

УДК 658.562:504.054:574.3:630.22

АККУМУЛЯЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ОСНОВНЫМИ ВИДАМИ ЛЕСНЫХ ЯГОД, ГРИБОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ КУЛИНАРНОЙ ОБРАБОТКИ

А. Ф. Мирончик

Приведены сведения о накоплении ^{137}Cs основными видами лесных грибов и ягод. Указаны факторы, влияющие на степень перехода ^{137}Cs из корнеобитаемого слоя в съедобную часть грибов и ягодных кустарников. На основании проведенных расчетов показана значимость пищевой продукции леса в формировании дозы внутреннего облучения населения. Определена кратность снижения содержания ^{137}Cs в грибах в зависимости от метода их кулинарной обработки.

Введение

В белорусских лесах произрастает более 200 типов съедобных грибов, из которых 35 хорошо известны и традиционно используются в питании населения. В современных экономических условиях грибы оказались хорошим подспорьем к семейному бюджету, поэтому в отдаленный период после Чернобыльской катастрофы на территории радиоактивного загрязнения возобновился сбор грибов, несмотря на их высокую способность накапливать радионуклиды. Однако, собирая грибы для собственного потребления или на продажу, следует знать некоторые особенности накопления радионуклидов в грибах, поэтому подход к сбору грибов должен быть дифференцированным.

Традиционное потребление «даров леса» в доаварийный период в среднем на одного сельского жителя составляло около 4 кг/г грибов и столько же ягод [1]. Изучение структуры питания населения показывает, что в рационе преобладает овощная продукция местного производства, одновременно отмечается рост потребления населением грибов, годовое потребление которых может достигать 10 кг и более [2]. Употребление в пищу лесных грибов и ягод приводит к увеличению дозы внутреннего облучения на $0,3 \pm 0,14$ мЗв/г при плотности загрязнения 185 кБк/м^2 . Очевидно, что при более высоких плотностях загрязнения ($370\text{--}555 \text{ кБк/м}^2$) эта доза будет больше. Приведенные значения доз характеризуют ту часть сельского населения, которая пренебрегает установленными правилами. Например, по данным белорусских исследователей [3–5] дикорастущие грибы и ягоды, составляющие всего несколько процентов от массы ежедневного рациона сельских жителей Белорусского Полесья, определяют поступление в их организм до 50 % общей активности ^{137}Cs , содержащейся в рационе (табл. 1). По результатам исследований проб пищевой продукции леса службой радиационного контроля Министерства лесного хозяйства ежегодно бракуется до 50 % измеренных проб грибов, ягод, собранных в местах, разрешенных для заготовки (рис. 1). Максимальные уровни содержания ^{137}Cs в свежих грибах на территории Беларуси в 2005 г. достигали 86 кБк/кг, в сухих – 156 кБк/кг. Удельная активность ^{137}Cs в ягодах черники в 2005 г. достигала 2,8 кБк/кг.

Таблица 1 – Удельная активность пищевой продукции в лесах Столинского района Брестской области и расчет среднегодовой дозы внутреннего облучения за счет ее потребления (плотность загрязнения территории ^{137}Cs $185\text{--}555 \text{ кБк/м}^2$, 2005 г.)

Название населенного пункта	Средняя удельная активность, Бк/кг					Среднегодовая доза внутреннего облучения, мЗв/г		
	черника	клюква	белый гриб	лисички	сушеные грибы	грибы	ягоды	суммарная
Ольманы	1423	243	2419	3519	18599	0,1915	0,0458	0,2373
Белоуша	109	240	665	685	3218	0,0404	0,0063	0,0467

Расчет произведен при среднегодовом потреблении грибов 6,9 кг, ягод – 3,3 кг; РДУ-99 для грибов свежих – 370 Бк/кг, грибов сушеных – 2500 Бк/кг, дикорастущих ягод – 185 Бк/кг

Основная часть

Грибы, большую часть сухого вещества которых составляют белки и азотистые соединения, являясь аккумуляторами радионуклидов, играют особую роль в формировании внутренней дозы облучения части населения. Из всех радионуклидов, содержащихся в лесной подстилке, наибольшую опасность представляет ^{137}Cs [6-8]. Задачу исследований составляло выявление межвидовых различий в интенсивности накопления ^{137}Cs и ^{40}K съедобными грибами, произрастающими на территории Могилевской области (Быховский, Могилевский, Славгородский, Чериковский и Краснопольский районы). В ходе исследований произведен отбор 198 образцов грибов на территориях с плотностью загрязнения ^{137}Cs до 1840 кБк/м^2 (1997 г.), из них 122 (49 % проб выше РДУ-96) – с плотностью загрязнения подстилки ^{137}Cs до 74 кБк/м^2 . В 2003 г. было отобрано 248 проб грибов в лесах с аналогичной плотностью загрязнения (90 образцов с реперных площадок до 74 кБк/м^2 , 41 % превышал нормативы РДУ-99). Предварительные результаты показали, что содержание ^{40}K в грибах колебалось в пределах 1,1–5,8 %.



Рисунок 1 – Пищевая продукция леса, превышающая допустимые уровни (доля от количества исследованных проб)

На территориях с плотностью загрязнения ^{137}Cs до 74 кБк/м^2 в 2004-2005 гг. больше всего выявлено проб белого гриба, превышающих допустимый норматив (соответственно 54 % и 47 %). Следует отметить, что в отдельных лесхозах образцы грибов превышали РДУ даже на почвах с плотностью загрязнения до 37 кБк/м^2 . Это касается, в первую очередь, лесхозов с преобладанием песчаных почв. На суглинистых почвах даже при загрязнении ^{137}Cs в пределах $74-90 \text{ кБк/м}^2$ 11 % образцов соответствовали РДУ (рис. 2) [9].

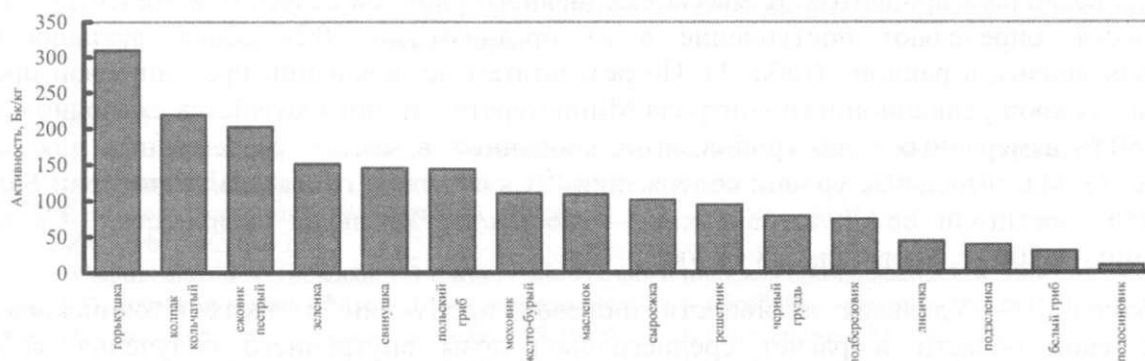


Рисунок 2 – Загрязнение грибов на территории Вендорожского лесхоза (д. Семукачи)

Принадлежность грибов к определенной экологической группе предопределяет место локализации их мицелия по профилю почвы, откуда они потребляют воду, минеральные вещества, тяжелые металлы, в том числе и радионуклиды. Отмечено, что удельные активности ^{137}Cs в грибах превышают допустимые уровни в 1,5–3820 раз, причем с продолжением процессов перераспределения центра основного запаса ^{137}Cs по вертикальному профилю почв в грибах с приповерхностным залеганием мицелия (0–5 см)

содержание этого радионуклида будет снижаться. Радиоактивное загрязнение грибов зависит, прежде всего, от характера загрязнения, условий местопроизрастания, погодных условий и биологических особенностей грибов. Установлено, что чем больше потребность в калии различных видов, тем больше в них накапливается ^{137}Cs [10-12]. При условии отбора грибов на одной реперной площадке определяющими биотическими факторами накопления ^{137}Cs являются принадлежность грибов к определенной экологической группе и глубина локализации мицелия в почве. Для сравнения в табл. 2 приведены значения коэффициентов перехода (K_p) ^{137}Cs , полученные в Рязанской и Брянской областях Российской Федерации и в Беларуси. Колебания значений K_p объясняются различными условиями произрастания. Например, опенок осенний, произрастающий на участках с примерно одинаковой плотностью загрязнения, имеет K_p на аллювиальном ландшафте 8 (Бк/кг сух.веса)/(кБк/м²), а на аккумулятивном – 200 (Бк/кг сух.веса)/(кБк/м²). Несмотря на вариабельность K_p , следует отметить общую закономерность накопления ^{137}Cs грибами: во всех случаях масленок и свинушка имеют коэффициент накопления в несколько раз выше, чем остальные виды грибов, а лисичка – в несколько раз ниже.

Таблица 2 – Коэффициенты перехода ^{137}Cs в разные виды грибов, (Бк/кг)/(кБк/м²)

Вид грибов	Беларусь	Брянская область [13]	Рязанская область [13]
Белый гриб	12,6	9,1	9,0
Лисичка	0,9	0,5	0,2
Масленок	83,6	33,1	30,5
Подберезовик	15,2	16	13,9
Рядовка	31,2	21,6	17,4
Свинушка	81,5	54	21,8

Дифференцированным должен быть подход к сбору грибов. По степени накопления ^{137}Cs основные виды съедобных грибов подразделены на четыре группы:

- I группа – грибы-аккумуляторы: польский гриб, горькуша, краснушка, моховик желто-бурый, рыжик, масленок осенний, козляк, колпак кольчатый, свинушка тонкая – $K_p > 50$ (Бк/кг)/(кБк/м²). В плодовых телах этих видов уже при загрязнении почв, близком к фоновым значениям (3,7–7,4 кБк/м²), содержание ^{137}Cs может превышать допустимые уровни. Собирать эти грибы можно только в лесах с плотностью загрязнения до 37 кБк/м²;

- II группа – сильнонакапливающие грибы: волнушка розовая, груздь черный, зеленка, сыроежка бурая – $K_p = 20-50$ (Бк/кг)/(кБк/м²). Собирать эти грибы также допускается при плотности загрязнения до 37 кБк/м²;

- III группа – средненакапливающие грибы: лисичка настоящая, белый гриб, подосиновик, подберезовик, подзеленка, сыроежка обыкновенная, рядовка серая – $K_p = 5-20$ (Бк/кг)/(кБк/м²). Заготовку грибов данной группы можно проводить в лесах с плотностью загрязнения до 74 кБк/м²;

- IV группа – грибы-дискриминаторы ^{137}Cs : опенок осенний, строчок обыкновенный, рядовка фиолетовая, шампиньон, дождевик шиповатый, зонтик пестрый, опенок зимний, вешенка – $K_p < 5-20$ (Бк/кг)/(кБк/м²). Заготовку грибов данной группы также рекомендуется проводить в лесах с плотностью загрязнения до 74 кБк/м².

Грибы, лишайники и мхи накапливают радионуклиды на 1–2 порядка больше, чем их концентрация в почве. Накопление ^{137}Cs в грибах различается не только по их видовой принадлежности, но и по содержанию в отдельных частях плодовых тел у одного вида. У грибов с хорошо развитой ножкой (белый и польский гриб, подберезовик, подосиновик), как правило, содержание ^{137}Cs в шляпках в 1,5–3,0 раза выше, чем в ножках. Различий в содержании ^{137}Cs в молодых и старых грибах не установлено. Тем не менее, рекомендуется брать молодые грибы, так как в старых могут накапливаться ядовитые вещества. Согласно регламенту лесохозяйственной деятельности на загрязненных территориях побочное лесопользование (сбор ягод, сбор слабо- и средненакапливающих радионуклиды грибов, заготовка лекарственных растений) разрешается лишь в зоне с плотностью загрязнения

почвы до 74 кБк/м²) (табл. 3) [11, 12].

Таблица 3 – Загрязнение лесов ¹³⁷Cs, при котором возможна заготовка свежих грибов

Наименование грибов	Средний коэффициент перехода (диапазон), (K _n ×10 ⁻³)	Плотность загрязнения (диапазон), при которой возможна заготовка, кБк/м ²
Белый гриб	35 (3-74)	10,7 (5,2-123,2)
Горькушка	129	3,0
Груздь черный	42 (4-120)	8,9 (3,0-92,5)
Зеленка	138	2,6
Колпак кольчатый	282	1,5
Лисичка	34 (3-92)	10,7 (4,1-123,2)
Маслята	60	6,3
Моховик	32 (3-58)	11,5 (4,1-123,2)
Опенок осенний	3 (0,3-8)	123,2 (46,3-1233,2)
Подберезовик	29 (7-68)	12,6 (5,6-52,9)
Подзеленка	112	3,3
Подосиновик	21 (3-49)	17,8 (0,7-123,2)
Польский гриб	88 (12-367)	4,1 (1,1-30,7)
Свинушка тонкая	110 (10-410)	3,3 (0,7-37,0)
Сыроежки	71 (7-289)	5,2 (1,1-52,9)

Биологическая доступность ¹³⁷Cs минеральному питанию высших растений, главным образом, определяется содержанием глинистых минералов, условиями увлажнения, кислотностью, содержанием органического вещества и обменных оснований [14, 15]. С другой стороны, мхам, особенно при высоких показателях проективного покрытия, отводится ведущая роль в формировании лесной подстилки – «корнеобитаемой» зоны ягодников – аккумулялирующего горизонта с повышенным содержанием органического вещества. Прижизненные выделения мхов и их биологические особенности формируют условия с более стабильным и повышенным увлажнением лесной подстилки и верхних минеральных горизонтов почвы, pH = 3,9–4,4 [16].

Из дикорастущих ягод в наибольшей степени накапливают ¹³⁷Cs клюква, голубика и брусника: уже при плотности загрязнения 18,5 кБк/м² содержание радионуклида в них, как правило, будет превышать нормативные значения. Несколько меньше накопление в чернике, землянике и малине, однако при плотности загрязнения ¹³⁷Cs 37 кБк/м² содержание этого радионуклида в них также будет превышать нормативные значения (табл. 4).

Таблица 4 – Загрязнение лесов ¹³⁷Cs, при котором возможна заготовка лесных ягод

Наименование грибов	Средний коэффициент перехода (диапазон), (K _n ×10 ⁻³)	Плотность загрязнения (диапазон), при которой возможна заготовка, кБк/м ²
Брусника	11 (4-26)	17,0 (0,7-48,1)
Бузина	7	27,4
Костяника	3	71,0
Крушина	4	44,0
Рябина	4 (0,6-8)	52,9 (22,2-307,1)
Черника	5 (0,4-19)	34,8 (11,1-462,5)

В ягодах концентрация радионуклидов в 2–3 раза меньше, чем в стеблях и листьях. Следует иметь в виду, что накопление ¹³⁷Cs в дикорастущих ягодах зависит не только от плотности радиоактивного загрязнения, но и от степени увлажнения почвы и даже от вида преобладающей древесной растительности, причем различия даже по одному виду ягод могут достигать 10 раз. Переработка ягод снижает содержание ¹³⁷Cs в готовой продукции максимум в 2 раза, если используется только сок ягод без жмыха.

При отваривании сыроежек, зеленков, рядовок и волнушек в течение 30 мин концентрация ^{137}Cs снижается в 2–10 раз. Для такого же снижения содержания ^{137}Cs у трубчатых грибов (подберезовика, боровика, польского гриба, подосиновика) требуется 45 мин. (рис. 3).

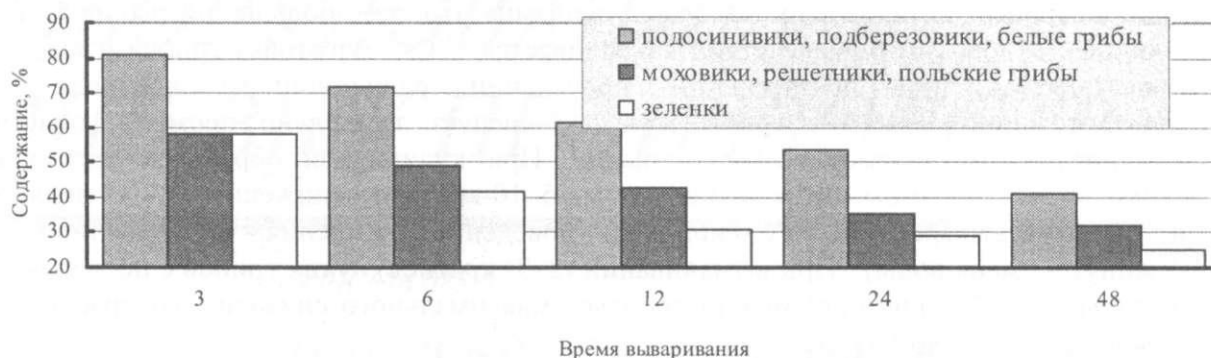


Рисунок 3 – Влияние продолжительности отваривания грибов на снижение содержания в них ^{137}Cs

Проведены исследования и установлена кратность снижения содержания ^{137}Cs в грибах в зависимости от метода кулинарной обработки: чистка и мытьё ($F_r = 0,8-0,9$); кипячение и слив первой воды ($F_r = 0,6-0,7$), кипячение и слив второй воды ($F_r = 0,3-0,4$), кипячение и слив третьей воды ($F_r = 0,15-0,2$); кипячение в 2% растворе NaCl и слив воды ($F_r = 0,2-0,4$); консервирование ($F_r = 0,5-0,6$); маринование ($F_r = 0,3-0,4$); вымачивание сухих грибов и слив воды ($F_r = 0,1-0,2$); жарение ($F_r = 0,3-0,5$) (табл. 5, рис. 4).

Таблица 5 - Экспериментальные исследования по снижению содержания ^{137}Cs после кулинарной обработки

Вид обработки	Белый гриб		Подосиновик	
	масса, кг	удельная активность, Бк/кг	масса, кг	удельная активность, Бк/кг
Исходные данные	0,750	18390	0,410	8610
Двукратная смена воды	0,209	4378	0,123	179,7
Четырехкратная смена воды	0,159	3536	0,116	157,4
Жарение	0,192	1751	0,107	102,7

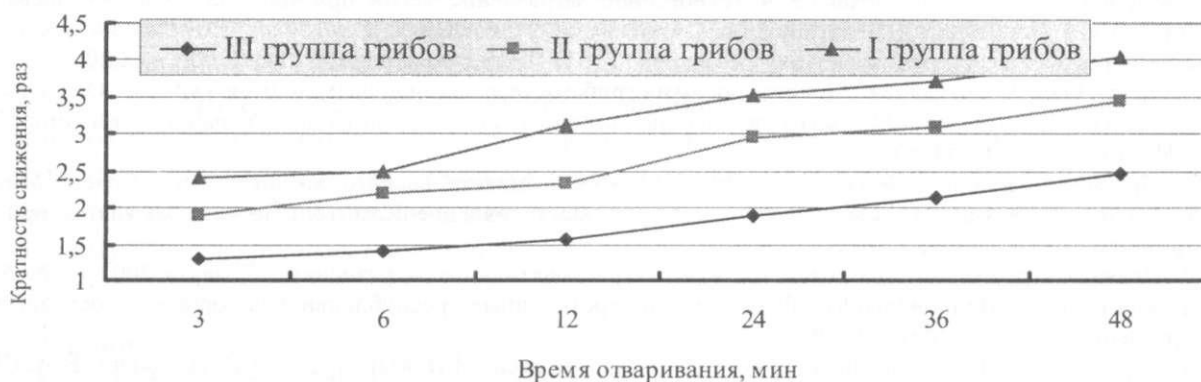


Рисунок 4 – Эффективность снижения содержания ^{137}Cs в различных группах грибов при их отваривании

Заключение

Радиоактивное загрязнение пищевой продукции леса зависит от форм выпадения радиоактивных веществ, региональных, почвенных, климатических, лесотипологических и биологических особенностей ягодных растений и грибов, а дозы облучения зависят не

только от уровней загрязнения пищевой продукции леса, но и вклада данных продуктов в рацион питания жителей населенных пунктов. Из всех радионуклидов, содержащихся в лесной подстилке, опасность представляет ^{137}Cs , который еще долгие годы будет находиться в подстилке. ^{137}Cs является аналогом калия, он по корневому пути поступает в растения, ягоды и грибы. Установлено многими учеными, что чем больше потребность в калии различных видов, тем больше в них накапливается ^{137}Cs . Заготовка грибов и ягод должна осуществляться при обязательном проведении радиационного контроля. При предварительной обработке грибы и ягоды следует тщательно промыть, очистить от почвенных частиц и растительного опада. При кулинарной обработке свежих грибов оптимальным режимом, обеспечивающим 5–10-кратное снижение ^{137}Cs является их многократное вываривание со сменой воды (доведение до кипения - вываривание в течении 3-5 минут – смена воды). При вымачивании (2–3- кратное) сухих грибов с последующим их вывариванием (2–3-кратное) можно добиться максимального снижения содержания ^{137}Cs в готовом продукте (до 15 раз).

Литература

1. Алексахин, Р.М. Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах / Р.М. Алексахин, М.А. Нарышкин. – М. : Наука, 1977. – 144 с.
2. Булавик, И.М. Многолетняя динамика накопления ^{137}Cs в лесной продукции / И.М. Булавик // Фундаментальные и прикладные аспекты радиобиологии: биологические эффекты малых доз и радиоактивное загрязнение среды : тезисы докл. междунар. науч. конф. – Минск: ИРБ НАНБ, 1998. – С. 161–164.
3. Ипатьев, В.А. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В.А. Ипатьев, В.Ф. Багинский, И.М. Булавик. – Гомель : Институт леса НАН Беларуси, 1999. – 454 с.
4. Проведение радиационно-экологического мониторинга в лесах, загрязненных радионуклидами: отчет по НИР . - ГУРКРБ «Беллесрад» ; рук. Карабанович Л.Н. ; исполн. : А.В. Барабошкин [и др.] – Минск, 2003. – 109 с. – Библиогр. : С. 107–109.
5. Радиационно-экологический мониторинг в лесах Брестской области, загрязненных радионуклидами: отчет по НИР . - ГУРКРБ «Беллесрад» ; рук. Карабанович Л.Н. ; исполн. : А.В. Барабошкин [и др.] – Мн. , 2003. – 28 с. – Библиогр. : с. 28.
6. Павлоцкая, Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах / Ф.И. Павлоцкая. - М. : Атомиздат, 1974. – 216 с.
7. Щеглов, А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах / А.И. Щеглов. -- М. : Наука, 1999. – 268 с.
8. Характеристика радиоактивного загрязнения территории Могилевской области в результате аварии на Чернобыльской АЭС / А.Ф. Мирончик [и др.] // Труды Могилевского врачебного общества Белоруссии. – Могилев, 1993. – С. 179-180.
9. Мирончик, А.Ф. Радиоактивное и техногенное загрязнение лесов пригородной зоны Могилева / А.Ф. Мирончик // Чернобыль: 20 лет спустя. Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов : сб. тезисов междунар. конф.. – Гомель : РНИУП «Институт радиологии», 2006. – С. 202.
10. Орлов, О.О. Аккумуляция ^{137}Cs дикорослыми грибами та ягодами в лісах Полісся України / О.О. Орлов, Т.В. Курбет, О.З. Короткова // Проблеми екології лісу і лісокористування на Поліссі України. – Житомир, Волинь, 2000. - Вып. 1(7).– С. 44-53.
11. Правила радиационной безопасности в системе Комитета лесного хозяйства при Совете Министров Республики Беларусь, 21 ноября 2002 г., № 18 / Постановление Комитета лесного хозяйства при Совете Министров Республики Беларусь.
12. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения, 27 марта 2001 г., № 8/5440 // Правовые акты Национального банка, министерств, иных республиканских органов государственного управления. – Минск, 2001. – С. 29-76.
13. Марадудин, И.И. Основы прикладной радиоэкологии леса / И.И. Марадудин, А.В. Панфилов, В.А. Шубин. – М. , 2001. – 224 с.
14. Гедых, Б.В. Дикорастущие брусничные в условиях Беларуси / Б.В. Гедых. – Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 2002. – 412 с.
15. Особенности накопления ^{137}Cs *Vaccinium myrtillus* L. / В.А. Собченко [и др.] // Проблемы экологии Белорусского Полесья: сб. науч. тр. – Гомель ГГУ, 2002. – Вып. 2.– С. 195-210.
16. Трофимец, В.И. Средообразующая роль лишайникового и мохового покрова в сухих сосняках / В.И. Трофимец, В.С. Ипатов // Ботанический журнал. – 1990. – Т. 75, № 8. – С. 1102–1109.

Поступила в редакцию 16.03.2007