

РАДИОЭКОЛОГИЯ ЗАРАЖЕННЫХ ЛЕСНЫХ АРЕАЛОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЧЕРЕЗ ТРИДЦАТЬ ЛЕТ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЯ

А.К. Агеев, А.Н. Иванкин, Г.А. Горбачева, В.Г. Санаев, В.А. Беляков

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
aivankin@mgul.ac.ru

Радиоактивное загрязнение лесных экосистем создало условия, при которых в течение многих лет невозможно обычное ведение лесного хозяйства и многоцелевое использование леса. В работе дана современная оценка состояния лесного ареала, подвергшегося воздействию радионуклидов после аварии на Чернобыльской АЭС, на примере отдельных лесничеств Республики Беларусь. Показано, что на некоторых участках лесного фонда даже через три десятилетия, количество выпавших радиоактивных веществ может, не вызывая прямого поражения растений и животных, по общему уровню радиоактивной контаминации превышать допустимые нормы содержания в продукции лесного хозяйства и безопасные дозы облучения людей. Сделана оценка экологического состояния лесного ареала и исследовано распределение радиационного загрязнения отдельных участков лесной зоны республики Беларусь по уровням содержания радионуклида ^{137}Cs . Представлены данные изменений в 2010–2017 гг. содержания радионуклида в грибной биомассе, а также в древесине березы, ели и сосны. Показано, что средний уровень содержания радионуклида в грибах за последний десятилетний период монотонно снижался с 2500 до 420 Бк/кг, а в древесине уровень радиационного загрязнения сегодня составляет на самых загрязненных лесных участках 50–120 Бк/кг, что не превышает допустимые уровни безопасности. Дан прогноз улучшения экологического состояния леса с точки зрения полного обеззараживания исследованных территорий и показано на основе расчетных значений изменения радиационного фона, что на территории семи лесничеств, отнесенных к первой, второй, третьей и четвертой зонам с плотностями загрязнения почвы ^{137}Cs 37–1480 кБк/м², фактическая площадь загрязнения с 2015 г. монотонно снижается с первоначальных значений 3–99 % до примерно половины к 2031 г. Полное обеззараживание по прогнозу может произойти к 2111 г.

Ключевые слова: радиоэкология лесного ареала, распределение радионуклидов, уровни радиационного загрязнения, прогноз снижения

Ссылка для цитирования: Агеев А.К., Иванкин А.Н., Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Беляков В.А. Радиоэкология зараженных лесных ареалов республики Беларусь через тридцать лет после Чернобыля // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 14–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-14-21

Как известно, результатом аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. явилось появление в центре Европы природно-техногенного образования площадью 4 млн га из радиоактивно загрязненных лесов, которые прочно закрепили в своем биологическом круговороте аварийные радионуклиды.

Беларусь относится к странам с высокой лесистостью — около 36 % территории республики покрыты лесами. Лесные ресурсы играют важную роль в экономике страны, ее климате и экологии. Около 1,7 млн га лесных площадей находится в зоне радиоактивного загрязнения в результате аварии на ЧАЭС [1, 2].

С момента аварии на ЧАЭС лесные экосистемы выполняют свои природные функции и являются естественным барьером на пути потоков радионуклидов и препятствуют их вторичному перераспределению. Леса проявили себя как аккумуляторы радиоактивных выпадений, накопив большое количество радионуклидов [3–5].

Из 88 лесхозов Беларуси радиоактивное загрязнение выявлено в 50. Основной задачей ведения лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами лесных территориях является

получение максимально возможного объема нормативно чистой древесной продукции. В настоящее время основным регламентирующим документом по лесопользованию на загрязненных радионуклидами лесных территориях являются «Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения», в которых заложен ограничительный параметр лесопользования, зависящий от величины плотности загрязнения почвы радионуклидами [6].

В первые годы после аварии основное внимание уделялось исследованиям, направленным прежде всего на определение доз облучения населения города Припяти и близлежащих районов 30-километровой зоны. В настоящее время эти вопросы достаточно хорошо исследованы и работы в этом направлении сводятся к проведению радиационного мониторинга на загрязненных территориях. Сегодня на первый план выходит задача изучения воздействия радиоактивного загрязнения на всю экосистему в целом, динамику развития экологической ситуации в загрязненных районах. В частности, значительный интерес представляет вопрос миграции радионуклидов в лесных экосистемах [7, 8].

Важным фактором, определяющим степень радиационной загрязненности древесины, является возраст древостоя. Большое внимание уделяется содержанию образовавшегося в результате аварии радиоактивного изотопа ^{137}Cs с периодом полураспада около 30 лет.

В 1989–1990 гг. отмечалось превышение ^{137}Cs в древесине молодой сосны в 2,5 раза по сравнению со старыми деревьями, произрастающими на том же участке. Это обусловлено различием вклада в общую массу древесины меристематических тканей, концентрирующих ^{137}Cs , который обычно значительно выше у молодых деревьев. Определяющую роль играет также более поверхностное расположение корневой системы молодых растений [6].

В легких по механическому составу почвах процесс миграции радионуклидов вниз по профилю проходит быстро. И если в сосновых насаждениях со сформировавшейся на поверхности почвы подстилкой, являющейся своеобразным экраном, миграционные процессы несколько заторможены, то в молодых сосняках без подстилки содержание в верхнем 5-сантиметровом слое в 4 раза выше и продвижение его вглубь почвы происходит более интенсивно. Интенсивность потребления ^{137}Cs древесными растениями снижается по мере созревания древесины от возраста молодняка до возраста спелости насаждения в 3–5 раз. Наблюдается более высокая концентрация ^{137}Cs в древесине молодых насаждений по сравнению со средневозрастными и приспевающими, произрастающими в одинаковых почвенных условиях и с одинаковой плотностью загрязнения почв. Удельная активность древесины сосны в 80-летних насаждениях в 3,3 раза меньше, чем в сосновом молодняке, а в 50-летних — в 2,4 раза. По-видимому, это связано с наличием в спелых насаждениях ядровой древесины, которая менее загрязнена, чем заболонная [7].

В первые годы после аварии на Чернобыльской атомной электростанции основной вклад в удельную активность коры по содержанию ^{137}Cs давало поверхностное загрязнение. Высокая загрязненность коры объясняется присутствием остатков первоначального аэрального выпадения [8]. После лесной подстилки кора была одним из наиболее загрязненных элементов лесного биогеоценоза, а среди наземной части деревьев — наиболее грязной. В последующие годы происходило снижение содержания удельной активности ^{137}Cs в коре в связи с удалением поверхностного загрязнения с атмосферными осадками и ветром. В 1987 г. наибольшая загрязненность коры наблюдалась в 30-километровой зоне в сосновых 12-летних насаждениях с плотностью загрязнения по ^{137}Cs 140 Ки/км² (5180 кБк/м²). На других объектах с меньшей плотностью загрязнения почв

снижение удельной активности ^{137}Cs в коре было менее значительно, почти в 3–6 раз. Уменьшение загрязнения коры будет происходить, очевидно, до тех пор, пока накопление радионуклидов в коре за счет корневого поступления не станет преобладать над поверхностным очищением. Во все годы наблюдения отмечалось закономерное повышение удельной активности ^{137}Cs в коре при увеличении плотности загрязнения почв [9].

В 1993 г. у 50-летних сосен и 40-летних дубов, произрастающих на почвах с плотностью загрязнения ^{137}Cs соответственно 70 Ки/км² и 100 Ки/км², по каждому годичному слою отдельно измерялось содержание ^{137}Cs в древесине. Наибольшая концентрация ^{137}Cs отмечена в наружных годичных слоях, достигая максимума в последний год роста. По направлению к сердцевине ствола концентрация сначала резко, на 20 %, падает, а затем снижается постепенно. Однако даже в центральных годичных слоях она выше, чем в незагрязненных насаждениях. В древесных насаждениях с плотностью загрязнения до 1 Ки/км² концентрация ^{137}Cs может достигать 200 Бк/кг, а для центральных слоев сосны и дуба при указанных выше плотностях загрязнения почвы — около 2500 Бк/кг. Это говорит о том, что поглощенные радионуклиды не только откладываются во вновь нарастающих слоях, но и поступают в ту часть ствола, которая образовалась до попадания радионуклидов под полог леса [10, 11].

По данным исследований, начальный период поступления радионуклидов в луб и древесину обусловлен их переносом в проводящей системе из загрязненных частей кроны, хвои, коры и ветвей. Так относительная загрязненность древесных тканей (загрязненность древесины принята за 1) ^{137}Cs первоначально оценивалась в лубе сосны, ели, осины, дуба, липы, березы как 18, 11, 7, 5, 3, 4, а в коре — 95, 32, 60, 32, 55, 30 соответственно. Поэтому удельная активность ^{137}Cs в лубе и древесине в первые годы была незначительна [12, 13].

Цель работы

Цель работы заключалась в оценке современного радиоэкологического состояния лесного ареала на примере лесных хозяйств Республики Беларусь.

Материалы и методы

Для получения данных о плотности загрязнения радионуклидом ^{137}Cs использовали дозиметр ДКГ-АТ2140 ООО «РЕНТГЕНСЕРВИС» (Россия) по ГОСТ 27451–87 с диапазоном индикации мощности дозы гамма-излучения 0,01–10 м³/ч в сочетании с отбором проб и последующим лабораторным анализом на УСК «ГАММА ПЛЮС» ЗАО «НТЦ ЭКСПЕРТЦЕНТР» (Россия) по стандартным методикам [14].

Результаты и обсуждение

Радиоактивное загрязнение лесных экосистем создало условия, при которых в течение многих лет невозможно обычное ведение лесного хозяйства и многоцелевое использование леса. Это обусловлено тем, что на отдельных участках лесного фонда количество выпавших радиоактивных веществ не вызывает прямого поражения растений и животных, но превышает допустимые нормы их содержания в продукции лесного хозяйства и безопасные дозы облучения людей.

Типичным концентратом-индикатором состояния мшистого (МШ) леса можно считать грибы [15]. Анализ накопления радионуклидов в грибах показывает, что грибная масса активно концентрирует радионуклиды и в силу этого может представлять собой объект повышенной опасности. Измеренный в ходе исследований уровень загрязнения отдельных партий грибов даже сегодня превышал допустимый уровень содержания ^{137}Cs в свежих грибах, который составляет 370 Бк/кг (табл. 1, 2). Проведенный анализ показывает, что общее загрязнение грибов за прошедший после чернобыльской аварии период существенно снизился и продолжает уменьшаться.

Т а б л и ц а 1

Анализ грибов, произрастающих на 98 квартале (контрольный пункт № 46) Рыковского лесничества республики Беларусь

Analysis of fungi growing in the 98th quarter (control point No. 46) of the Ryskov Forestry of the Republic of Belarus

Год	Гриб	Тип леса	Плотность загрязнения	Измерение, Бк/кг	Погрешность
2009	Сыроежка	МШ	1,02	1590	491
2013	Сыроежка	МШ	1,05	2544	509
2014	Сыроежка	МШ	1,04	1706	338
2018	Сыроежка	МШ	1,02	1206	234

Т а б л и ц а 2

Анализ грибов, произрастающих на 99 квартале (выдел 4) Рыковского лесничества

Analysis of fungi growing in the 99th quarter (section 4) of the Ryskov Forestry

Год	Гриб	Тип леса	Плотность загрязнения	Измерение, Бк/кг	Погрешность
2010	Сыроежка	МШ	1,17	2098	433
2012	Сыроежка	МШ	1,17	600	148
2014	Сыроежка	МШ	1,17	703	156
2017	Сыроежка	МШ	1,02	420	95

Основной интерес с точки зрения хозяйственного использования лесного ареала, представляет деловая древесина, радиационное загрязнение которой сегодня существенно ниже, чем у отдельных представителей грибной популяции. В табл. 3 и 4 представлен сравнительный анализ различных пород древесины по содержанию в них радиоактивного ^{137}Cs .

Т а б л и ц а 3

Радиационное обследование лесосеки (12 марта 2014 г.) Рыковского лесничества Radiation survey of the cutting area (March 12, 2014) of the Ryskov forestry

Наименование древесной породы	Древесина	Содержание ^{137}Cs , Бк/кг			Содержание по сравнению с допустимым уровнем (ДУ)
		Допустимое	Фактическое		
			измеренное	погрешность	
Береза	Деловая	1480	98	26	Не превышает
Береза	Дрова	740	86	24	Не превышает
Ель	Деловая	1480	134	31	Не превышает
Ель	Дрова	740	120	31	Не превышает
Сосна	Деловая	1480	122	29	Не превышает
Сосна	Дрова	740	103	27	Не превышает

Т а б л и ц а 4

Радиационное обследование лесосеки (6 июля 2016 г.) Рыковского лесничества Radiation survey of the felling area (July 6, 2016) of the Ryskov forestry

Наименование древесной породы	Древесина	Содержание ^{137}Cs , Бк/кг			Содержание по сравнению с ДУ
		Допустимое	Фактическое		
			измеренное	погрешность	
Береза	Деловая	1480	94	25	Не превышает
Береза	Дрова	740	83	23	Не превышает
Ель	Деловая	1480	121	33	Не превышает
Ель	Дрова	740	114	32	Не превышает
Сосна	Деловая	1480	62	24	Не превышает
Сосна	Дрова	740	58	21	Не превышает

Величины концентраций радионуклидов, измеренные сегодня в древесине разных пород, могут различаться в 2 раза и более, однако предельный уровень загрязнения практически не превышает установленных ПДК [16–19]. Характер динамики временных изменений содержания радионуклидов позволяет сделать приблизительный прогноз «полной» очистки территории от радиоактивного загрязнения (табл. 5–8).

Т а б л и ц а 5

**Распределение территории лесного фонда по зонам радиоактивного загрязнения
Рогачевского лесхоза (по состоянию на 25 июня 2015 г.)**

**Distribution of forest fund territory by radioactive contamination zones Rogachevsky Leskhoz
(as of June 25, 2015)**

Наименование лесничества	Общая плот- ность, га	Всего обследо- вано, га	Всего загряз- нено, га (%)	Площадь загрязнения почвы ¹³⁷ Cs по зонам и подзонам, га (%)					
				1 зона, 1–5 Ки/км ²			2 зона, 5–15 Ки/км ²	3 зона, 15–40 Ки/км ²	4 зона, 40 Ки/км ² и более
				всего	подзона 1А, 1–2 Ки/км ²	подзона 1Б, 2–5 Ки/км ²			
Друтское	12115	12115	385 (3,18)	385 (3,18)	385 (3,18)	0*	0	0	0
Кошарское	7172	7172	42 (0,59)	42 (0,59)	42 (0,59)	0	0	0	0
Озеранское	10749	10749	65 (0,60)	65 (0,60)	65 (0,60)	0	0	0	0
Рогачевское	11136	11104	10881 (97,71)	10698 (96,07)	6885 (61,83)	3813 (34,24)	183 (1,64)	0	0
Рысковское	10515	10515	10515 (100)	6158 (58,57)	146 (1,39)	6012 (57,18)	4357 (41,44)	0	0
Сверженское	12541	12541	12541 (100)	11378 (90,73)	471 (3,76)	10907 (86,97)	1163 (9,27)	0	0
Старосельское	13522	13522	8002 (59,18)	8002 (59,18)	7615 (56,32)	387 (2,86)	0	0	0
ИТОГО	77750	77718	42431 (54,57)	36728 (47,24)	15609 (20,08)	21119 (27,16)	5703 (7,34)	0	0

Примечание. * — на уровне фона.

Т а б л и ц а 6

**Распределение территории лесного фонда по зонам радиоактивного загрязнения
Рогачевского лесхоза (по состоянию на 25 июня 2021 г. — прогноз)**

**Distribution of forest fund territory by radioactive contamination zones Rogachevsky Leskhoz
(as of June 25, 2021 — forecast)**

Наименование лесничества	Общая плот- ность, га	Всего обследо- вано, га	Всего загряз- нено, га (%)	Площадь загрязнения почвы ¹³⁷ Cs по зонам и подзонам, га (%)					
				1 зона, 1–5 Ки/км ²			2 зона, 5–15 Ки/км ²	3 зона, 15–40 Ки/км ²	4 зона, 40 Ки/км ² и более
				всего	подзона 1А, 1–2 Ки/км ²	подзона 1Б, 2–5 Ки/км ²			
Друтское	12115	12115	56 (0,46)	56 (0,46)	56 (0,46)	0	0	0	0
Кошарское	7172	7172	0	0	0	0	0	0	0
Озеранское	10749	10749	0	0	0	0	0	0	0
Рогачевское	11136	11104	8158 (73,26)	8158 (73,26)	5952 (53,45)	2206 (19,81)	0	0	0
Рысковское	10515	10515	10482 (99,69)	9704 (92,29)	1272 (12,10)	8432 (80,19)	778 (7,40)	0	0
Сверженское	12541	12541	12541 (90)	12130 (96,72)	1751 (13,96)	10379 (82,76)	411 (3,28)	0	0
Старосельское	13522	13522	4635 (34,28)	4635 (34,28)	4582 (33,89)	53 (0,39)	0	0	0
ИТОГО	77750	77718	35872 (46,14)	34683 (44,61)	13613 (17,51)	21070 (27,10)	1189 (1,53)	0	0

Т а б л и ц а 7

**Распределение территории лесного фонда по зонам радиоактивного загрязнения
Рогачевского лесхоза (по состоянию на 25 июня 2031 г. — прогноз)**

**Distribution of forest fund territory by radioactive contamination zones Rogachevsky Leskhoz
(as of June 25, 2031 — forecast)**

Наименование лесничества	Общая плотность, га	Всего обследовано, га	Всего загрязнено, га (%)	Площадь загрязнения почвы ¹³⁷ Cs по зонам и подзонам, га (%)					
				1 зона, 1–5 Ки/км ²			2 зона, 5–15 Ки/км ²	3 зона, 15–40 Ки/км ²	4 зона, 40 Ки/км ² и более
				всего	подзона 1А, 1–2 Ки/км ²	подзона 1Б, 2–5 Ки/км ²			
Друтское	12115	12115	0	0	0	0	0	0	0
Кошарское	7172	7172	0	0	0	0	0	0	0
Озеранское	10749	10749	0	0	0	0	0	0	0
Рогачевское	11136	11136	5272 (46,44)	5272 (46,44)	4337 (38,95)	835 (7,50)	0	0	0
Рысковское	10515	10515	10369 (98,61)	10369 (98,61)	3350 (31,86)	7019 (66,75)	0	0	0
Сверженское	12541	12541	12510 (99,75)	12510 (99,75)	4044 (32,25)	8466 (67,51)	0	0	0
Старосельское	13522	13522	1718 (12,71)	1718 (12,71)	1718 (12,71)	0	0	0	0
ИТОГО	77750	77718	29769 (38,29)	29769 (38,29)	13449 (17,30)	16320 (20,99)	0	0	0

Т а б л и ц а 8

**Распределение территории лесного фонда по зонам радиоактивного загрязнения
Рогачевского лесхоза (по состоянию на 25 июня 2111 г. — прогноз)**

**Distribution of forest fund territory by radioactive contamination zones Rogachevsky leskhoz
(as of June 25, 2111 — forecast)**

Наименование лесничества	Общая плотность, га	Всего обследовано, га	Всего загрязнено, га	Площадь загрязнения почвы ¹³⁷ Cs по зонам и подзонам, га					
				1 зона, 1–5 Ки/км ²			2 зона, 5–15 Ки/км ²	3 зона, 15–40 Ки/км ²	4 зона, 40 Ки/км ² и более
				всего	подзона 1А, 1–2 Ки/км ²	подзона 1Б, 2–5 Ки/км ²			
Друтское	12115	12115	0	0	0	0	0	0	0
Кошарское	7172	7172	0	0	0	0	0	0	0
Озеранское	10749	10749	0	0	0	0	0	0	0
Рогачевское	11136	11136	0	0	0	0	0	0	0
Рысковское	10515	10515	0	0	0	0	0	0	0
Сверженское	12541	12541	0	0	0	0	0	0	0
Старосельское	13522	13522	0	0	0	0	0	0	0
ИТОГО	77750	77718	0	0	0	0	0	0	0

Кинетика миграции радионуклидов с учетом их реального уровня содержания за прошедшие три десятилетия после Чернобыля показывает, что полное освобождение территории от радионуклидов может произойти за достаточно длительный период.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показывают, что загрязнения по имеющимся четырем зонам с плотностью содержания радиону-

клидов 1–40 Ки/км² представляют собой достаточно устойчивые образования и их почвенное содержание может достичь практически нулевых значений только к 2111 г. Однако уже сегодня большинство пород деревьев, произрастающих в обследованных зонах ведения лесного хозяйства, может быть отнесено к категории условно чистой продукции, уровень радиоактивного загрязнения которой не превышает установленные нормы безопасности.

Список литературы

- [1] Tikhomirov F.A., Shcheglov A.I. Main investigation results on the forest radioecology in the Kyshtym and Chernobyl accident zones // *Science of The Total Environment*, 1994, v. 157, no 11, pp. 45–57.
- [2] Новиков В.С., Мاستрюков А.А., Челнакова Н.Г. Герои и призраки Чернобыля. СПб.: Профессионал, 2014. 404 с.
- [3] Тихонов М.Н. Уроки Чернобыля: анализ и оценка последствий // *Вестник Российской академии естественных наук*, 2014. № 3. С. 8–16.
- [4] Ильинских Н.Н., Булатов В.И., Адам А.М., Смирнов Б.В., Плотнокова Н.Н., Иванчук И.И. Радиационная экогенетика России. Томск: Крокус, 1998. 253 с.
- [5] Steinhäuser G., Brandl A., Johnson T.E. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts // *Science of The Total Environment*, 2014, v. 470–471, no 2, pp. 800–817.
- [6] Глазко В.И., Глазко Т.Т. Эффект Чернобыля – популяционно-генетические последствия // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*, 2005. № 5. С. 39–43.
- [7] Beresford N.A., Fesenko S., Konoplev A., Skuterud L., Smith J.T., Voigt G. Thirty years after the Chernobyl accident: What lessons have we learnt // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2016, v. 157, no. 6, pp. 77–89.
- [8] Квасникова Е.В., Жукова О.М., Гордеев С.К., Константинов С.В., Киров С.С., Лысак А.В., Манзон Д.А. Цезий-137 в почвах ландшафтов через 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС // *Известия РАН. (Сер. Географическая)*, 2009. № 5. С. 66–83.
- [9] Evangelidou N., Balkanski Y., Cozic A., Hao W.M., Möller A.P. Wildfires in Chernobyl-contaminated forests and risks to the population and the environment: A new nuclear disaster about to happen // *Environment International*, 2014, v. 73, no. 12, pp. 346–358.
- [10] Thiry Y., Albrecht A., Tanaka T. Development and assessment of a simple ecological model for forests contaminated by radiocesium fallout // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 190–191, no 10, pp. 149–159.
- [11] Diener A., Hartmann P., Urso L., Battle J. V., Steiner M. Approaches to modelling radioactive contaminations in forests. Overview and guidance // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, v. 178–179, no 11, pp. 203–211.
- [12] Ипатьев В.А. Лес и Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС, 1986–1994. Минск: МНПП «Стенер», 1994. 252 с.
- [13] Тихомиров Ф.А., Щеглов А.И. Радиоэкологические последствия Кыштымской и Чернобыльской радиационной аварий в лесных экосистемах // *Экология регионов атомных станций (ЭРАС 1)* / под общ. ред. Ю.А. Егорова. М.: Курчатовский институт, 1993. № 1. С. 71.
- [14] Копунова Г.А., Беляков В.А., Иванкин А.Н. Аветилов Г.М. Радиационная безопасность промышленной продукции. М.: МГУЛ, 2013. 36 с.
- [15] Tucaković I., Barišić D., Grahek Ž., Kasap A., Širić I. ¹³⁷Cs in mushrooms from Croatia sampled 15–30 years after Chernobyl // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 181, no 1, pp. 147–151.
- [16] Gulac O.V. Analysis of the causes of forest fires near the Chernobyl // *Міжнародний науковий журнал Інтернаука*, 2016, no 6–3, pp. 149–152.
- [17] Иванников В.А., Подосенова Е.А., Тюков А.А. Тяжкое наследие // *Экология и жизнь*, 2006. № 4. С. 3–8.
- [18] Jobbágya V., Altitzogloua T., Maloa, Tannerb V., Hult M. A brief overview on radon measurements in drinking water // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, v. 173, pp. 18–24.
- [19] Vogeltanz-Holma N., Schwartzb G.G. Radon and lung cancer: What does the public really know? // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 192, pp. 26–31.

Сведения об авторах

Агеев Антон Константинович — магистрант кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), ageev@mgul.ac.ru

Иванкин Андрей Николаевич — д-р хим. наук, профессор кафедры химии и химических технологий лесного комплекса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

Горбачева Галина Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-drev@mgul.ac.ru

Санаев Виктор Георгиевич — д-р техн. наук, профессор кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-drev@mgul.ac.ru

Беляков Владимир Алексеевич — канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-измерительных систем и технологии приборостроения МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-sertif@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 01.10.2018.

Принята к публикации 19.11.2018.

RADIOECOLOGY OF AFFECTED FOREST AREAS IN THE BELARUS REPUBLIC THROUGH THIRTY YEARS AFTER CHERNOBYL DISASTER

A.K. Ageev, A.N. Ivankin, G.A. Gorbacheva, V.G. Sanaev, V.A. Belyakov

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

aivankin@mgul.ac.ru

Radioactive contamination of forest ecosystems has created the conditions under which conventional forest management and multi-purpose forest use are impossible for many years. The 33 paper gives a modern assessment of the state of the forest area exposed to the effect of radionuclides after the Chernobyl accident, using the example of some forestries in the Republic of Belarus. It is shown that in some parts of the forest area even after three decades, the amount of radioactive substances cannot cause direct damage to plants and animals but in accordance with the general level of radioactive contamination exceeds the permissible standards of forest products and safe radiation doses of people. An assessment of the ecological state of the forest area has been made and the distribution of the radiation contamination of some sections of the forest zone in the Republic of Belarus has been studied according to the levels of ^{137}Cs radionuclide content. The data are presented in 2010–2017 of the radionuclide content in fungal biomass, as well as in birch, spruce and pine wood. It is shown that the average level of radionuclide content in fungi decreased monotonically from 2500 to 420 Bq/kg over the last ten-year period, and in the wood the level of radiation pollution today is 50...120 Bq/kg in the most polluted forest areas, which does not exceed allowable levels of security. A forecast is given for improving the ecological state of the forest from the point of view of the complete disinfection of the studied territories and is shown on the basis of the calculated values of the change in the background radiation that, on the territory of seven forest areas assigned to the first, second, third and fourth zones with soil contamination densities of ^{137}Cs 1...40 Ki/km², the actual area of pollution from 2015 monotonously decreases from the initial values of 3...99 % to about half by 2031 and complete disinfection can occur by 2111.

Keywords: radioecology of the forest area, distribution of radio nuclides, levels of radiation pollution, reduction forecast

Suggested citation: Ageev A.K., Ivankin A.N., Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Belyakov V.A. *Radioekologiya zarazhennykh lesnykh arealov Respubliki Belarus' cherez tridcat' let posle Chernobylya* [Radioecology of affected forest areas in the Belarus Republic through thirty years after Chernobyl disaster]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 14–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-14-21

References

- [1] Tikhomirov F.A., Shcheglov A.I. Main investigation results on the forest radioecology in the Kyshtym and Chernobyl accident zones. *Science of The Total Environment*, 1994, v. 157, no. 11, pp. 45–57.
- [2] Novikov V.S., Mastyukov A.A., Chelnakova N.G. *Geroi i prizraki Chernobylya*. [Heroes and ghosts of Chernobyl]. St. Petersburg: Professional, 2014, 404 p.
- [3] Tikhonov M.N. *Uroki chernobylya: analiz i ocenka posledstviy* [Lessons of Chernobyl: analysis and assessment of consequences]. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences], 2014, no. 3, pp. 8–16.
- [4] Il'inskikh N.N., Bulatov V.I., Adam A.M., Smirnov B.V., Plotnikova N.N., Ivanchuk I.I. *Radiacionnaya ehkogenetika Rossii* [Radiation ecogenetics of Russia]. Tomsk: Crocus, 1998, 253 p.
- [5] Steinhäuser G., Brandl A., Johnson T.E. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of The Total Environment*, 2014, v. 470–471, no 2, pp. 800–817.
- [6] Glazko V.I., Glazko T.T. *Effekt Chernobylya — populyacionno-geneticheskie posledstviya* [The effect of Chernobyl — population-genetic consequences]. Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 2005, no 5, pp. 39–43.
- [7] Beresford N.A., Fesenko S., Konoplev A., Skuterud L., Smith J.T., Voigt G. Thirty years after the Chernobyl accident: What lessons have we learnt. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2016, v. 157, no 6, pp. 77–89.
- [8] Kvasnikova E.V., Zhukova O.M., Gordeev S.K., Konstantinov S.V., Kirov S.S., Lysak A.V., Manzon D.A. *Cезий-137 v pochvah landshaftov cherez 20 let posle avarii na Chernobyl'skoy AEHS* [Cesium-137 in soil landscapes 20 years after the Chernobyl nuclear power plant accident]. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Ser. Geographical, 2009, no 5, pp. 66–83.
- [9] Evangelidou N., Balkanski Y., Cozic A., Hao W.M., Möller A.P. Wildfires in Chernobyl-contaminated forests and risks to the population and the environment: A new nuclear disaster about to happen. *Environment International*, 2014, v. 73, no 12, pp. 346–358.
- [10] Thiry Y., Albrecht A., Tanaka T. Development and assessment of a simple ecological model for forests contaminated by radionuclide fallout. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 190–191, no 10, pp. 149–159.
- [11] Diener A., Hartmann P., Urso L., Battle J.V., Steiner M. Approaches to modelling radioactive contaminations in forests. Overview and guidance. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, v. 178–179, no 11, pp. 203–211.
- [12] Ipatiev V.A. *Les i Chernobyl'. Lesnye ehkosistemy posle avarii na Chernobyl'skoy AEHS, 1986–1994* [Forest and Chernobyl. Forest ecosystems after the accident at the Chernobyl nuclear power plant, 1986–1994]. Minsk: MNPP Stener, 1994, 252 p.
- [13] Tikhomirov F.A., Shcheglov A.I. *Radioekologicheskie posledstviya Kyshtym'skoy i Chernobyl'skoy radiatsionnoy avariy v lesnykh ekosistemakh* [Radioecological Consequences of the Kyshtym and Chernobyl Radiation Accidents in Forest Ecosystems. In the collection. ecology of regions of nuclear power plants (ERAS 1)] Ed. Yu.A. Egorova. Moscow: Kurchatovskiy institut, 1993, no 1, p. 71.

- [14] Kopunova G.A., Belyakov V.A., Ivankin A.N. Avetisov G.M. *Radiacionnaya bezopasnost' promyshlennoy produkcii* [Radiation safety of industrial products]. Moscow: MSFU, 2013, 36 p.
- [15] Tucaković I., Barišić D., Grahek Ž., Kasap A., Širić I. 137Cs in mushrooms from Croatia sampled 15–30 years after Chernobyl. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 181, no. 1, pp. 147–151.
- [16] Gulac O.V. Analysis of the causes of forest fires near the Chernobyl. *International scientific journal Internauca*, 2016, no 6–3, pp. 149–152.
- [17] Ivannikov V.A., Podosenova E.A., Tyukov A.A. *Tyazhkoje nasledie* [Heavy heritage]. *Ekologiya i zhizn'* [Ecology and life], 2006, no. 4, pp. 3–8.
- [18] Jobbágya V., Altitzogloua T., Maloa, Tannerb V., Hult M. A brief overview on radon measurements in drinking water. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, v. 173, pp. 18–24.
- [19] Vogeltanz-Holma N., Schwartzb G.G. Radon and lung cancer: What does the public really know? *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 192, pp. 26–31.

Authors' information

Ageev Anton Konstantinovich — Master of the Department of Wood Science and Technology of Wood Processing BMSTU (Mytishchi branch), ageev@mgul.ac.ru

Ivankin Andrey Nikolayevich — Dr. Sci. (Chem.), Professor of the Department of Chemistry BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

Gorbacheva Galina Aleksandrovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Wood Science and Technology of Wood Processing BMSTU (Mytishchi branch), caf-drev@mgul.ac.ru

Sanaev Viktor Georgievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Wood Science and Technology of Wood Processing BMSTU (Mytishchi branch), caf-drev@mgul.ac.ru

Belyakov Vladimir Alekseevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Information-Measuring Systems and Instrument-Making Technology BMSTU (Mytishchi branch), caf-sertif@mgul.ac.ru

Received 01.10.2018.

Accepted for publication 19.11.2018.