

ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС. К 35-ЛЕТИЮ КАТАСТРОФЫ

УДК 574:539.163:614.73:614.876

ДИНАМИКА И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИЯХ АВАРИЙНОГО ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО СЛЕДА В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2021 г. А. А. Бурякова^{1,*}, Н. Н. Павлова¹, И. И. Крышев¹, М. Н. Каткова¹

¹ Научно-производственное объединение “Тайфун”, Обнинск, Россия

*E-mail: buryakova@rpatyphoon.ru

Поступила в редакцию 11.01.2021 г.

После доработки 29.01.2021 г.

Принята к публикации 24.02.2021 г.

Проведен анализ современной радиоэкологической обстановки территории Брянской области, загрязненной в результате чернобыльской аварии, на основе расчета мощности дозы облучения референтных объектов наземной биоты. Исходными данными для оценки служили данные наблюдений (май–декабрь 1986–2020 гг.) о плотности загрязнения почвы в районах Брянской области, находящихся в границах различных зон радиоактивного загрязнения. В качестве референтных организмов наземной биоты были выбраны лось, рыжая полевка, сосна обыкновенная, дождевой червь. Суммарная мощность дозы облучения рассматриваемых объектов биоты определялась в соответствии с рекомендациями МКРЗ и Росгидромета Р 52.18.820–2015. При проведении оценки дозовой нагрузки учитывался ¹³⁷Cs как основной дозообразующий радионуклид, вклад ⁹⁰Sr в мощность дозы облучения незначительный (0.1–4.9%). С целью анализа радиационной безопасности объектов биоты осуществлена проверка выполнения условия непревышения экологически безопасного уровня для интегрального показателя загрязнения почвы (ИПЗ) районов Брянской области. Согласно современным данным мониторинга для всех районов области на территории аварийного чернобыльского следа ИПЗ почвы значительно ниже экологически безопасного уровня, за исключением зон отчуждения. Максимальные дозы облучения биоты характерны для лося, обитающего в окрестностях с. Заборье Красногорского района. По консервативной оценке высокая дозовая нагрузка на биоту с превышением безопасного уровня облучения биоты (БУОБ) для лося и мыши наблюдалась в 1986 г. в Новозыбковском районе. За исключением зоны отчуждения в настоящее время мощность дозы облучения референтных организмов биоты в загрязненных районах области на порядок ниже БУОБ. В будущем рекомендуется продолжить вести радиоэкологические исследования территорий и мониторинг радиационной обстановки наиболее загрязненных районов Брянской области и организовать в зонах отчуждения радиоэкологический заповедник.

Ключевые слова: радиоэкологическая обстановка, Брянская область, многолетняя динамика, чернобыльская авария, аварийный след, зона отчуждения, биота, референтные организмы, ¹³⁷Cs, доза, интегральный показатель загрязнения

DOI: 10.31857/S0869803121030048

На территории Российской Федерации в результате аварии на Чернобыльской АЭС максимальному загрязнению подверглись районы Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей. Среди них наиболее высокие уровни радиоактивного загрязнения характерны для некоторых районов Брянской области – Гордеевского, Злынковского, Клинцовского, Красногорского и Новозыбковского районов. Площадь территории Брянской области с максимальной плотностью загрязнения почвы ¹³⁷Cs (>1480 кБк/м²) в 1986 г. достигала 310 км² [1–4]. Согласно прогнозным оценкам на отдельных участках территории Брянской области даже в 2046 г. будут наблюдаться

значения плотности загрязнения почвы ¹³⁷Cs выше 555 кБк/м² [5].

Особенностью формирования радиоактивного следа была неоднородность загрязнения территории в результате фракционирования радиоактивных выпадений и влияния погодных условий [6]. В первый период после аварии максимальные уровни радиоактивного загрязнения почвы обуславливались, главным образом, сравнительно короткоживущими радионуклидами: ⁸⁹Sr, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹³¹I, ¹³²Te, ¹³²I, ²³⁹Np, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴⁰La, ¹⁰³Ru, ¹⁴¹Ce. После распада короткоживущих нуклидов существенный вклад в дозовую нагрузку на объекты наземной биоты в зоне отчуждения Чернобыльской

АЭС вносили ^{137}Cs , ^{134}Cs и ^{90}Sr , а на отдельных участках – трансураниевые радионуклиды [7, 8]. Стоит отметить, что территория Брянской области относится к дальней зоне радиоактивного “чернобыльского” следа (более 130 км от источника выброса), где в радиоактивных выпадениях преобладали изотопы летучих элементов (йод, теллур, цезий) в форме конденсационных частиц [2].

На сегодняшний день накоплен значительный опыт радиологических исследований на изучаемой территории в области лесной [9–12], водной [13–15], а также сельскохозяйственной радиэкологии [3, 4, 16]. Вместе с тем сохраняет актуальность проблема оценки радиэкологических последствий аварии для зон отчуждения и в целом для чернобыльского аварийного следа на территории Брянской области.

Цель настоящего исследования заключалась в том, чтобы оценить динамику и современные уровни облучения наземной биоты на наиболее загрязненных участках, а также проанализировать распределение уровней загрязнения территории аварийного следа в Брянской области “чернобыльскими радионуклидами”.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Анализ современной радиэкологической обстановки территории Брянской области, загрязненной в результате чернобыльской аварии, проводился на основе расчета мощности дозы облучения представительных (референтных) объектов местной наземной биоты. В качестве исходных использовались данные наблюдений о плотности загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr в районах Брянской области, находящихся в границах различных зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, по состоянию на 1 января 2020 г. (табл. 1) [17]. Для сравнения в табл. 1 показаны значения критерия отчуждения территории [7] и контрольных уровней содержания радионуклидов в почве по экологическому критерию. Порядок расчета контрольных уровней на основе природоохранных ограничений не превышения экологически безопасного уровня облучения (БУОБ) для референтных организмов биоты определен в рекомендациях Росгидромета Р-52.18.853-2016 [18].

По данным [17] были выбраны наиболее загрязненные территории в окрестностях населенных пунктов Брянской области для последующей оценки суммарной мощности дозы облучения биоты: с. Творишино Гордеевского р-на, п. Савичка Злынковского р-на, д. Кузнец Клинцовского р-на, с. Заборье Красногорского р-на, п. Опытная Станция и с. Старый Вышков Новозыбковского р-на. Для критических по уровню

загрязнения почвы ^{137}Cs участков Новозыбковского р-на выполнена оценка мощности дозы облучения референтных объектов наземной биоты в период с мая по декабрь 1986 г. и рассчитана ее многолетняя динамика (1986–2020 гг.).

Для оценки дозовой нагрузки на объекты биоты реконструированы значения удельной активности верхнего слоя почвы (кБк/кг) по радиоактивному распаду нуклидов ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr за период 1986–2020 гг., а также ^{131}I , ^{95}Zr , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{140}Ba – в первые годы после аварии, с учетом их миграции вглубь почвы.

Суммарная мощность дозы облучения объектов биоты определялась в соответствии с порядком оценки, установленным в [19, 20], путем суммирования мощностей дозы внутреннего и внешнего облучения данного объекта от всех рассматриваемых радионуклидов. Коэффициенты накопления радионуклидов в изучаемых объектах наземной биоты и факторы дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения биоты принимались согласно рекомендациям Росгидромета Р 52.18.820-2015 [20].

В соответствии с рекомендациями МКРЗ [19] и Р 52.18.820-2015 [20] в качестве референтных организмов наземной биоты для загрязненных радионуклидами территорий были выбраны: лось (*Alces alces*) и рыжая полевка (*Myodes glareolus*) среди млекопитающих, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) среди высших растений и представитель почвенных беспозвоночных – дождевой червь обыкновенный (*Lumbricus terrestris*).

Радиоактивность почвы в первые годы после аварии характеризовалась широким радионуклидным составом. Для обеспечения радиационной безопасности объектов наземной биоты должно выполняться условие не превышения экологически безопасного уровня для интегрального показателя загрязнения (ИПЗ) (1). С этой целью в настоящем исследовании проведена расчетная оценка ИПЗ почвы районов Брянской области, подвергшихся загрязнению в результате чернобыльской аварии, по современным данным радиационного мониторинга (2020 г.) и в многолетней динамике (1986–2020 гг.).

$$\text{ИПЗ} = \sum_i \frac{A_i}{A_{k,i,\text{ЭК}}} \leq 1, \quad (1)$$

где A_i – удельная активность i -го радионуклида в верхнем 10-сантиметровом слое почвы для объектов биоты, обитающих на поверхности, либо верхнем 50-сантиметровом слое почвы для объектов биоты, обитающих внутри почвы, Бк/кг сырого веса; $A_{k,i,\text{ЭК}}$ – контрольный уровень удельной активности i -го радионуклида в почве, Бк/кг сырого веса [18].

Таблица 1. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr на территории аварийного чернобыльского следа в Брянской области на 01.01.2020 г., кБк/м²
Table 1. Soil contamination density of ^{137}Cs and ^{90}Sr on the territory of the Chernobyl accident trace in the Bryansk region (01.01.2020), kBq/m²

Район	^{137}Cs		^{90}Sr	
	средняя	максимальная	средняя	максимальная
Брасовский	19 ± 3	33 ± 5	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.2
Брянский	5.0 ± 0.9	8.9 ± 2.6	0.6 ± 0.3	0.9 ± 0.5
Выгоничский	7 ± 3	17 ± 7	0.4 ± 0.2	0.5 ± 0.2
Гордеевский	245 ± 36	610 ± 160	4.0 ± 0.6	8.3 ± 1.4
Дубровский	5.0 ± 1.0	9.0 ± 1.0	0.20 ± 0.05	0.4 ± 0.1
Дятьковский	29 ± 5	54 ± 11	0.4 ± 0.2	0.7 ± 0.3
Жирятинский	4.4 ± 1.1	10 ± 6	0.6 ± 0.3	1.9 ± 0.5
Жуковский	5.1 ± 0.5	6.1 ± 0.7	0.7 ± 0.3	1.0 ± 0.3
Злынковский	311 ± 53	840 ± 180	13 ± 2	22 ± 4
Карачевский	11 ± 1	17 ± 4	0.4 ± 0.2	0.7 ± 0.3
Клетнянский	4.3 ± 0.7	8.2 ± 1.3	0.2 ± 0.1	0.5 ± 0.3
Климовский	106 ± 12	222.8 ± 28.6	5.1 ± 0.7	6.1 ± 0.9
Клинцовский	145 ± 19	410 ± 60	4 ± 1	9 ± 2
Комаричский	20.0 ± 3.5	43.9 ± 10.6	0.4 ± 0.2	0.6 ± 0.3
Красногорский	230 ± 87	490 ± 210	7 ± 2	21 ± 8
Мглинский	4.9 ± 0.6	7.0 ± 1.3	0.2 ± 0.1	0.5 ± 0.3
Навлинский	15 ± 2	29 ± 7	0.4 ± 0.2	0.7 ± 0.3
Новозыбковский	349 ± 34	860 ± 190	7 ± 2	15 ± 4
Погарский	23 ± 2	48 ± 8	0.8 ± 0.2	0.8 ± 0.2
Почепский	4.1 ± 0.2	4.8 ± 0.5	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1
Рогнединский	16 ± 1	27 ± 3	0.6 ± 0.3	0.7 ± 0.3
Севский	14 ± 5	27 ± 8	1.1 ± 0.4	1.2 ± 0.5
Стародубский	34 ± 3	63 ± 8	1.1 ± 0.3	1.2 ± 0.5
Суземский	14 ± 3	25 ± 7	1.9 ± 0.3	5.1 ± 0.9
Суражский	6.2 ± 1.4	10 ± 4	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.2
Трубчевский	18 ± 2	36 ± 5	0.6 ± 0.2	0.7 ± 0.2
Унечский	5.4 ± 0.7	7.9 ± 1.7	0.6 ± 0.1	0.8 ± 0.2
КУ, экологический*	2000		800	
Критерий отчуждения территории [7]	1480		555	

Примечание. *Экологический критерий в соответствии с Р 52.18.853-2016 [18], пересчитанный на кБк/м².

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первые месяцы после аварии почва особенно сильно была загрязнена относительно короткоживущими радионуклидами: ^{131}I , ^{140}Ba + ^{140}La , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{95}Zr . Максимум содержания радиоактивных изотопов йода в почве наблюдался в первой половине мая. После распада ^{131}I и других короткоживущих нуклидов с середины 1986 г. определяющими в радиоактивном загрязнении местности стали ^{137}Cs и ^{134}Cs , а в после-

дующем после распада ^{134}Cs основную радиологическую значимость приобрел ^{137}Cs . Вклад долгоживущего ^{90}Sr в дозу облучения биоты на загрязненных участках значительно меньше ^{137}Cs . Поэтому при проведении оценки дозовой нагрузки на референтные объекты биоты в отдаленный период после аварии на ЧАЭС на наиболее загрязненных участках территории Брянской области учитывался ^{137}Cs как основной дозообразующий радионуклид, а также ^{90}Sr .

Таблица 2. Оценка суммарной мощности дозы облучения (средний и максимальный уровень) референтных видов биоты на наиболее загрязненных ^{137}Cs участках территории Брянской области по состоянию на 01.01.2020 г., 10^{-6} Гр/сут

Table 2. Assessment of the total radiation dose rate (average and maximum level) for reference biota species in the most polluted areas of the Bryansk region by ^{137}Cs (01.01.2020), 10^{-6} Gy/day

Район и пункт наблюдений	Мышь	Лось	Сосна	Дождевой червь
Гордеевский район, с. Творишино	38	66	11	20
	397	685	114	205
Злынковский район, п. Савичка	62	108	18	32
	262	453	75	136
Клинцовский район, д. Кузнец	44	75	13	22
	177	306	51	91
Красногорский район, с. Заборье	201	346	58	103
	592	1018	170	303
Новозыбковский район, п. Опытная Станция	65	112	19	33
	455	781	131	232
с. Старый Вышков	80	135	23	39
	422	719	122	211
БУОБ	1000	1000	1000	10000

Примечание. В числителе приведены средние оценки мощности дозы облучения, в знаменателе – максимальные.

В табл. 2 приведены оценки мощности дозы облучения представительных видов биоты, обитающей в зонах отчуждения Брянской области с плотностью загрязнения почвы более 40 Ки/км². Шесть указанных в таблице пунктов наблюдений в пяти исследуемых районах области имели сравнительно высокие уровни загрязнения.

На наиболее загрязненных ^{137}Cs участках территории Красногорского р-на Брянской области в 2020 г. максимальные дозы облучения биоты по расчетным оценкам составляли: сосна – 170 мкГр/сут, дождевой червь – 303 мкГр/сут, мышь – 592 мкГр/сут, лось – 1018 мкГр/сут. Более низкие значения наблюдаются в Гордеевском р-не: сосна – 11 мкГр/сут, дождевой червь – 20 мкГр/сут, мышь – 38 мкГр/сут, лось – 66 мкГр/сут. Самой высокой оказалась мощность дозы облучения лося, обитающего в окрестностях с. Заборье Красногорского р-на – 1018 мкГр/сут, что находится на границе БУОБ с учетом погрешности вычислений.

Максимальные величины дозовой нагрузки на объекты биоты в 2.9–4.6 раза выше средних значений. Стоит отметить несущественный (по срав-

нению с ^{137}Cs) вклад ^{90}Sr в дозовую нагрузку на референтные объекты биоты, который варьирует от 0.1 до 4.9%.

В суммарной дозе облучения позвоночных на долю внутреннего облучения приходится 94.6% у лося и 81.8% у мыши. Для растений и беспозвоночных почвы превалирует внешнее облучение.

На загрязненной территории Новозыбковского р-на Брянской области были зафиксированы наиболее высокие уровни содержания ^{137}Cs в почве (табл. 1), поэтому представляет особый интерес проанализировать дозы облучения биоты Новозыбковского района как в мае–декабре 1986 г., так и изучить многолетнюю динамику (1986–2020 гг.). В первые месяцы после аварии на Чернобыльской АЭС создавалась высокая дозовая нагрузка на биоту Новозыбковского р-на. Так, доза облучения лося в мае превысила безопасный уровень облучения в 2.1 раза и в 1.7 раза в декабре 1986 г., а мощность дозы облучения мыши была в 1.4 раза выше БУОБ и лишь в декабре снизилась до БУОБ (рис. 1). Уровни облучения дождевого червя и сосны в этот период составляли 0.85–1.54 и 0.42–0.71 мГр/сут соответственно, что ниже БУОБ. Основной вклад в формирование дозовых нагрузок на наземную биоту в начальный период после аварии (май–декабрь 1986 г.) вносили ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{140}Ba , ^{131}I , ^{103}Ru . В современный период дозовая нагрузка на референтные виды определяется ^{137}Cs .

Многолетняя динамика мощности дозы облучения референтных объектов биоты (1986–2020 гг.) отражает процессы ядерно-физического распада радионуклидов и постепенно снижается (рис. 2). Так, дозовая нагрузка на объекты биоты, которые обитают на территории аварийного следа в Новозыбковском районе, с 1986 г. по 2020 г. уменьшилась в 12–24 раза. За исключением рассмотренной выше зоны отчуждения, в настоящее время дозы облучения наземной биоты на загрязненных участках Новозыбковского района на порядок ниже БУОБ для позвоночных животных и на два порядка ниже безопасного уровня для сосны и дождевого червя.

С целью анализа радиационной безопасности объектов наземной биоты осуществлена проверка выполнения условия непревышения экологически безопасного уровня для интегрального показателя загрязнения почвы Новозыбковского и других районов Брянской области, подвергшихся загрязнению в результате аварии на ЧАЭС (рис. 3, 4). Максимальные величины ИПЗ в современный период определены для территорий Новозыбковского (0.45 ± 0.10), Злынковского (0.45 ± 0.09), Гордеевского (0.32 ± 0.04), Красногорского (0.27 ± 0.05) и Клинцовского (0.22 ± 0.04) районов Брянской области. Интегральные показатели загрязнения почвы в перечисленных районах были в 2–12 раз

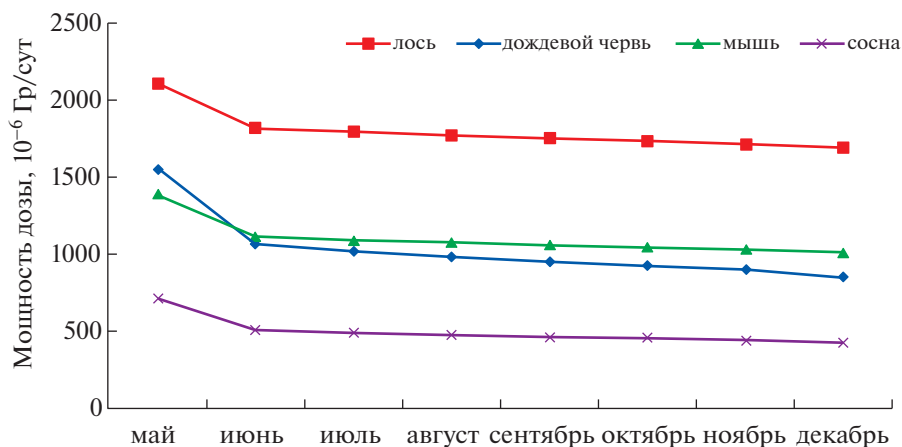


Рис. 1. Мощность дозы облучения референтных организмов наземной биоты на загрязненных участках Новозыбковского р-на Брянской области в мае–декабре 1986 г.

Fig. 1. Radiation dose rate for reference organisms of terrestrial biota in contaminated areas of the Novozybkovsky district in Bryansk region in May–December 1986.

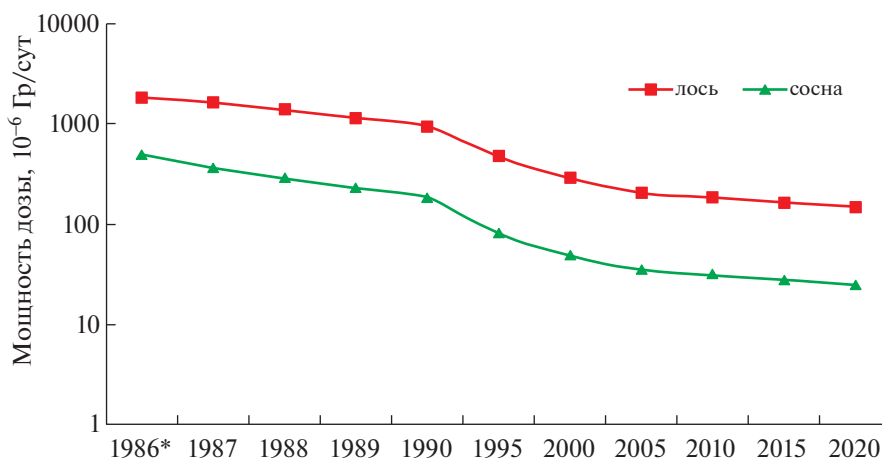


Рис. 2. Многолетняя динамика мощности дозы облучения референтных организмов наземной биоты на загрязненных участках Новозыбковского р-на Брянской области (1986*–2020 гг.).

Примечание. 1986* – по данным за май–декабрь 1986 г.

Fig. 2. Long-term dynamics of the radiation dose rate for reference organisms of terrestrial biota in contaminated areas of the Novozybkovsky district in Bryansk region (1986*–2020).

Note. 1986* – according to data for May–December 1986.

ниже экологически безопасного уровня, однако в 30–90 раз выше техногенного фона в малозагрязненных районах.

Величины ИПЗ почвы Новозыбковского р-на снизились с начального периода аварии и до настоящего времени с 1.4 до 0.5 (максимальные значения) и с 0.5 до 0.2 (средние значения) при средней погрешности расчетных оценок 12–39%. Оценки ИПЗ почвы на территории Новозыбковского района в 67–90 раз выше ИПЗ Дубровского р-на. По консервативным скрининговым оценкам в соответствии с [18] самое высокое значение

ИПЗ почвы в 1986 г. в Новозыбковском районе превышало экологически безопасный уровень. Доминирующий вклад в ИПЗ почвы загрязненной территории Брянской области вносит ^{137}Cs и составляет от 74% в Жирятинском районе до 96% в Гордеевском и Новозыбковском районах.

Таким образом, можно выделить критические участки территории аварийного следа с точки зрения изучения дозовой нагрузки на населяющие их референтные виды биоты, к которым относятся Новозыбковский и Красногорский районы.

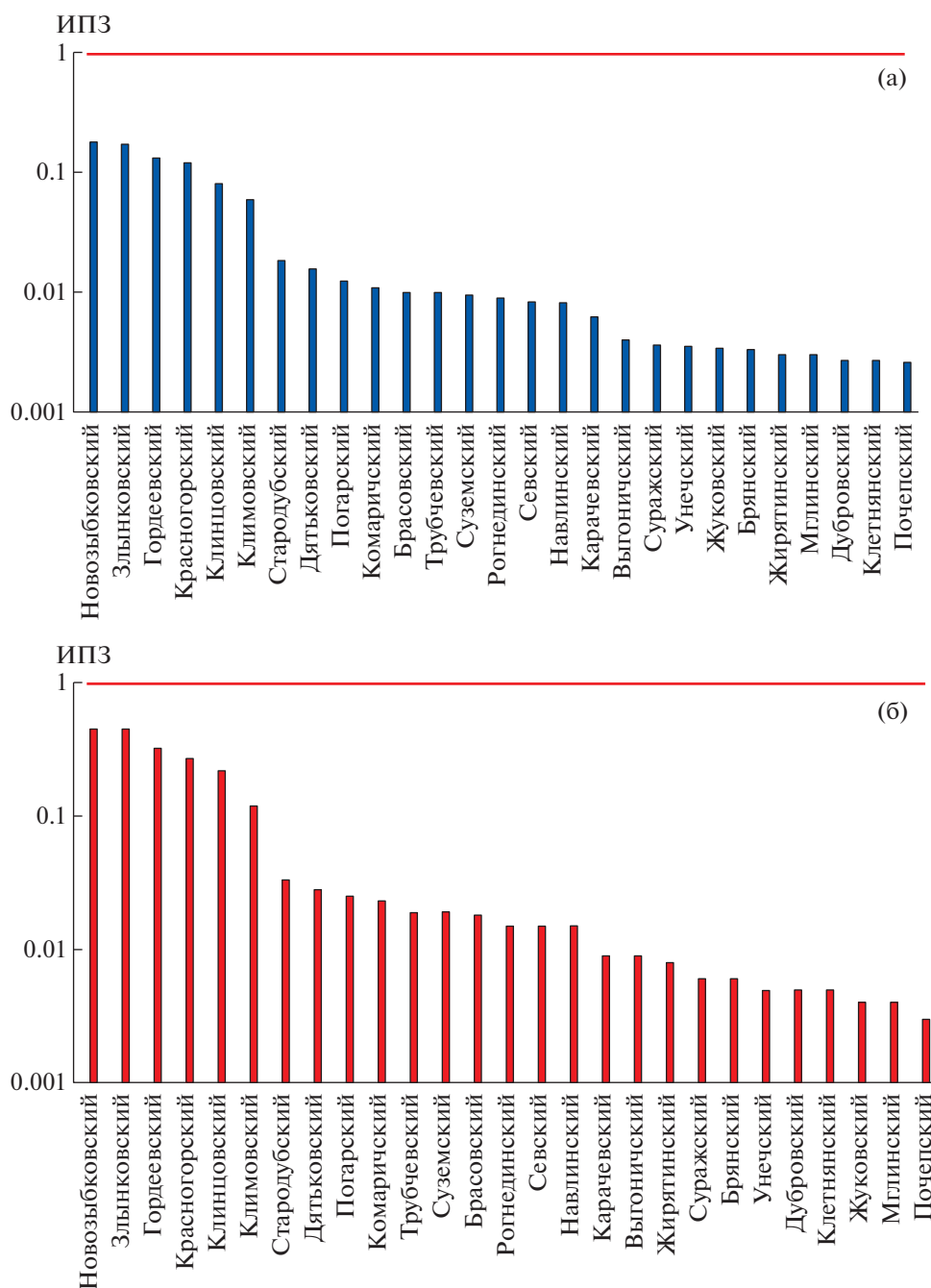


Рис. 3. Интегральные показатели загрязнения почвы ^{137}Cs и ^{90}Sr районов Брянской области на территории чернобыльского следа (на 01.01.2020 г.): *a* – по средним значениям плотности загрязнения почвы; *b* – по максимальным значениям. Верхняя горизонтальная линия – экологически безопасный уровень.

Fig. 3. Integral indicators of ^{137}Cs and ^{90}Sr soil contamination of districts in Bryansk region on the territory of the Chernobyl accident trace (01.01.2020): *a* – by average values of soil contamination density; *b* – by maximum values. The upper horizontal line is an environmentally friendly level.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спустя 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС за счет процессов ядерно-физического распада, миграции и выноса радионуклидов происходит постепенное улучшение радиоэкологической обстановки на загрязненных территориях

Брянской области. Тем не менее в юго-западных районах Брянской области ситуация остается сложной. Наблюдается высокая пространственная неоднородность радиоактивного загрязнения почв. Выделяется пять районов Брянской области с наиболее высокими уровнями загрязнения – Гордеевский, Злынковский, Клинцовский, Красно-

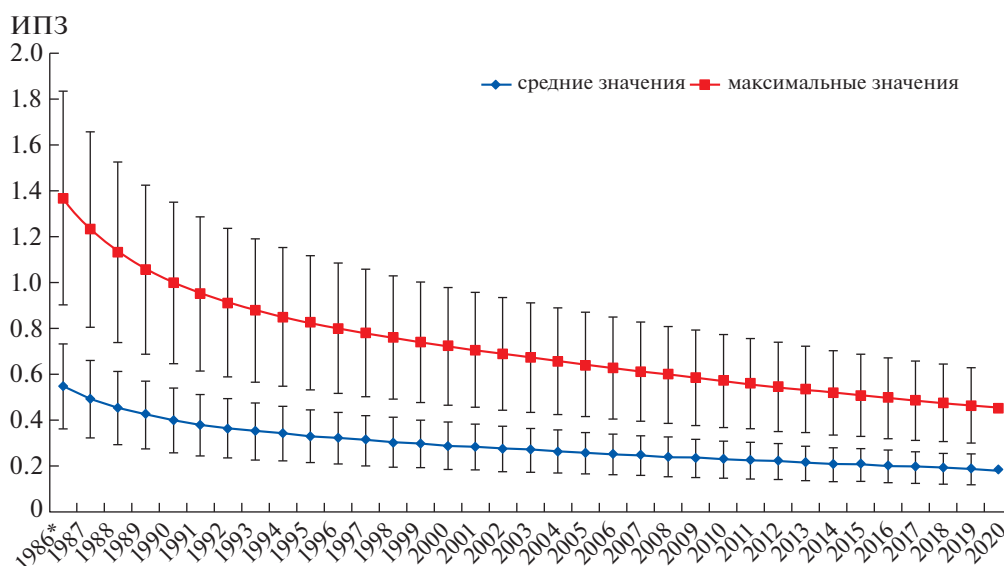


Рис. 4. Средние и максимальные значения ИПЗ для загрязненных участков Новозыбковского района Брянской области в динамике (1986*–2020 гг.).

Примечание. 1986* – по данным за май–декабрь 1986 г.

Fig. 4. Average and maximum IPI values for contaminated areas of the Novozybkovsky district in Bryansk region in dynamics (1986*–2020).

Note. 1986* – according to data for May–December 1986.

горский и Новозыбковский районы. Для ранжирования этих территорий по уровню загрязнения предложен интегральный показатель загрязнения.

Основной вклад в формирование дозовых нагрузок на наземную биоту в начальный период после аварии вносили ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{140}Ba , ^{131}I , ^{103}Ru . В настоящее время дозовая нагрузка на референтные объекты биоты обусловлена главным образом ^{137}Cs , а также ^{90}Sr с незначительным вкладом в дозу облучения не выше 4.9%. В зонах отчуждения Брянской области максимальные мощности дозы облучения характерны для лося, согласно консервативной скрининговой оценке в 2020 г. в окрестностях с. Заборье Красногорского р-на они могли достигать БУОБ.

Динамика мощности дозы облучения объектов биоты показала, что в 1986 г. могли превышать БУОБ для лося и мыши в Новозыбковском районе. В настоящее время мощность дозы облучения позвоночных животных на загрязненных участках Новозыбковского района на порядок ниже БУОБ.

Согласно консервативным оценкам максимальное значение ИПЗ почвы в 1986 г. в Новозыбковском районе могло превышать экологически безопасный уровень. За исключением зон отчуждения в современный период ИПЗ почвы даже в наиболее загрязненных районах Брянской области значительно ниже экологически безопасного уровня.

Выполненные в настоящем исследовании оценки проиллюстрировали современное состоя-

ние радиационной безопасности биоты на территории Брянской области, пострадавшей в результате аварии на ЧАЭС. Сравнивая современную радиоэкологическую обстановку на территории аварийного чернобыльского следа с ситуацией, развивающейся в начальный период аварии, можно сделать вывод о том, что во всех рассматриваемых районах области наблюдается снижение дозовых нагрузок на биоту. Однако до сих пор наблюдаются территории с высокими уровнями облучения биоты. Следовательно, в будущем необходимо продолжить радиоэкологические исследования территорий и мониторинг радиационной обстановки наиболее загрязненных районов Брянской области, в частности Красногорского и Новозыбковского районов, а также рекомендуется организовать в зонах отчуждения радиоэкологический заповедник для осуществления регулярных наблюдений и совершенствования системы радиационной защиты окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский национальный доклад. 30 лет чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986–2016 / Под общ. ред. В.А. Пучкова и Л.А. Большова. М.: Академ-Принт, 2016. 202 с. [Rossiyskiy natsional'nyy doklad. 30 let chernobyl'skoy avarii: itogi i perspektivy preodoleniya ee posledstviy v Rossii. 1986–2016 / Pod red. V.A. Puchkova, L.A. Bol'shova. M.: Akadem-Print, 2016. 202 s. (In Russian)]
2. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС /

- Под ред. Г.Г. Онищенко, А.Ю. Поповой. СПб.: НИИРГ им. проф. П. В. Рамзаева, 2016. Т. 1. 448 с. [Radiatsionno-gigiyenicheskiye aspekty preodoleniya posledstviy avarii na Chernobyl'skoy AES / Pod red. G.G. Onishchenko, A.Yu. Popovoy. SPb.: NIIRG im. prof. P.V. Ramzayeva, 2016. T. 1. 448 s. (In Russian)]
3. *Панов А.В., Санжарова Н.И., Шубина О.А. и др.* Современное состояние и прогноз загрязнения ¹³⁷Cs сельскохозяйственных угодий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС // Радиация и риск. 2017. Т. 26. № 3. С. 66–74. [Panov A.V., Sanzharova N.I., Shubina O.A., et al. Sovremennoye sostoyaniye i prognoz zagryazneniya ¹³⁷Cs sel'skokhozyaystvennykh ugodiy Bryanskoj, Kaluzhskoj, Orlovskoj i Tul'skoy oblastey, podvergshixsya vozdeystviyu avarii na Chernobyl'skoy AES. Radiatsiya i risk. 2017. V. 26. № 3. P. 66–74. (In Russian)]
 4. *Панов А.В., Прудников П.В., Титов И.Е. и др.* Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12. № 1. С. 25–35. [Panov A.V., Prudnikov P.V., Titov I.E. et al. Radioekologicheskaya otsenka sel'skokhozyaystvennykh zemel' i produktsii yugo-zapadnykh rayonov Bryanskoj oblasti, zagryaznennykh radionuklidami v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoy AES. Radiatsionnaya gigiyena. 2019. V. 12. № 1. P. 25–35. (In Russian)]
 5. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. Москва–Минск: Фонд “Инфосфера” – НИА-Природа, 2009. 140 с. [Atlas sovremennykh i prognoznnykh aspektov posledstviy avarii na Chernobyl'skoy AES na postradavshikh territoriyakh Rossii i Belarusi (ASPA Rossiya-Belarus') / Pod. red. Yu.A. Izraelya, I.M. Bogdevicha. –Moskva–Minsk: Fond “Infosfera” – NIA-Priroda, 2009. 140 s. (In Russian)]
 6. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. Н.И. Санжаровой, С.В. Фесенко. М.: РАН, 2018. 278 с. [Radioekologicheskiye posledstviya avarii na Chernobyl'skoy AES: biologicheskiye efekty, migratsiya, reabilitatsiya zagryaznennykh territoriy / Pod red. N.I. Sanzharovoy, S.V. Fesenko. M.: RAN, 2018. 278 s. (In Russian)]
 7. *Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др.* Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Под общей ред. Л.И. Ильина и В.А. Губанова. М.: ИздАТ, 2001. 752 с. [Alexakhin R.M., Buldakov L.A., Gubanov V.A., et al. Krupnye radiatsionnyye avarii: posledstviya i zashchitnyye mery / Pod red. L.I. Il'ina, V.A. Gubanova. M.: IzdAT, 2001. 752 s. (In Russian)]
 8. *Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И.* Экологические риски чернобыльской аварии // Радиологическая активность после ядерных взрывов и аварий: последствия и пути преодоления: Сб. тр. конференции. Обнинск: ФГБУ “НПО “Тайфун”, 19–21 апреля 2016 г. С. 246–266. [Kryshchov I.I., Sazykina T.G., Kryshchov A.I. Ekologicheskiye riski chernobyl'skoy avarii. Radioaktivnost' posle yadernykh vzryvov i avariy: posledstviya i puti preodoleniya: Sb. tr. konferentsii, Obninsk: FGBU “NPO “Tayfun”, 19–21 aprelya 2016 g. S. 246–266. (In Russian)]
 9. *Марченко Т.А., Радин А.И., Раздайковин А.Н.* Ретроспективное и современное состояние лесных территорий приграничных районов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13. № 2. С. 6–18. [Marchenko T.A., Radin A.I., Razdayvodin A.N. Retrospektivnoye i sovremennoye sostoyaniye lesnykh territoriy prigranichnykh rayonov Bryanskoj oblasti, podvergshixsya radioaktivnomu zagryazneniyu // Radiatsionnaya gigiyena. 2020. V. 13. № 2. P. 6–18. (In Russian)]
 10. *Гераськин С.А., Дикарева Н.С., Удалова А.А. и др.* Цитогенетические эффекты в популяциях сосны обыкновенной из районов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2008. Т. 48. № 5. С. 584–595. [Geras'kin S.A., Dikareva N.S., Udalova A.A. et al. Tsitogeneticheskiye efekty v populyatsiyakh sosny obyknovennoy iz rayonov Bryanskoj oblasti, podvergshixsya radioaktivnomu zagryazneniyu v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoy AES // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 2008. V. 48. № 5. P. 584–595. (In Russian)]
 11. *Спирidonов С.И., Фесенко С.В., Гераськин С.А. и др.* Оценка доз облучения древесных растений в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2008. Т. 48. № 4. С. 432–438. [Spiridonov S.I., Fesenko S.V., Geras'kin S.A. et al. Otsenka doz oblucheniya drevesnykh rasteniy v otdalennyy period posle avarii na Chernobyl'skoy AES // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 2008. V. 48. № 4. P. 432–438. (In Russian)]
 12. *Гераськин С.А., Кузьменков А.Г., Васильев Д.В.* Временная динамика цитогенетических эффектов в хронически облучаемых популяциях сосны обыкновенной // Радиационная биология. Радиоэкология. 2018. Т. 58. № 1. С. 74–84. [Geras'kin S.A., Kuz'menkov A.G., Vasil'yev D.V. Vremennaya dinamika tsitogeneticheskikh effektov v khronicheskii obluchayemykh populyatsiyakh sosny obyknovennoy // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 2018. V. 58. № 1. P. 74–84. (In Russian)]
 13. *Вакуловский С.М., Колесникова Л.В., Тертышник Э.Г., Уваров А.Д.* Динамика загрязнения ¹³⁷Cs озера Кожановское в постчернобыльский период // Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49. № 2. С. 203–206. [Vakulovskiy S.M., Kolesnikova L.V., Tertyshnik E.G., Uvarov A.D. Dinamika zagryazneniya ¹³⁷Cs ozera Kozhanovskoye v postchernobyl'skiy period // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 2009. V. 49. № 2. P. 203–206. (In Russian)]
 14. *Рябов И.Н.* Радиоэкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС. М.: КМК, 2004. 215 с. [Ryabov I.N. Radioekologiya ryb vodoemov v zone vliyaniya avarii na Chernobyl'skoy AES. M.: KMK, 2004. 215 p. (In Russian)]
 15. *Полякова Н.И., Пельгунова Л.А.* Радиоэкологическое состояние ихтиофауны водоемов Брянской области // Радиологическая активность после ядерных взры-

- вов и аварий: последствия и пути преодоления: Сб. тр. конференции, Обнинск: ФГБУ “НПО “Тайфун”, 19–21 апреля 2016 г. С. 74–75. [Polyakova N.I., Pel'gunova L.A. Radioekologicheskoye sostoyaniye ikhtiofauny vodoyemov Bryanskooy oblasti. Radioaktivnost' posle yadernykh vzryvov i avariyy: posledstviya i puti preodoleniya: Sb. tr. konferentsii, Obninsk: FGBU “NPO “Tayfun”, 19–21 aprelya 2016 g. P. 74–75. (In Russian)]
16. Белоус Н.М. Развитие радиоактивно загрязненных территорий Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Вестн. Брянской ГСХА. 2018. № 1. С. 3–11. [Belous N.M. Razvitiye radioaktivno zagryaznennykh territoriy Bryanskooy oblasti v otдалennyy period posle avariyy na Chernobyl'skoy AES // Vestnik Bryanskooy GSKhA. 2018. № 1. P. 3–11. (In Russian)]
 17. Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации цезием-137, стронцием-90 и плутонием-(239 + 240) / Под ред. С.М. Вакуловского. Обнинск, ФГБУ “НПО “Тайфун”, 2020. 224 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e6a/ezheg_rzrf_2020.pdf (дата обращения: 23.11.2020). [Dannyye po radioaktivnomu zagryazneniyu territorii naseleennykh punktov Rossiyskoy Federatsii tseyziyem-137, strontsiyem-90 i plutoniyem-(239, 240) / Pod red. S.M. Vakulovskogo. Obninsk, FGBU “NPO “Tayfun”, 2020. 224 p. [Elektronnyy resurs]. URL: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/e6a/ezheg_rzrf_2020.pdf (data obrashcheniya: 23.11.2020). (In Russian)]
 18. Рекомендации Р 52.18.853–2016. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в пресной воде и почве. Утв. Росгидрометом Минприроды России 17.08.2016 г. // Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в объектах природной среды: Сб. рекомендаций. Обнинск, 2016. С. 29–55. [Rekomendatsii R 52.18.853–2016. Poryadok rascheta kontrol'nykh urovney sodержaniya radionuklidov v presnoy vode i pochve. Utv. Rosgidrometom Minprirody Rossii 17.08.2016 g. // Poryadok rascheta kontrol'nykh urovney sodержaniya radionuklidov v ob"yektakh prirodnoy sredy: Sb. rekomendatsiy. Obninsk, 2016. P. 29–55. (In Russian)]
 19. ICRP. Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2009. 251 p.
 20. Рекомендации Р 52.18.820–2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки. Утв. Росгидрометом Минприроды России 17.04.2015 г. Обнинск, 2015. 60 с. [Rekomendatsii R 52.18.820–2015. Otsenka radiatsionno-ekologicheskogo vozdeystviya na ob"ekty prirodnoy sredy po dannym monitoringa radiatsionnoy obstanovki. Utv. Rosgidrometom Minprirody Rossii 17.04.2015 g. Obninsk, 2015. 60 p. (In Russian)]

Dynamics and Current State of Radioecological Situation on the Territory of the Chernobyl Radioactive Trace in the Bryansk Region

A. A. Buryakova^{a, #}, N. N. Pavlova^a, I. I. Kryshev^a, and M. N. Katkova^a

^a Research and Production Association “Typhoon”, Obninsk, Russia

[#]E-mail: buryakova@rpatyphoon.ru

The analysis of the current radioecological situation of the territory in the Bryansk region polluted as a result of the Chernobyl accident is carried out on the basis of calculating the radiation dose rate for reference organisms of terrestrial biota. The initial data for the assessment were observational data (May–December 1986–2020) on the density of soil contamination in the areas of the Bryansk region located within the boundaries of various zones of radioactive contamination. The elk (*Alces alces*), the bank vole (*Myodes glareolus*), the Scots pine (*Pinus sylvestris*) and the earthworm (*Lumbricus terrestris*) were selected as reference organisms of the terrestrial biota. The total radiation dose rate for the biota objects was determined in accordance with the recommendations of ICRP and Roshydromet R 52.18.820–2015. ¹³⁷Cs was taken into account as the main dose-forming radionuclide. The contribution of ⁹⁰Sr to the radiation dose rate was insignificant (0.1–4.9%). In order to analyze the radiation safety of biota objects, the condition of not exceeding the environmentally safe level for the integral indicator of soil pollution (IIP) of the districts in the Bryansk region was checked. According to modern monitoring data for all districts of this region in the territory of the Chernobyl radioactive trace, the IIP of soil is significantly lower than the environmentally safe level, with the exception of exclusion zones. The maximum radiation doses for biota were determined for the elk living in the vicinity of Zaborye village in Krasnogorsk district in 2020. According to a conservative estimate, a high dose load on biota exceeding the safe radiation level for elk and bank vole was observed in 1986 in the Novozybkovsky district. At present, the radiation dose rate for reference biota organisms in the polluted areas of the region is an order of magnitude lower than the safe radiation level, with the exception of exclusion zone. In the future, it is recommended to continue conducting radioecological studies of territories and monitoring the radiation situation in the most polluted areas of the Bryansk region. It is also necessary to organize a radioecological reserve in the exclusion zones to carry out regular observations and improve the system of radiation protection of the environment.

Keywords: radioecological situation, Bryansk region, long-term dynamics, Chernobyl accident, radioactive trace, exclusion zone, biota, reference organisms, ¹³⁷Cs, dose, integral indicator of pollution (IIP)