

Динамика снижения радиационного фона в белорусском секторе зоны отчуждения ЧАЭС в различных ландшафтных условиях

Р.А. НЕНАШЕВ¹, С.А. КАЛИНИЧЕНКО¹, М.А. ШАБАЛЕВА², В.В. ГОЛОВЕШКИН¹, В.Е. БЕЛАШ¹,
В.Л. ЮХНЕВИЧ¹

Дана оценка скорости снижения радиационного фона в различных типах ландшафтов белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Рассчитан период полуснижения мощности эквивалентной дозы γ -излучения. Определены более высокие темпы уменьшения мощности дозы на безлесных открытых участках и ее медленное снижение на участках с влажными минеральными почвами на понижениях рельефа. Установлена обратная зависимость мощности дозы и метеорологических показателей.

Ключевые слова: МД, мощность дозы, ^{137}Cs , Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ПГРЭЗ), радиоэкологический мониторинг.

The rate of decrease in background radiation in various types of landscapes in the Belarusian sector of the Chernobyl nuclear power plant exclusion zone was assessed. The half-life of the equivalent dose rate of γ -radiation was calculated. Higher rates of decrease in dose rate were determined in treeless open areas and its slow decrease in areas with moist mineral soils on relief depressions. An inverse relationship between dose rate and meteorological parameters has been established.

Keywords: DR, dose rate, ^{137}Cs , Polesie State Radiation-Ecological Reserve (PSRER), radioecological monitoring.

Введение. Радиационно-экологический мониторинг объектов окружающей среды является неотъемлемой частью анализа текущей радиоэкологической ситуации с учетом факторов, оказывающих воздействие на ее динамику в различных природных комплексах и основой для прогнозных оценок. При этом первичным этапом оценки радиационной обстановки является определение мощности дозы γ -излучения (МД), которая характеризует в целом влияние на экосистему радиационного фактора, вызывающего определенные радиационные эффекты у живых организмов.

Известно, что после разовых радиоактивных выпадений интенсивность МД постепенно снижается по мере уменьшения суммарной плотности загрязнения γ -излучающими радионуклидами. В настоящее время в формирование радиационного фона γ -излучения в белорусском секторе зоны отчуждения ЧАЭС вносят вклад ^{137}Cs , ^{90}Sr и трансурановые элементы ($^{238,239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am), из которых основным является ^{137}Cs [1], поэтому закономерное снижение МД зависит, в первую очередь, от скорости радиоактивного распада этого радионуклида. Второй компонентой, определяющей динамику мощности дозы, является скорость ее снижения за счет природных процессов, к которым можно отнести вымывание радионуклидов из верхних слоев почвы, их миграцию из лесной подстилки вглубь почвенного профиля, вследствие чего происходит экранирование излучения верхними слоями почвы и почвенной влаги. Динамика данной компоненты характеризуется «экологическим периодом полуснижения» [2]. В зависимости от ландшафта и метеословий скорость и интенсивность этих процессов могут существенно варьировать [3].

Целью настоящего исследования являлась оценка динамики радиоэкологической ситуации и влияющих на нее факторов в естественных ландшафтах ближней зоны ЧАЭС в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике на основе многолетних данных по уровню МД на специально созданных постоянных пунктах наблюдений.

Материалы и методика. Для проведения наблюдений за динамикой мощности дозы γ -излучения (МД) в 1996 г. в окрестностях бывшего населенного пункта Масаны (Хойникский участок ПГРЭЗ) была создана сеть постоянных пунктов наблюдений (Рп), расположенных вдоль горизонтального экологического профиля, характеризующегося различными ландшафтными условиями: на сравнительно небольшой территории сочетаются ландшафты, существенно различные по генезису, абсолютной высоте, форме поверхности, режиму увлажнения, типам почвы, растительному покрову и т. д. В 30-ти километровой зоне основны-

ми типами ландшафтов являются элювиальные, транзитные, транзитно-аккумулятивные и аккумулятивные. Они представлены надпойменными террасами, моренными водораздельными равнинами, широкими речными долинами, в которых развиты разнообразные биогеоценозы: заболоченные луга, пойменные луга, черноольшаники, сосняки, смешанные леса. На ранее обрабатываемых землях развились залежи.

Сеть включает в себя 12 реперных пунктов (Rp), это типичные для белорусского сектора зоны отселения элементарные ландшафты: девять из которых расположены в различных естественных биогеоценозах, два – на санитарно-защитной зоне и метеоплощадке исследовательской станции (ИС) Масаны, один – в доме проживания вахтового персонала ИС. Пункты реперной сети различаются как по высотному расположению, так и по типу растительности. Все площадки оборудованы металлическими маркерами-указателями на точках измерения МД. Их характеристика и расположение приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Характеристика постоянных пунктов наблюдений

№ Rp	Название объекта	Высота над уровнем моря, м	Уровень грунтовых вод в весенний период, м	Плотность радиоактивного загрязнения, кБк/м ²	
				¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
1	Залежь	112	1,5	4510 ± 396	1315 ± 263
2	Санитарно-защитная зона ст. Масаны	113	1,5–2,0	422 ± 2	171 ± 43
3	Дом вахтового персонала ст. Масаны	113	–	–	–
4	Метеоплощадка ст. Масаны	113	1,5	3052 ± 707	92 ± 48
5	Березняк	110	0,1–0,2	1984 ± 74	1109 ± 222
6	Сосняк	114	≥3,0	2761 ± 176	1465 ± 304
7	Вершина холма	128	≥3,0	2095 ± 371	1800 ± 373
8	Склон холма	120	≥3,0	3562 ± 390	445 ± 117
9	Высокая пойма	112	1,5–2,0	3363 ± 117	2112 ± 434
10	Низкая пойма	110	0,25	2297 ± 9	3048 ± 610
11	Низкий берег	108	Затапливается	2113 ± 708	1661 ± 339
12	Высокий берег	110	1,5–2,0	3262 ± 169	1725 ± 345



Рисунок 1 – Карта-схема расположения реперных пунктов

Rp-1 «Залежь»: расположен на суходольном луге, который в доаварийный период использовался в качестве окультуренного пастбища. Почва дерново-подзолистая супесчаная слабоподзоленная старопашотная. К настоящему времени под воздействием сукцессионных процессов здесь сформировался растительный покров, представленный многолетними корневищными рыхлокустовыми и плотнокустовыми злаками и разнотравьем. Проективное покрытие – 90 %.

Реперные точки Rp-2 и Rp-3 расположены непосредственно на санитарно-защитной зоне исследовательской станции «Масаны», где в 1996 г. была проведена дезактивация территории путем снятия верхнего слоя грунта. При этом точка Rp-2 находится на открытом участке со злаково-разнотравным травостоем, а точка Rp-3 – внутри помещения. Почва дерново-подзолистая, супесчаная, слабоопозоленная, пахотная.

Рр-4 «Метеоплощадка» располагается на открытом участке в 50 м к северу от санитарно-защитной зоны исследовательской станции «Масаны», растительный покров практически отсутствует. Почва дерново-подзолистая, песчаная, слабооподзоленная, верхний слой представляет собой мелкозернистый песок.

Рр-5 «Березняк» расположен на расстоянии 500 м от б.н.п. Масаны. Находится в закрытой ложбине, где в весенний период грунтовые воды поднимаются к поверхности почвы. Ландшафт сильно всхолмленный. Участок расположен на пониженных элементах рельефа. Произрастает березовый лес с примесью дуба, осины, сосны. Подлесок средней густоты из ивы и крушины. Живой напочвенный покров представлен зелеными мхами, осокой и злаками. Проективное покрытие – 65–70 %. Почва дерново-подзолистая среднеоподзоленная с оторфованным гумусовым горизонтом.

Рр-6 «Сосняк» находится в 480 м от б.н.п. Масаны. На участке произрастает сосновый лес, чистый сосновый лес мшистого типа, средний возраст деревьев 50–60 лет. Ландшафт элювиальный, сильно всхолмленный. Подлесок не развит. Живой напочвенный покров представлен мхами и лишайниками, проективное покрытие – 50 %. Почва дерново-подзолистая, слабооподзоленная, песчаная, развитая на песке связном, подстилаемая с глубины 25 см песком.

Рр-7 «Вершина холма» расположен на возвышенности, относящейся по происхождению к конечно-моренным грядам и холмам днепровского времени. Является самой высокой точкой на данной местности. Почва дерново-подзолистая супесчаная, переходящая по южному склону в чистые пески. Участок открытый, растительный покров представлен злаковым разнотравьем. Проективное покрытие почвы – 80–90 %.

Рр-8 «Склон холма» находится на южном склоне указанной выше возвышенности, в 50 м от Рр-7. Почва дерново-подзолистая, песчаная, слабооподзоленная, верхний слой грунта покрыт мелкозернистым песком. Участок открытый, растительный покров скудный, представлен злаковым разнотравьем, лишайниками. Проективное покрытие – 20–30 %.

Рр-9 «Высокая пойма» находится в 14 км от ЧАЭС на северо-западной границе б.н.п. Масаны и расположен на южном подножии указанной выше возвышенности. Почва дерново-подзолистая, супесчаная, слабооподзоленная. На участке растительный покров представлен злаковым разнотравьем. Проективное покрытие – 70–80 %. Из древесных пород произрастает сосна, дуб, робиния (единичные деревья). С западной стороны к участку примыкает лесной массив, представленный ольхой черной и дубом черешчатым.

Рр-10 «Низкая пойма» расположен на открытой местности, на пониженном, заболоченном участке рельефа, в 150 м к северу от озера Персток. С западной стороны к участку примыкает черноольховый лес папоротникового типа. Почва торфянисто-подзолисто-глеевая. Растительный покров с хорошо развитой фитомассой и представлен осоками, тростником, крапивой. Проективное покрытие – 80–90 %. В отдельные годы наблюдалось затопление участка во время половодья.

Рр-11 «Низкий берег» находится на южной границе б.н.п. Масаны и расположен в 5 м от уреза воды, на левом берегу северной оконечности озера Персток. Данная реперная точка является самой низкой на всем экологическом профиле и по степени увлажнения соответствует сырому типу гидротопы. Почва аллювиальная дерновая. На участке произрастает ольха черная высотой 25 м (единичные деревья). В подлеске встречается крушина, ежевика. Растительный покров представлен крапивой, тростником, аиром, вербейником, папоротниками, осоками. Проективное покрытие – 40–50 %. В весенний период участок затапливается на 30–40 суток в результате разлива озера Персток.

Рр-12 «Высокий берег» расположен на южной границе б.н.п. Масаны, в 50 м от озера Персток и является самой близкой реперной точкой к ЧАЭС (расстояние 14 км). Находится на территории бывшего подворья сельского дома. Почва дерново-подзолистая, супесчаная, слабооподзоленная, старопашотная. На участке произрастают плодово-ягодные культуры (яблоня, вишня, слива, малина). Растительный покров скудный, представлен злаками, проективное покрытие – 30–40 %.

По условиям увлажнения почвы постоянных пунктов наблюдения Рр-1 – Рр-4, Рр-6 – Рр-9, Рр-12 являются автоморфными, площадок Рр-5, Рр-10, Рр-11 – гидроморфными.

Измерения МД проводились на высоте 1 м и 3 см над поверхностью почвы согласно методикам, изложенным в источниках [4]–[5]. На реперных пунктах, расположенных на санитарно-защитной зоне и метеоплощадке, снятие показаний проводилось 2 раза в день, на остальных реперных пунктах – ежеквартально. Использовался дозиметр-радиометр МКС-АТ 1125 (АТОМТЕХ, РБ).

Оценка темпов снижения радиационного фона на постоянных пунктах наблюдений проводилась на основе аппроксимации данных по динамике МД за период 1997–2022 гг. Всего на каждой реперной точке за указанный период было проведено по 910 измерений МД на высоте 3 см и 1 м соответственно. На основе полученного массива данных для каждого реперного пункта рассчитывали среднегодовую МД. Итоговый объем выборки составил 52 значения для каждой реперной точки (по 26 значений при измерении МД высоте 3 см и 1 м соответственно).

Радиационный фон в белорусском секторе зоны отчуждения ЧАЭС формируется группой γ -излучающих радионуклидов чернобыльского происхождения, из которых в настоящее время основным источником γ -излучения является распад изотопа ^{137}Cs . Поскольку количество ^{137}Cs в окружающей среде уменьшается со временем по экспоненциальному закону (закон радиоактивного распада), то снижение мощности γ -излучения также происходит согласно этой функциональной зависимости. Процесс снижения радиационного фона (в нашем случае – величины МД) с течением времени определяется экспоненциальной функцией следующего вида:

$$\text{МД}_t = \text{МД}_0 \times e^{-\ln(2)t/T} \quad (1)$$

где МД_0 – исходная величина радиационного фона; МД_t – величина радиационного фона через время t ; T – период полуснижения или время, за которое радиационный фон уменьшается в 2 раза.

По уравнению 1 с помощью метода наименьших квадратов был рассчитан параметр T для каждого пункта наблюдений (таблица 2). Для оценки метеорологических параметров использовался коэффициент увлажнения (K_y), который рассчитывается по формуле:

$$K_y = \frac{O}{I} \quad (2)$$

где O – среднегодовое количество осадков, мм; I – величина испаряемости (количество влаги, которое может испариться с водной поверхности при данной температуре), мм.

Анализ нормальности распределения проводился с помощью критерия Шапиро-Уилкса и показал существенные отличия от нормального. Результаты представлены в виде среднего (X) медианы (Me) и интерквартильного интервала (Q_{25} , Q_{75}). Оценка различий между группами проводилась с помощью критерия Манна-Уитни. Корреляционный анализ осуществлялся с помощью критерия Спирмена (r). Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программного пакета STATISTICA 12.0 и табличного процессора Microsoft Excel, входящего в пакет программ MS Office 2007.

Результаты и их обсуждение. Изучение многолетней динамики МД на пробных площадях показало, что на начальный период измерений (1997 г.) наибольшие среди природных объектов значения МД на высоте 1 м наблюдались на Рр-6 (сосняк), Рр-9 (высокая пойма) (5,45; 5,01 мкЗв/час соответственно) (таблица 2). Минимальные показатели МД отмечены на Рр-11 (низкий берег), Рр-10 (низкая пойма), Рр-5 (березняк), т. е. на гидроморфных почвах (3,48; 3,87 и 3,97 мкЗв/час соответственно). Следует отметить, что коэффициент детерминации R^2 свидетельствует о слабой адекватности приведенной модели для реперных точек Рр-10 и Рр-11 при измерении МД на высоте 3 см над поверхностью почвы. Высокая мозаичность радиоактивных выпадений в зоне отчуждения ЧАЭС может оказывать существенное влияние на величину МД даже на рядом находящиеся точки. Поэтому более информативными являются данные, полученные при измерении МД на высоте 1 м. Низкие значения коэффициента R^2 также были получены для Рр-2 как при измерении МД на 3 см, так и на 1 м от поверхности почвы. После проведенных в 1996 году дезактивационных мероприятий на этом участке в настоящее время происходит его вторичное радиоактивное загрязнение путем переноса радионуклидов с пылевыми частицами с сопредельной территории, в итоге наблюдается отклонение динамики снижения радиационного фона от экспоненциальной зависимости.

По прошествии 25 лет максимальные показатели МД на высоте 1 м по-прежнему отмечены на Рр-6 и 9 (2,94 и 2,96 мкЗв/час соответственно), тогда как самые низкие – вновь на Рр-11 (урез воды оз. Персток), Рр-5 (березняк), а также на территории Рр-1 (залежь) (1,49; 2,07; 1,55 мкЗв/час соответственно). Кроме того, именно на Рр-1 и Рр-11 определены наибольшие значения процентного снижения МД на высоте 1 м за 25 лет (на 64 и 57 % соответственно).

В результате рассчитанных с помощью экспоненциальных временных моделей установлено, что наиболее короткие периоды полуснижения МД (T) характерны для ландшафта Рр-1 (залежь) (таблица 2), где рассчитанный показатель наименьший: $T = 19,5$ и $16,8$ лет (соответственно на уровне 3 см и 1 м над поверхностью почвы). Очевидно, резкое снижение МД

на залежи, как в экосистеме с полным отсутствием лесной подстилки, обусловлено естественными процессами миграции, вымывания радионуклидов с дождевым стоком в минеральные слои в значительно больших количествах, по сравнению с лесными территориями. Возможно, определенную роль сыграло активное сельскохозяйственное использование этой территории перед и в момент аварии на ЧАЭС, а именно: радиоактивные выпадения на этом участке происходили на вспаханный слой почвы, что в дальнейшем способствовало более быстрому проникновению радионуклидов по почвенному профилю.

Таблица 2 – Показатели радиационного фона на постоянных пунктах наблюдений

№ Rp	МД, мкЗв/час										Величина периода полуснижения Т, лет			
	3 см					1 м					3 см		1 м	
	X 1997 2022	Me 1997 2022	Q25	Q75	% сни- жения	X 1997 2022	Me 1997 2022	Q25	Q75	% сни- жения	T	R ²	T	R ²
1	<u>5,31</u> 2,15	<u>5,38</u> 2,14	<u>4,97</u> 2,05	<u>5,75</u> 2,31	59,5	<u>4,33</u> 1,55	<u>4,45</u> 1,59	<u>4,24</u> 1,47	<u>4,60</u> 1,67	64,2	19,27	0,79	16,76	0,92
2	<u>0,61</u> 0,38	<u>0,53</u> 0,38	<u>0,47</u> 0,36	<u>0,76</u> 0,41	38,1	<u>0,94</u> 0,43	<u>0,80</u> 0,43	<u>0,70</u> 0,40	<u>1,21</u> 0,45	54,5	47,71	0,38	38,00	0,45
4	<u>6,49</u> 2,99	<u>6,64</u> 3,04	<u>6,45</u> 2,81	<u>6,79</u> 3,14	53,9	<u>4,38</u> 2,73	<u>4,49</u> 2,75	<u>4,35</u> 2,56	<u>4,60</u> 2,87	37,8	22,61	0,85	34,99	0,61
5	<u>4,79</u> 2,36	<u>4,94</u> 2,41	<u>4,37</u> 2,18	<u>5,30</u> 2,54	50,8	<u>3,97</u> 2,07	<u>4,13</u> 2,17	<u>3,69</u> 1,79	<u>4,23</u> 2,24	47,7	27,56	0,64	27,29	0,64
6	<u>7,75</u> 3,98	<u>8,14</u> 3,88	<u>7,20</u> 3,80	<u>8,50</u> 4,27	48,7	<u>5,45</u> 2,94	<u>5,58</u> 2,93	<u>5,36</u> 2,79	<u>5,81</u> 3,17	46,1	26,22	0,79	26,13	0,77
7	<u>7,37</u> 2,93	<u>8,04</u> 2,94	<u>6,56</u> 2,80	<u>8,17</u> 3,13	60,2	<u>4,28</u> 2,00	<u>4,42</u> 2,03	<u>4,18</u> 1,94	<u>4,53</u> 2,14	53,3	21,31	0,83	23,45	0,86
8	<u>7,33</u> 2,38	<u>7,77</u> 2,43	<u>6,65</u> 2,11	<u>8,27</u> 2,53	67,5	<u>4,56</u> 2,33	<u>4,72</u> 2,40	<u>4,42</u> 2,14	<u>4,90</u> 2,47	49,0	25,49	0,62	29,28	0,70
9	<u>6,95</u> 3,48	<u>7,14</u> 3,50	<u>6,50</u> 3,24	<u>7,63</u> 3,77	49,9	<u>5,01</u> 2,96	<u>5,14</u> 3,07	<u>4,76</u> 2,76	<u>5,41</u> 3,25	41,0	24,50	0,86	31,80	0,71
10	<u>3,31</u> 2,55	<u>2,63</u> 2,50	<u>2,47</u> 2,36	<u>4,18</u> 2,75	22,9	<u>3,87</u> 2,25	<u>3,90</u> 2,28	<u>3,75</u> 2,14	<u>4,09</u> 2,42	41,7	82,76	0,19	32,23	0,67
11	<u>2,34</u> 1,03	<u>2,29</u> 1,01	<u>2,21</u> 0,96	<u>2,38</u> 1,10	55,9	<u>3,48</u> 1,49	<u>3,58</u> 1,53	<u>3,27</u> 1,42	<u>3,85</u> 1,59	57,3	32,14	0,50	26,59	0,63
12	<u>5,58</u> 3,37	<u>5,81</u> 3,40	<u>5,23</u> 3,10	<u>6,10</u> 3,60	39,6	<u>4,08</u> 2,60	<u>4,25</u> 2,60	<u>4,02</u> 2,47	<u>4,34</u> 2,83	36,2	31,33	0,79	35,44	0,64

По сравнению с открытой местностью, достаточно высокими показателями Т, то есть медленными темпами снижения МД на высоте 1 м, характеризуются участки, покрытые лесом: от 26,1 до 27,3 лет соответственно для Rp-6 – соснового и Rp-5 – березового насаждения. Можно предположить, что высокие и медленно снижающиеся показатели МД в лесах связаны с повышенным содержанием радионуклидов в верхнем слое почвы и обусловлены постоянным поступлением их из разлагающегося опада [6]. Установлено также, что период полуснижения МД – Т – в сосняке меньше такового в лиственных фитоценозах (соответственно 26 и 27,5 лет).

Среди других особенностей многолетнего снижения МД следует выделить факт того, что процесс идет медленнее на участках, находящихся на понижениях рельефа местности, по сравнению с ландшафтами на возвышениях. В нашем случае территории Rp-10 (низкая пойма), Rp-11 (низкий берег) и Rp-12 (высокий берег) отличались длительными периодами Т – до 35 лет (рисунок 3). При этом весьма низкие значения Т получены для вершины и склона холма: Rp-7 и 8 (от 21 – 23 до 26 – 29 лет соответственно). Очевидно, что эти различия вызваны горизонтальной миграцией и перераспределением запаса радионуклидов за счет процессов смыва с твердым и жидким поверхностным стоком.

Относительно Rp-9 (высокая пойма, являющаяся, по сути, подножием холма; Т = 32 года на высоте 1 м) можно выделить особую роль концентрирования радиоактивных элементов в почве данного участка, связанного с процессами их смыва по склону этой возвышенности.

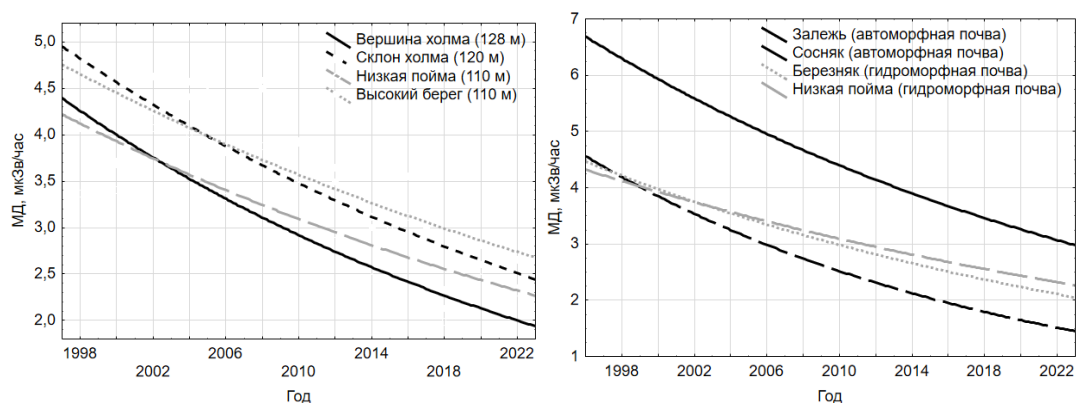


Рисунок 3 – Динамика снижения мощности эквивалентной дозы на реперных точках за период 1997–2023 гг.

Также из рисунка 3 видно, что заметно медленнее происходит снижение МД на площадках, расположенных на гидроморфных почвах (березняк и низкая пойма – Rp-5 и 10), где грунтовые воды в ряде случаев выходят на поверхность (рисунок 3) относительно автоморфных. В целом, из рисунка 3 видно, что многолетнее снижение МД происходит по экспоненциальному закону. Однако в ряде случаев наблюдается разброс значений и заметные отклонения от общего тренда. Особенно высокий разброс характерен для Rp-1, 7 и 11. При этом самое существенное статистически значимое повышение МД, по сравнению с предыдущим годом, наблюдалось в 2001, 2008, 2015 гг. В то же время, значимым снижением МД относительно предыдущего года отличались 1998, 2003, 2013, 2017 гг. Такие флуктуации можно объяснить дополнительным влиянием внешних факторов, главным образом, метеорологических.

Так, из рисунка 4 видно, что существуют сезонные отличия МД ($F = 3,0 - 12,7$; $p < 0,05$). При определённых условиях (влажная маловетренная погода, покрытая снегом поверхность), мощность дозы γ -излучения может временно уменьшаться, что создаёт более благоприятную радиационную обстановку. В частности, зимние месяцы характеризуются статистически значимо более низкими показателями МД (в соответствии с критерием Манна – Уитни), по сравнению с остальными сезонами ($Z = -2,3 - 4,5$, $p < 0,05$). При этом на гидроморфных почвах Rp-5 и Rp-11 к тому же отмечена значимо более низкая МД в весенний период относительно лета и осени ($Z = -3,1$, $p < 0,05$).

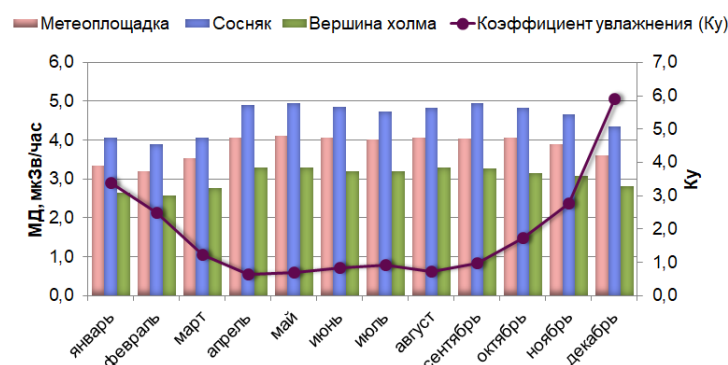


Рисунок 4 – Усредненная за весь период наблюдения сезонная динамика МД и K_u на отдельных Rp

Как известно, существует постоянная угроза активизации источников радиоактивного загрязнения в результате поднятия в воздух из подстилающих поверхностей значительного количества радионуклидов. Поэтому несомненно, что существенную роль в динамике МД играют осадки. В целом, по имеющимся данным, прослеживается определенная тенденция повышения МД в годы, когда количество осадков было наименьшим. Однако более существенную взаимосвязь с радиоактивной ситуацией можно определить для рассчитываемого на основе метеорологических данных интегрирующего показателя – K_u . Известно, что в засушливые периоды, когда коэффициент увлажнения менее единицы и испаряемость намного преобладает над осадками, МД возрастает в среднем на 6–8%. Это обуславливается тем, что поровая влага почвы существенно экранирует поток γ -излучения, обладая высоким коэффициентом ослабления. На боль-

шинстве реперных точек (таблица 3) была получена статистически значимая обратная корреляционная связь между этими показателями ($r = -0,12 - 0,16$). Данная связь не установлена лишь для Rp-5, 8, 10 и 11, то есть наименее чётко просматривается зависимость изменения МД от метеопараметров на площадках с повышенным режимом увлажнения. При этом на сухих участках в засушливый период регулярно отмечается существенное увеличение МД, что связано со значительным снижением количества почвенной влаги в корнеобитаемом слое, которая уменьшает поток γ -излучения. Таким образом, при прогнозировании радиационной ситуации на местности необходимо наряду с особенностями ландшафта учитывать и метеорологические факторы. Полученные сведения могут служить основой для решения задач по долгосрочному прогнозированию дозовых нагрузок для человека во время пребывания в зоне отчуждения.

Таблица 3 – Показатели корреляционной связи Ку и МД за многолетний период

№ Rp	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n	266	266	266	259	266	266	266	266	264	264	266
r	-0,08	-0,12	-0,15	-0,05	-0,14	-0,15	-0,12	-0,16	-0,1	-0,03	-0,15
p	0,19	0,05	0,02	0,42	0,03	0,02	0,05	0,01	0,11	0,58	0,02
t	-1,30	-1,97	-2,47	-0,82	-2,31	-2,49	-1,99	-2,67	-1,66	-0,50	-2,51

Заключение. 1. За 25-летний период исследований МД на постоянных пробных площадях ПГРЭС установлено, что наибольшие значения МД (5,5 мкЗв/час в 1997 г. и 2,9 мкЗв/час в 2022 г.) характерны для объектов на автоморфных почвах; самые низкие – на гидроморфных почвах (3,5–4,0 мкЗв/час в 1997 г. и 1,5–2 мкЗв/час в 2022 г.).

2. Рассчитанные с помощью экспоненциальных моделей периоды полуснижения МД позволили определить самую высокую скорость снижения МД для Rp-1 (залежь) ($T = 19,5$ и $16,8$ лет на высоте 3 см 1 м над уровнем почвы соответственно). Более низкие темпы снижения МД обнаруживаются на участках, покрытых лесом, по сравнению с открытыми пробными площадями, а также на территориях, располагающихся на понижениях рельефа относительно возвышенностей. Установлена также меньшая скорость снижения МД на гидроморфных почвах, по сравнению с автоморфными.

3. Определено статистически значимое снижение МД в зимний период относительно других сезонов года. Для объектов на автоморфных почвах определена статистически значимая ($p < 0,05$) обратная корреляционная зависимость МД от коэффициента увлажнения ($r = -0,12 - 0,16$).

Литература

1. Рамзаев, В. П. Корреляция между расчетными и измеренными значениями мощности дозы гамма-излучения в воздухе в лесах, загрязненных ^{137}Cs : отдаленный период после Чернобыльской аварии / В. П. Рамзаев, А. Н. Барковский // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 37–46.
2. Рамзаев, В. П. Динамика уменьшения мощности дозы гамма-излучения в воздухе в сельских населенных пунктах Брянской области России в отдаленном периоде после Чернобыльской аварии / В. П. Рамзаев, А. Н. Барковский // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 38–46.
3. Коробова, Е. М. Особенности пространственного распределения Cs-137, K-40 и стабильного йода в почвах суперэваляльных ландшафтов поймы р. Ипуть / Е. М. Коробова, С. Л. Романов, В. Ю. Берёзкин // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы IV Международной конференции, Томск, 4–8 июня 2013 г. – Томск, 2013. – С. 295–298.
4. Методика выполнения измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения дозиметрами и дозиметрами-радиометрами: МВИ. МН 2513-2006. – Введ. 09.06.2005. – Гомель: Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии», 2005. – 11 с.
5. Радиационный мониторинг лесного фонда. Обследование постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения: ТКП 499-2013 (02080). – Введ. 03.10.2013. – Минск, 2013. – 27 с.
6. Переволоцкий, А. Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах / А. Н. Переволоцкий. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. – 255 с.

¹Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

²Гомельский государственный медицинский университет