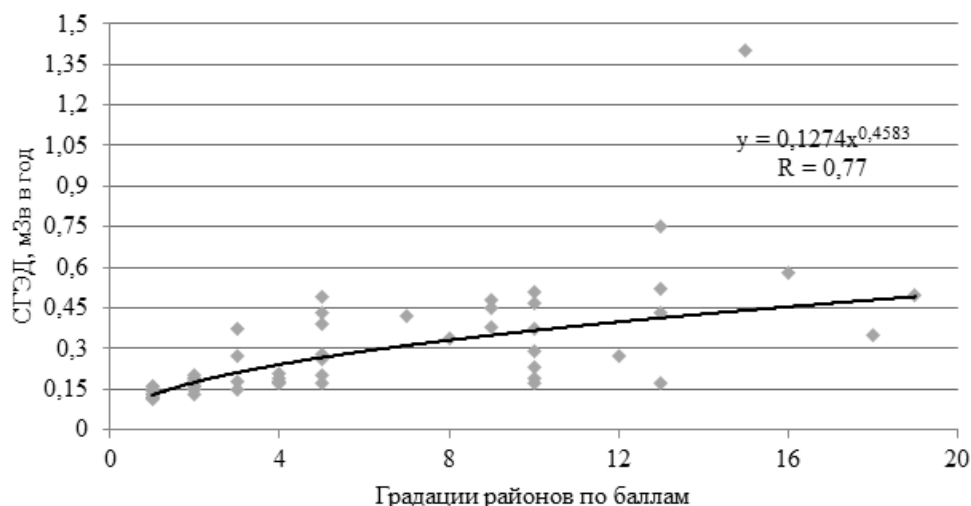


Рис. 3. Взаимосвязь показателей суммарной балльной оценки районов и средних годовых эффективных доз облучения населения по районам

Fig. 3. Interrelation of indicators of the total score estimation of areas and average annual effective doses of irradiation of the population on areas

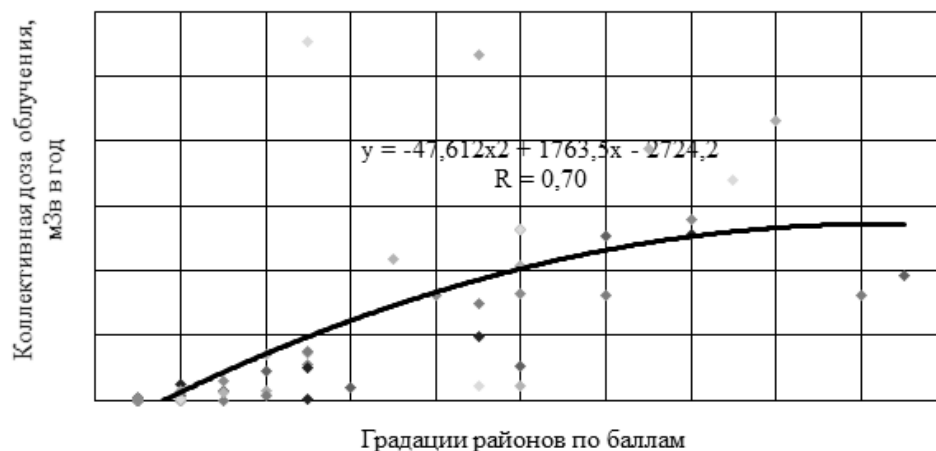


Рис. 4. Взаимосвязь показателей суммарной балльной оценки районов и коллективных доз облучения населения по районам

Fig. 4. Correlation between the total scores of the areas and collective doses of irradiation of the population in areas

Анализ данных перечня населенных пунктов, находящихся в зонах радиоактивного загрязнения, показал, что в первой группе районов отсутствуют населенные пункты, в которых СГЭД равна или превышает законодательно установленный предел (рис. 5). В этой группе районов средние годовые эффективные дозы облучения населения колеблются от 0,10 до 0,37 мЗв, составляя в среднем 0,17 мЗв, то есть они не превышают 37 % законодательно установленного дозового предела 1 мЗв.

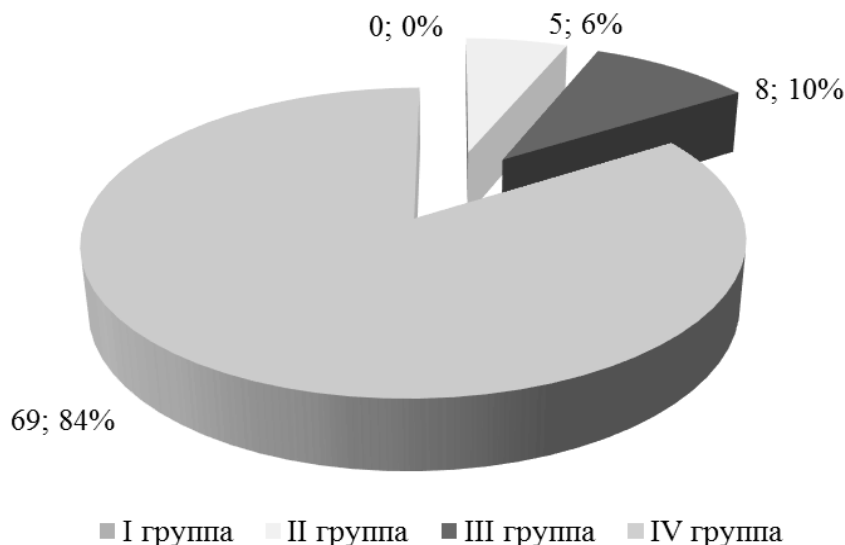


Рис. 5. Данные по количеству населенных пунктов, в которых СГЭД равна или превышает 1 мЗв по выделенным группам районов

Fig. 5. Data on the number of localities in which the average annual effective dose equal to or greater than 1 mSv for selected groups of areas

Во второй и третьей группах районов находится соответственно 5 и 8 населенных пунктов, в которых СГЭД равна или превышает законодательно установленный предел (1 мЗв), что составляет 6 и 10 % от общего их количества (82). Во второй и третьей группах районов СГЭД в среднем составляют соответственно 0,33 и 0,35 мЗв с колебаниями от 0,17 до 0,51 мЗв.

Из 82 населенных пунктов, в которых СГЭД равна или превышает законодательно установленный предел (1 мЗв), 69 населенных пунктов (84 % от их общего количества) расположены в районах четвертой группы. В этой группе районов значения СГЭД варьируют от 0,17 до 1,40 мЗв при среднем значении по группе районов 0,59 мЗв. В 4-х районах (Ветковском, Ельском, Чечерском, Хойникском) четвертой группы этот показатель также колеблется в пределах 0,50–0,75 мЗв и в 1-м районе (Наровлянском) он превышает 1,0 мЗв.

Заключение

Установлены тесные взаимосвязи показателей комплексной оценки районов и рисков производства с превышением допустимых уровней содержания ^{137}Cs в зерне на пищевые цели зерновых культур, проса и гороха с коэффициентами корреляции (r) 0,72–0,87. Заметная взаимосвязь ($r = 0,60$) установлена между показателями комплексной оценки районов и рисками производства с превышением допустимых уровней по содержанию ^{137}Cs картофеля и овощей. Даже в районах с высокими оценочными баллами (12–16) риск получения продукции этих культур с превышением допустимых уровней невелик – 4–6 %. Выявлены тесные взаимосвязи показателей балльной оценки районов и рисков производства с превышением допустимых уровней содержания ^{90}Sr в пищевом зерне, картофеле и овощах (свекла, морковь, капуста), фуражном зерне зерновых культур, гороха и люпина, корнеплодов и зеленой массе многолетних бобово-злаковых трав.

Между показателями комплексной почвенно-радиологической оценки районов, с одной стороны, СГЭД и коллективными дозами облучения населения в разрезе районов существуют тесные взаимосвязи с коэффициентами корреляции 0,77 и 0,70. Из 82 населенных пунктов, в которых СГЭД равна или превышает законодательно установленный предел (1 мЗв), 69 населенных пунктов (84 % от их общего количества) расположены в районах четвертой группы.

Библиографические ссылки

1. Смеян Н. И. Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси. Минск, 2007. –220 с.
2. Рекомендации международной комиссии по радиологической защите // Публикация 60. М., 1994. Ч. 2.
3. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты. Международное агентство по атомной энергии. Вена, 2008.
4. Методология оценки риска воздействия техногенных факторов различной природы на агросистемы. Обнинск, 2007.
5. Закон Республики Беларусь от 5 января 1998 г. № 122-З «О радиационной безопасности населения» // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г. № 266. 2/1537.
6. Цыбулько Н. Н. Научно-методологическое обоснование и реализация мер радиационной защиты населения после катастрофы на Чернобыльской АЭС // Эколог. вестн. 2015. № 2 (32). С. 111–120.

References

1. Smeyan N. I. Klassifikatsiya, diagnostika i sistematiicheskiy spisok pochv Belarusi. Minsk, 2007 (in Russ.).
2. Rekomendatsii mezhdunarodnoy komissii po radiologicheskoy zashchite. *Publikatsiya 60*. Moscow, 1994. Ch. 2 (in Russ.).
3. Glossariy MAGATE po voprosam bezopasnosti. Terminologiya, ispolzuyemaya v oblasti yadernoy bezopasnosti i radiatsionnoy zashchity. Mezhdunarodnoye agentstvo po atomnoy energii. Vena, 2008 (in Russ.).
4. Metodologiya otsenki riska vozddeystviya tekhnogennykh faktorov razlichnoy prirody na agrosistemy. Obninsk, 2007 (in Russ.).
5. Zakon Respubliki Belarus ot 5 yanvarya 1998 g. No. 122-Z «O radiatsionnoy bezopasnosti naseleniya». *Natsionalnyy reyestr pravovyykh aktov Respubliki Belarus*. 2008. No. 266. 2/1537 (in Russ.).
6. Tsybulka N. N. Nauchno-metodologicheskoye obosnovaniye i realizatsiya mer radiatsionnoy zashchity naseleniya posle katastrofy na Chernobylskoy AES. *Ekolog. vestn.* 2015. No. 2 (32). P. 111–120 (in Russ.).

Статья поступила в редколлегию 10.05.2018
Received by editorial board 10.05.2018