

УДК 550.378; 539.166

В.А. Грабовський, О.С. Дзендзелюк, А.В. Трофімук

Львівський національний університет ім. І. Франка, вул. ген. Тарнавського, 107, 79017, Львів  
e-mail: trofimuk@electronics.wups.lviv.ua

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ $^{137}\text{Cs}$ ҐРУНТІВ, РОСЛИН ТА ГРИБІВ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Представлено результати досліджень забруднення радіоцезієм ґрунтів, рослин та грибів високогірної частини території Українських Карпат. Відмічений підвищений вміст  $^{137}\text{Cs}$  в ґрунтах Чорногори та прилеглих територіях у порівнянні з його вмістом в ґрунтах Прикарпаття та Закарпаття. Таку картину забруднення території Українських Карпат пояснено особливостями впливу гірського рельєфу на випадіння з радіоактивно забруднених хмар південного сліду постчорнобильських випадінь. Порівняно незначне радіоактивне забруднення рослин та грибів з регіону Карпат пояснено малою доступністю до засвоєння ними з ґрунту  $^{137}\text{Cs}$ , його закріпленням на ґрунтових комплексах. Відмічено, що зміна в наступні роки радіологічного стану довкілля регіону Карпат в основному залежатиме від природного розпаду радіоцезію.

**Ключові слова:** радіоактивність, радіоцезій, радіоактивне забруднення, Чорногірський масив, Карпати.

Радіоактивне забруднення територій залежить від багатьох факторів. Одним із основних є рельєф забруднених територій, саме він суттєво впливає на загальну картину забруднення довкілля, у т. ч. ґрунтів, а також рослинності та грибів, які на них зростають. Гірські рельєфи зумовлюють збільшення інтенсивності радіоактивних осаджень на їх площах за рахунок утримання радіоактивних хмар. На характер та подальшу ситуацію забруднення гірських територій впливають їх фізико-географічні особливості [1]. Саме тому фіксується підвищене радіоактивне забруднення території Українських Карпат як наслідок радіоактивних випадінь з радіоактивних хмар ЧАЕС, які переміщалися в південному і південно-західному напрямках і сформува-ли т. з. «південний слід» [1, 2].

Дослідження проводилися у регіоні Карпат на території Львівської, Івано-Франківської та Закарпатської областях протягом останніх двадцяти років. Значна увага приділялася вивченню радіологічного стану Чорногірського масиву Карпат та його околу.

Для досліджень відібралися проби ґрунтів в різних регіонах Карпат та на різних висотах; там же відбиралися проби рослин та грибів. Ґрунти відбиралися за методиками [3], які дозволяли визначити пи-

томі активності радіонуклідів у досліджуваному шарі ґрунту (у Бк/кг), так і щільність його забруднення (у Бк/м<sup>2</sup>). Відібрані рослини розділялися на окремі органи (листя, стебла, коріння), а гриби – на ніжки та шапки. Після підготовки до аналізу (висушування у сушильній шафі при температурі 80°C протягом 24 год., подрібнення та гомогенізації) відібрані зразки аналізувалися на спектрометрі з Ge(Li)-детектором на вміст у них гамма-випромінюючих радіонуклідів. Це дозволило на базі отриманих результатів розрахувати коефіцієнти переходу ( $K_n$ ) та накопичення ( $K_n$ ) [4] радіонукліда з ґрунту, та зробити висновки про особливості надходження  $^{137}\text{Cs}$  в їх органи.

Результати досліджень показали, що щільність забруднення  $^{137}\text{Cs}$  ґрунтів у Карпатах змінюється більше ніж на порядок (у межах 2-33 кБк/м<sup>2</sup>) в залежності від географічного положення місця відбору проб, а також від висоти над рівнем моря. Найменший вміст радіонукліда (від 2 кБк/м<sup>2</sup> до 5 кБк/м<sup>2</sup>) спостерігається для ґрунтів гірських районів Львівської області:

сmt. Моршин (2,1±0,4 кБк/м<sup>2</sup>),

м. Сколе (2,8±0,2 кБк/м<sup>2</sup>),

сmt. Славське (3,2±0,5 кБк/м<sup>2</sup>) та

Закарпатської області:

(сmt. Чинадієво (2,5±0,3 кБк/м<sup>2</sup>),

с. Кваси ( $4,7 \pm 0,2$  кБк/м<sup>2</sup>), м. Рахів ( $3,8 \pm 0,4$  кБк/м<sup>2</sup>), а найбільший – у ґрунтах Чорногірського хребта та прилеглих до нього територій (території з околу с. Акришори ( $23,8 \pm 2$  кБк/м<sup>2</sup>), с. Кривопілля ( $24,7 \pm 2$  кБк/м<sup>2</sup>), смт. Верховина ( $24,5 \pm 2$  кБк/м<sup>2</sup>) та с. Зелене ( $32,9 \pm 2$  кБк/м<sup>2</sup>).

Як відмічалось раніше [5], вміст радіонукліда у ґрунтах Чорногорського масиву загалом в 5-8 разів більший від його вмісту в ґрунтах на території Карпат, що розміщена на північ від нього, а також на Прикарпатті та Закарпатті. Для Чорногірського хребта притаманна певна специфічна залежність між вмістом радіоцезію в ґрунті та положенням (координатами та розміщенням над рівнем моря (в.р.м.)) місця відбору проб. Так, у діапазоні висот від 1750 м до 2061 м над рівнем моря щільність забруднення ґрунтів на різних ділянках хребта змінюється в межах  $(10-22) \pm 2$  кБк/м<sup>2</sup>. Має місце збільшення вмісту <sup>137</sup>Cs в ґрунтах хребта при переміщенні по його території на південний схід (по верхів'ю хребта в напрямку від г. Говерла до г. Піп Іван [5]). Як видається, така ситуація може бути пояснена збільшенням інтенсивності випадіння з радіоактивних хмар по мірі наближення до центральної частини південного чорнобильського сліду.

Для визначення особливостей зміни вмісту <sup>137</sup>Cs в ґрунтах з висотою над рівнем моря в околі г. Говерла, по її схилу зі сторони Івано-Франківської обл. у липні 2011 р. було здійснено відбір проб за маршрутом урочище Заросляк – вершина гори Говерла (по т. з. «туристичній стежці»). Відбір проб ґрунту проводився через кожні приблизно 200 м, що дозволило зробити певні висновки про вплив геочинників на початкове осадження радіонукліда та його наступну міграцію.

Щільності забруднення ґрунтів радіоцезієм та його питомі активності у ґрунтах по східному схилу г. Говерла показані на рис. 1. Як бачимо, найбільших значень (в межах 18-25 кБк/м<sup>2</sup>) вміст <sup>137</sup>Cs досягає трохи нижче району малої Говерли (на висотах 1651 м та 1422 м над рівнем моря). На вершині г. Говерла (2061 м в.р.м.) та трохи нижче на її схилі (1859 м в.р.м.) щільність забруднення практично однако-

ва (біля 13 кБк/м<sup>2</sup>). Найменше значення вміст радіоцезію має в районі ур. Заросляк (1422 м в.р.м.;  $10 \pm 2$  кБк/м<sup>2</sup>). Такі результати зміни вмісту радіоцезію в ґрунтах г. Говерла на її вершині та на різних висотах її схилу можуть бути пояснені як висотними особливостями початкових радіоактивних випадіння, так і їх наступним змином потоками води за рахунок природних опадів та танення снігу [6].

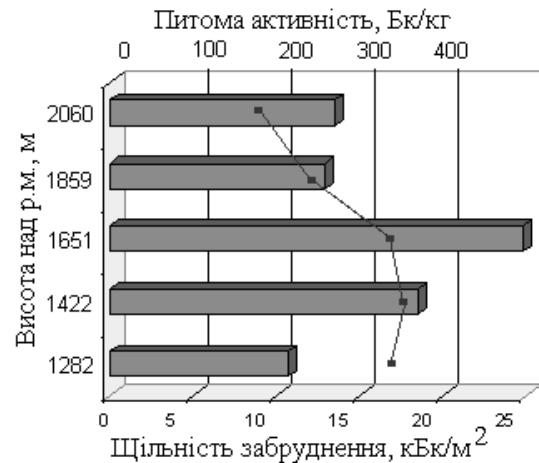


Рис. 1. Залежність щільності забруднення (стовпчик) та питомої активності (лінія) радіоцезію від висоти відбору ґрунту по схилу г. Говерли (2011 р.).

Дослідження особливостей вертикального розподілу вмісту <sup>137</sup>Cs в ґрунтах Чорногірського хребта та прилеглих вірських територій показало, що основна частина наявного на даний час у ґрунтах радіоцезію (80 - 90 %) зосереджена у їх верхніх 5-10 см шарах і не залежить від щільності забруднення та висоти над рівнем моря. Така картина розподілу вмісту радіоцезію характерна і для інших регіонів Українських Карпат – профіль розподілу <sup>137</sup>Cs за глибиною залягання для ґрунтів різних частин Українських Карпат, незважаючи на різницю в перепаді висот над рівнем моря у понад 1500 м та різні щільності забруднення ним ґрунтів, суттєво не відрізняється [5]. Це дає можливість стверджувати, що не існує принципових відмінностей в особливостях міграції радіонукліда в даних ґрунтах.

Є підстави стверджувати, що головним чинником зміни забруднення ґрунтів Карпат у наступні роки виступатиме природний розпад радіонукліда. Такою підставою можуть бути й проведені нами дослі-

дження [7] зміни протягом 1996-2009 рр. вмісту радіоцезію у лісових ґрунтах Полісся, які мають подібний профіль розподілу радіонукліда за глибиною. Ці дослідження показали, що щільність забруднення ґрунтів  $^{137}\text{Cs}$  змінюється саме завдяки цьому чиннику. Так, якщо реальна зміна з часом  $t$  вмісту радіонукліда  $A_s$  в 20-см шарі ґрунту описується виразом  $A_s = 0.96\exp(-0.0251t)$  ( $R^2 = 0.73$ ), то його зміна за рахунок природного розпаду – виразом

$A_s = \exp(-0.0231t)$ , що мало різняться між собою.

Дослідження відібраних на території Карпат деяких видів рослин та грибів показали відносно малий вміст  $^{137}\text{Cs}$  в їх органах. Така ситуація характерна як для Чорногори та прилеглих територій, де щільність забруднення знаходиться в межах 8-32 кБк/м<sup>2</sup>, так і Прикарпаття та Закарпаття, де вміст радіоцезію набагато менший (1,5-5 кБк/м<sup>2</sup>) [5].

Таблиця 1

**Питома активність  $A$  (Бк/кг) вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в деяких видів рослин, відібраних на території Чорногори (2010 р.), відповідні щільності забруднення  $S_{\text{гр}}$ , питомі активності  $A_{\text{гр}}$  ґрунтів та значення відповідних коефіцієнтів переходу  $K_{\text{П}}$  та накопичення  $K_{\text{Н}}$ ; похибка не більша  $\pm 10\%$**

Вид рослин	Координати місця відбору	Листя			Корені			$S_{\text{гр}}$ , кБк/м <sup>2</sup>	$A_{\text{гр}}$ , Бк/кг
		$A$ , Бк/кг	$K_{\text{П}}$ , $10^{-3}$ м <sup>2</sup> /кг	$K_{\text{Н}}$	$A$ , Бк/кг	$K_{\text{П}}$ , $10^{-3}$ м <sup>2</sup> /кг	$K_{\text{Н}}$		
Мати-й-мачуха	48°10'46" пн. ш. 24°34'32" сх. д.	55	2,4	0,26	35	1,5	0,17	23	205
Малина		-	-	-	-	-	-		
Шипшина		-	-	-	-	-	-		
Папороть чоловіча		73	3,2	0,36	54	2,3	0,26		
Суниці лісові	48°12'25" пн. ш. 24°35'28" сх. д.	63	5,2	0,58	-	-	-	12	107
Брусниця	48°11'28" пн. ш. 24°34'09" сх. д.	170	9	1,4	81	4,3	0,68	19	120

Результати досліджень вмісту радіоцезію у органах деяких видів рослин території Чорногори показані в табл. 1. Для досліджень вибиралися лікарські рослини з різною здатністю акумулювати радіоцезій [8]. З наведених результатів видно, що забруднення рослин радіоцезієм є невеликим і суттєво залежить від видової належності рослини. Зокрема, малина і шипшина практично не накопичують  $^{137}\text{Cs}$  з ґрунту. Відповідно, величини коефіцієнтів переходу і накопичення також незначні (листя,  $K_{\text{П}} - (2,4-9) \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/кг,  $K_{\text{Н}} - (0,26-1,4)$ ; корені,  $K_{\text{П}} - (1,5-4,3) \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/кг,  $K_{\text{Н}} - (0,17-0,68)$ ), що вказує на малу здатність рослин накопичувати радіоцезій з ґрунту. Враховуючи те, що щільність забруднення  $^{137}\text{Cs}$  для територій, де здійснювався відбір проб, становила 12-23 кБк/м<sup>2</sup>, таке мале

забруднення рослин зумовлене, очевидно, закріпленням  $^{137}\text{Cs}$  з часом на ґрунтових фракціях (насамперед глинистих) [5].

Загалом, відомо [8], що існують відмінності у здатності накопичувати радіоцезій вегетативними органами ягідних рослин та шапками і ніжками плодів та грибів, які зростають у однакових умовах вегетації. Для виявлення впливу географічного положення (у т. ч. висоти над рівнем моря) на властивість накопичувати радіонуклід, нами були в липні 2011 р. відібрані та проаналізовані на вміст  $^{137}\text{Cs}$  проби чорниці.

Результати забруднення  $^{137}\text{Cs}$  коренів, стебел (молодих та старих), листя чорниці, відібраної у різних місцях Чорногори, наведені у табл. . Як видно з приведених результатів, не спостерігається певної висот-

ної залежності здатності чорниці накопичувати радіонуклід. Найбільша здатність акумулювати радіоцезій властива листю чорниці, що добре узгоджується з проведеними раніше дослідженнями [5]. Порівняно також результати забруднення стебел та коріння цієї рослини. Хоч щільність забруднення ґрунту  $A_S$  порівняно значна і змінюється в межах (13-32) кБк/м<sup>2</sup>, однак не спостерігається великих змін значень

питомої активності для досліджуваних органів чорниці – значення питомої активності в досліджуваних пробах змінюються на півпорядку. Значення ж коефіцієнтів переходу теж є невеликими, однак змінюються більше ніж на порядок (значення  $K_{П}$  змінюється в межах  $(0,7-17,4) \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/кг), що знову ж таки вказує на вплив закріплення радіонукліда в ґрунті.

Таблиця 2

**Питома активність  $A$  (Бк/кг) вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в органах чорниці, відібраної на різних висотах території Черногори (липень 2011 р.), щільності забруднення ним ґрунтів  $S_{гр}$  та значення відповідних коефіцієнтів переходу  $K_{П}$ ; похибка не більша  $\pm 10\%$**

Місце відбору та висота над рівнем моря (координати)	Корені		Стебла				Листя		Ґрунт $S_{гр}$ , кБк/м <sup>2</sup>
	A, Бк/кг	$K_{П,3} \cdot 10^{-3}$ м <sup>2</sup> /кг	Старі		Молоді		A, Бк/кг	$K_{П,3} \cdot 10^{-3}$ м <sup>2</sup> /кг	
			A, Бк/кг	$K_{П,3} \cdot 10^{-3}$ м <sup>2</sup> /кг	A, Бк/кг	$K_{П,3} \cdot 10^{-3}$ м <sup>2</sup> /кг			
Окіл стаціонару ЛНУ, 990±5 м (48°10'59" пн. ш.; 24°34'24" сх. д.)	73	3,9	98	5,4	124	6,8	316	17,4	18
Окіл урочища Заросляк, 1282±6 м (48°09'43" пн. ш.; 24°30'22" сх. д.)	148	8,5	106	6,1	178	10,3	286	16,5	17
Окіл метеостанції, 1379±5 м (48°09'24" пн. ш.; 24°32'08" сх. д.)	30	2,1	-	-	11	0,8	-	-	14
Схил г. Пожижевська, 1577±3 м (48°08'58" пн. ш.; 24°31'47" сх. д.)	49	3,5	83	6	64	4,6	96	6,9	14
Схил г. Говерла, 1650±3 м (48°09'46" пн. ш.; 24°30'46" сх. д.)	34	1,3	16	0,6	35	1,4	36	1,5	25
Підйом на полонину г. Куколь, 1157±3 м (48°11'53" пн. ш.; 24°32'55" сх. д.)	22	0,7	28	0,9	19	0,6	82	2,5	32

Дослідження грибів показали, що існує як видова, так і внутрішньовидова залежність вмісту радіоцезію у їх органах. На рис. 2 приведено результати дослідження забруднення радіоцезієм шапок та ніжок грибів різних видів (сухої маси), відібраних у 2010 році. Проведені дослідження показують, що радіоактивне забруднення практично всіх грибів з Черногірського масиву не перевищує діючих в Україні допустимих рівнів ДР-2006 [9]. Дещо пере-

вищує допустимі рівні питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у кострубатці кофейній. Значення питомої активності у органах кострубатки жовтої, кольчака-їжанця та польського гриба складає (1000–1500) Бк/кг. Забруднення ж білих грибів, лисичок та різних видів сироїжок є незначним, у 5-10 разів меншим від встановлених норм.

Слід відмітити, що загалом для регіону Карпат для найбільш вживаних у їжу грибів сьогодні лідером по забрудненню

$^{137}\text{Cs}$  є польський гриб, що узгоджується з відомими з літератури даними [8, 10]. На прикладі різних видів сироїжок ми можемо спостерігати внутрішньовидову залежність здатності грибів накопичувати радіонукліда. Так, сироїжка червона показує найбільший вміст  $^{137}\text{Cs}$  в порівнянні з сироїжками валуєвидною та зеленою.

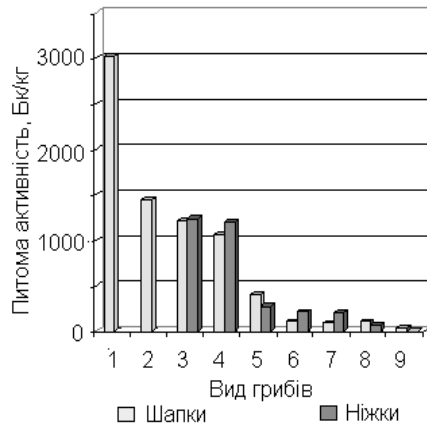


Рис. 2. Вміст радіоцезію в шапках та ніжках різних видах грибів (2010 р.): 1 – кострубатка кофейна, 2 – кострубатка жовта, 3 – кольчак-їжанець, 4 – польський гриб, 5 – білий гриб, 6 – лисички, 7 – сироїжка червона, 8 – сироїжка валуєвидна, 9 – сироїжка зелена.

Спостережуване нами перевищення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  в ніжках деяких видів грибів над його активністю у їх шапках може бути пояснене їх віком – у старі-

ших грибах через формування гіменофору вміст радіонукліда у шапках більший, ніж у ніжках, а у молодих може бути протилежна ситуація.

Отримані результати підтверджують фактори впливу гірських формувань на радіоактивне забруднення їх та прилеглих до них територій за рахунок впливу на переміщення радіоактивних хмар та радіоактивні випадіння з них. Спостережуване підвищене радіоактивне забруднення південної частини Українських Карпат (Чорногірський масив та прилеглі до нього території) узгоджується з відомими даними щодо переміщення радіоактивних постчорнобильських хмар у їх південному сліді. Несуттєве забруднення органів рослин та грибів зумовлене закріпленням  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунтах гірських масивів, яке обмежує перехід наявного у ґрунті радіонукліда у рослини та гриби. Значний ступінь закріплення радіонукліда у ґрунті визначає й незначний вклад міграційних процесів у подальшу зміну його вмісту у ґрунтах регіону та основний вклад природного розпаду радіонукліда у цю зміну. Не спостерігається чітко вираженої залежності здатності накопичувати радіоцезій рослинами регіону Карпат від висоти розміщення місцевості над рівнем моря.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України. – Київ: Атіка, 2006. – 222 с.
- Atlas of radiocaesium deposition on Europe after the Chernobyl accident. – Luxembourg, Office for official publications of the European Communities, 1998. – P. 65.
- Методические рекомендации по оценке радиационной обстановки в населенных пунктах в зоне радиоактивного заражения со средней плотностью до 5 Ки/кв.км цезия-137. – Киев, УМКРК, 1991. – 37 с.
- Сельскохозяйственная радиоэкология / Под ред. Алексахина Р.М., Корнеева Н.А. – М.: Экология, 1992. – 400 с.
- Грабовський В.А., Дзедзелюк О.С., Трофімук А.В. Українські Карпати: 25 років після Чорнобиля // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. – 2011. – Вип. 29. – С. 9-17.
- Kubica B., Mietelski J. W., Golas J. et al. Concentration of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  and  $^{239+240}\text{Pu}$  Radionuclides and Some Heavy Metals in Soil Samples from Two Main Valleys from Tatra National Park // Polish journal of soils science – 2002. – Vol. 11, №5. – P. 537–545.
- Grabovskyi V.A., Dzendzelyuk O.S., Kushnir O.S. Temporal and seasonal variations of radiocaesium content in some plants from the western part of Ukrainian Polesye // J. of Environmental Radioactivity – 2013. – Vol. 117. – P. 2-8.

8. Краснов В.П., Орлов О.О., Бузун В.О. та ін. Прикладна радіоекологія лісу / Під ред. В.П. Краснова. – Житомир: Полісся, 2007. – 680 с.
9. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді. Гігієнічний норматив. ГН 6.6.1. – Київ, 2006. – 23 с.
10. Романчук Л.Д. Вплив грибів на формування внутрішнього опромінення населення північної частини України // Вісн. аграр. науки: наук.-теорет. журн. – 2011. – №3. – С. 44-46.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2013

V.A. Grabovskyi, O.S. Dzendzelyuk, A.V. Trofimuk  
Lviv Ivan Franko National University, gen. Tarnavsky Str., 107, 79017, Lviv

## PECULIARITY OF $^{137}\text{Cs}$ CONTAMINATION OF SOIL, PLANTS AND MUSHROOMS FROM UKRAINIAN CARPATHIANS

The results of studies of radiocaesium contamination of soils, plants and mushrooms from highest range of the Ukrainian Carpathians are presented. The increased content of  $^{137}\text{Cs}$  in soil of Chernogora and surrounding areas as compared with its content in soils of Carpathians and Transcarpathian region is marked. Such features of radiocaesium contamination in the Ukrainian Carpathians can be explained by peculiarities of the mountain relief influence on the fallout from contaminated clouds of southern post-Chernobyl trace. Relatively small radioactive caesium contamination of plants and mushrooms from Carpathian region is explained to the low availability to uptakes of existing in soil due to its fixation on micaceous clay minerals. It is noted that the changes in radiological environmental contamination of Carpathian region in the coming years will be determined by natural decay radioactive caesium mainly.

**Keywords:** radioactivity, radiocaesium, radioactive contamination, Chernogora massif, Carpathians.

В.А. Грабовский, О.С. Дзендзелюк, А.В. Трофимук  
Львовский национальный университет им. И. Франко  
ул. ген. Тарнавского, 107, 79017, Львов

## ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ $^{137}\text{Cs}$ ПОЧВ, РАСТЕНИЙ И ГРИБОВ УКРАИНСКИХ КАРПАТ

Представлены результаты исследований загрязнения радиоцезием почв, растений и грибов высокогорной части территории Украинских Карпат. Отмечено повышенное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в почвах Черногоры и прилегающих территорий в сравнении с его содержанием в почвах Прикарпатья и Закарпатья. Такую картину загрязнения территории Украинских Карпат объяснено особенностями влияния горного рельефа на выпадения из радиоактивно загрязненных облаков постчернобыльского южного следа. Сравнительно незначительное радиоактивное загрязнение растений и грибов из региона Карпат объяснено малой доступностью усвоения ими из почвы  $^{137}\text{Cs}$ , его закреплением на грунтовых комплексах. Отмечается, что изменение радиологического состояния окружающей среды региона Карпат в будущие годы в основном зависит от естественного распада радиоцезия.

**Ключевые слова:** радиоактивность, радиоцезий, радиоактивное загрязнение, Черногорский массив, Карпаты.