



УДК 630*:551.521

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ БЕЛАРУСИ НА ОСНОВЕ БИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

БУЛКО Н. И., канд. с.-х. наук,
ШАБАЛЕВА М. А., канд. с.-х. наук,
КОЗЛОВ Н. К.,
ТОЛКАЧЕВА Н. В.,
Институт леса НАН Беларуси

Рассматриваются основные проблемы лесопользования на загрязненных радионуклидами территориях Беларуси. Приводятся факторы, определяющие уровень радиоактивного загрязнения древесины в лесных насаждениях, необходимые для прогнозирования накопления ^{137}Cs древесными растениями при ведении лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами территориях. Предложены методы реабилитации лесных насаждений, позволяющие вовлечь в хозяйственное пользование запасы спелой и перестойной древесины. Анализируются факторы, обуславливающие уровень накопления ^{137}Cs пищевыми лесными ресурсами.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, радионуклиды, ^{137}Cs , лесные насаждения, методы реабилитации, пищевые лесные ресурсы.

В результате аварии на ЧАЭС четвертая часть лесного фонда Беларуси была загрязнена радионуклидами с уровнем радиоактивного загрязнения почвы 1 Ки/км^2 и более. По состоянию на 1.01.2011 г. общая площадь лесов республики, загрязненных радионуклидами, составляет 1840,6 тыс. га, в т. ч. в ведении Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь находится 1569,4 тыс. га. На долю Гомельской и Могилевской областей приходится в зоне $5\text{--}15 \text{ Ки/км}^2$ – 99% от всех загрязнённых лесов Беларуси, в зоне $15\text{--}40 \text{ Ки/км}^2$ – 100%. Площадь лесов в зоне $5\text{--}15 \text{ Ки/км}^2$ в этих областях составляет 310 тыс. га, в зоне $15\text{--}40 \text{ Ки/км}^2$ – 148,6 тыс. га.

Запасы ликвидной древесины (расчетная лесосека) в зоне $5\text{--}40 \text{ Ки/км}^2$ составляют по главному пользованию 1097,4 тыс. м^3 , в т. ч. в зоне $15\text{--}40 \text{ Ки/км}^2$ – 203,1 тыс. м^3 ; соответственно по проме-

жуточному пользованию – 539,4 тыс. м^3 , в т. ч. в зоне $15\text{--}40 \text{ Ки/км}^2$ – 98,3 тыс. м^3 . По многолетним данным, вследствие радиоактивного загрязнения деловой и дровяной древесины (норма – 1480 и 740 Бк/кг) бракуется не менее 25% лесосек или по объему ликвида – до 50% от имеющегося запаса древесины. Таким образом, по этим двум областям в зонах до 15 и $15\text{--}40 \text{ Ки/км}^2$ при условии обязательного дозиметрического контроля может быть заготовлено около 750–800 тыс. м^3 ликвидной древесины от включенных в расчетную лесосеку по главному и промежуточному пользованию.

Вся лесная продукция в Беларуси на радиоактивно загрязненных территориях проходит строгий дозиметрический контроль, в зонах с уровнем загрязнения свыше 40 Ки/км^2 рубки главного и промежуточного пользования проводятся по специальным регламентам; при плотности свыше 15 Ки/км^2 ограничены все виды побочного пользования лесом. Тем не менее, в условиях радиоактивного загрязнения в лесной отрасли работает свыше 17 тысяч человек, и одной из основных задач на текущий момент является организация охраны труда работников лесного хозяйства, возможное снижение коллективной и индивидуальной доз облучения работающих в лесу. Другой задачей лесного хозяйства на загрязненных территориях является получение нормативно чистой продукции.

С учетом вышеизложенного осуществление лесопользования на загрязненных радионуклидами территориях должно быть строго дифференцированным. При этом необходимо принимать во внимание не только плотность загрязнения территории ^{137}Cs , но и ряд дополнительных факторов, определяющих интенсивность поступления данного радионуклида в растения.

Многочисленные исследования, проведенные на загрязненных радионуклидами территориях, показали необходимость учитывать при прогнозе содержания ^{137}Cs в лесной продукции тип лесорастительных условий (ТЛУ) [1, 2]. Отмечается, что в большинстве случаев накопление радионуклидов возрастает с увеличением влажности и снижается на более богатых почвах. И хотя в настоящее время в соответствии с

принятыми «Правилами ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения» [3] регламентация лесохозяйственной деятельности в Беларуси осуществляется в зависимости от плотности радиоактивного загрязнения территории, внедрены нормативные документы, в соответствии с которыми при отводе лесосек рекомендуется учитывать ТЛУ, а также направления, по которым перемещались радиоактивные аэрозоли (радиоактивные следы аварийных выбросов) [4]. После внедрения данных рекомендаций количество участков, отведенных в рубку, на которых древесина имела превышение допустимых уровней радиации, сократилось в 1,5–2 раза.

Исследования, проведенные в Институте леса НАН Беларуси, показали, что существенное влияние на уровень загрязнения древесины ^{137}Cs оказывают сложность и состав насаждения. Так, установлено, что накопление радионуклидов в сложных древостоях имеет существенные отличия по сравнению с простыми древостоями тех же пород. Кроме того, значительно варьирует накопление ^{137}Cs растениями различных ярусов сложного насаждения.

Изучение насаждений, все яруса которых состоят из одной породы, на территории с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs 300–380 кБк/м² показало, что в большинстве случаев накопление ^{137}Cs в растениях нижнего яруса превышает показатели верхнего в 1,1–2 раза. Среди основных причин, обуславливающих такие различия, следует выделить возрастной фактор: у молодых интенсивно растущих деревьев нижнего яруса большая активность физиологических процессов обуславливает более высокое потребление питательных элементов, а также радионуклидов.

Особый интерес представляет сравнение накопления (коэффициентов перехода) радионуклидов в древесине древесных пород сложных насаждений с этими же показателями в простых одноярусных древостоях, взятых в качестве контроля. Как видно из рис. 1, для всех сложных сосновых и березовых древостоев характерно более высокое накопление ^{137}Cs в древесине обоих ярусов, по сравнению с простыми однопородными насаждениями – накопление ^{137}Cs в древесине двухъярусных насаждений до 2,5 раза выше по сравнению с простым. В еловом насаждении наблюдается противоположная тенденция: накопление радионуклида в древесине в двухъярусных древостоях ниже по сравнению с простыми. В сложном по строению ольшанике радиоактивное загрязнение верхнего яруса меньше, а нижнего – значительно больше, чем радиоактивное загрязнение древесины одноярусных насаждений.

На основании полученных закономерностей можно рекомендовать первоочередное отведение в рубку простых насаждений сосны и березы, и сложных – ели и ольхи.

Ряд наших исследований показал, что уровень накопления ^{137}Cs в древесных растениях в значительной степени зависит не только от строения, но и от состава древостоя [5].

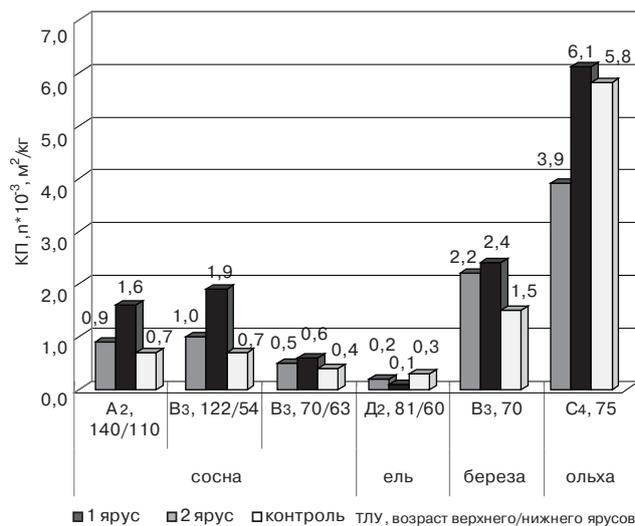


Рис. 1. Сравнение накопления ^{137}Cs в древесине сложных и простых чистых насаждений

В частности, в смешанных древостоях может наблюдаться как снижение накопления ^{137}Cs в обеих породах по сравнению с чистыми насаждениями (сосна и ель), так и снижение накопления ^{137}Cs в одной породе при некотором возрастании в другой (сосна и береза, сосна и осина, сосна и дуб) [6].

Более половины загрязненной радионуклидами лесной территории Беларуси представлено сосновыми лесами, среди которых четверть приходится на смешанные сосново-березовые насаждения. В связи с этим были выполнены исследования по изучению накопления ^{137}Cs в компонентах биомассы таких древостоев (42 объекта). Изучались насаждения различного породного состава – от 100% сосны до 100% березы (через две доли каждой породы) в возрасте 80, 70, 60, 50, 35, 25 лет. Плотность радиоактивного загрязнения почвы ^{137}Cs на обследованных территориях составляла 548,8–1265,3 кБк/м².

Как видно из рис. 2, при совместном произрастании сосны и березы в смешанном сосново-березовом насаждении на автоморфных почвах интенсивность поступления ^{137}Cs в древесину сосны (по КП) снижается в среднем в 2,3 раза по сравнению с чистым древостоем сосны. В то же время поступление радионуклида в древесину березы изменяется менее существенно. На основании полученных данных можно сделать вывод, что оптимальным составом древостоя на загрязненных радионуклидами территориях является бС4Б. Это обусловлено тем, что при таком долевом участии древесных пород содержание радионуклида в древесине сосны значительно ниже, чем в чистом сосновом древостое. При этом формирование насаждений такого породного состава не противоречит требованиям «Правил рубок леса в Республике Беларусь», предусматривающих сохранение к возрасту спелости в составе насаждений до 2–4 единиц лиственных пород. В 2011 г. в Беларуси введены в действие нормативные документы, по-

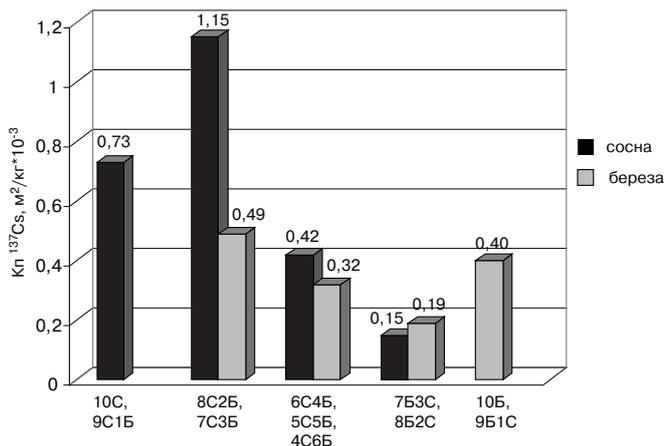


Рис. 2. Коэффициенты перехода ¹³⁷Cs в древесину сосны и березы в чистых и смешанных насаждениях

звляющие использовать эти особенности смешанных насаждений при ведении лесохозяйственной деятельности [7].

На основании полученных результатов был разработан фитологический метод реабилитации загрязненных радионуклидами лесных насаждений, который основан на возможности формирования древостоев определенного породного состава как лесокультурными, так и лесоводственными методами.

Наряду с этим возможно применение и других методов реабилитации: агрохимического и гидромелиоративного. Агрохимический метод заключается в использовании удобрений на определенных участках леса, в результате чего радиоактивное загрязнение древесины различных пород снижается. Так, в сосняке мшистом на дерново-подзолистых песчаных почвах внесение в почву оксида калия (K₂O) в дозе 200 кг/га обеспечивает существенное снижение накопления ¹³⁷Cs во всех компонентах фитомассы сосны (до 3,3 раза относительно контроля). При этом влияние однократного внесения удобрения на снижение поступления ¹³⁷Cs в древесину сохраняется на протяжении 10–13 лет. В ельнике мшистом снижение накопления ¹³⁷Cs елью обеспечивается внесением наряду с калием доломитовой муки. При этом влияние большинства видов и доз удобрений сохраняется на протяжении 7 лет. Внесение калийного удобрения в березняке мшистом обеспечивает весьма существенное снижение накопления ¹³⁷Cs в древесине березы. Наибольшая эффективность влияния наблюдается в первый год после внесения (накопление ¹³⁷Cs составляет соответственно 46% от контроля). При этом через 12 лет после начала эксперимента по-прежнему наблюдается снижение коэффициента перехода ¹³⁷Cs в древесину до 4 раз относительно контроля.

Гидромелиоративный метод основывается на том, что накопление радионуклидов в растениях в значительной степени зависит от уровня увлажнен-

Таблица 1
Накопление ¹³⁷Cs в древесине сосны и березы в зависимости от УГВ

| Почвы | Древесная порода | УГВ | КП ¹³⁷ Cs древесной, n*10 ⁻³ , м ² /кг | Критерий Стюдента, t | p, % |
|------------------------|------------------|-------|---|----------------------|------|
| торфяная средне-мощная | сосна | 56 см | 0,81 | -2,58 | 98,3 |
| | | 27 см | 1,63 | | |
| торфянисто-глеевая | сосна | 67 см | 0,46 | -1,69 | 89,5 |
| | | 17 см | 0,91 | | |
| | | 78 | 2,51 | | |
| торфяная средне-мощная | береза | 55,3 | 3,72 | -1,92 | 91,9 |
| | | 48,7 | 6,67 | -4,24 | 99,9 |

ности территории. Проведенные ранее исследования показали, что посредством регулирования уровня грунтовых вод (УГВ) и создания оптимального для роста древесных растений водно-воздушного режима можно обеспечить значительное снижение накопления радионуклидов в древесных растениях [8]. При этом изучалось влияние проведенной ранее мелиорации. Анализ данных, полученных более чем за 10 лет исследований, показал, что в условиях близкого к оптимальному водно-воздушного режима с УГВ, равному 56 см, наблюдается снижение накопления ¹³⁷Cs в древесине в среднем в 2 раза относительно пробных площадей с менее глубоким уровнем грунтовых вод (табл. 1) [9].

Особенно четко влияние УГВ на накопление ¹³⁷Cs древесными растениями прослеживается для основных лесобразующих пород Беларуси в условиях западного следа аварии на ЧАЭС (табл. 2).

Применение разработанных методов перспективно, т. к. предлагается избирательное использование той части лесных ресурсов, которая укладывается в нормативы РДУ/ЛХ-2001 и РДУ-99.

Отдельной проблемой использования лесных территорий Беларуси, загрязненных радионуклидами, является значительное радиоактивное загрязнение лесной пищевой продукции, прежде всего грибов и ягод, при низких уровнях содержания радиоактивных элементов в почве. В настоящее время население, проживающее вблизи лесных массивов, практически полностью вернулось к образу жизни и использованию пищевых ресурсов леса как в доаварийное время. Существенную роль в его рационе стали играть лесные грибы и ягоды, количество которых в лесах республики весьма значительно. Так, биологическая продуктивность съедобных грибов и ягод в лесном фонде Гомельского ГПЛХО, с учетом загрязненных радионуклидами территорий до 2 Ки/км², составляет в среднем соответственно 7932 и 8062 тонн.

Согласно принятым в Республике Беларусь «Правилам ведения лесного хозяйства в зонах радио-

Таблица 2

Средняя величина содержания ^{137}Cs в разных частях деревьев сосны, березы и ольхи при плотности радиоактивного загрязнения почвы 111–444 кБк/м² на территории западного следа в мелиорированных и немелиорированных насаждениях

| Тип насаждения | Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг | | |
|----------------------------|---|---------------------|-----------------------|
| | кора | древесина окоренная | древесина неокоренная |
| Сосна | | | |
| Мелиорированные | 333,0 | 164,5 | 201,5 |
| Естественно произрастающие | 3169,8 | 1547,4 | 2013,6 |
| Береза | | | |
| Мелиорированные | 543,0 | 234,5 | 303,0 |
| Естественно произрастающие | 1638,9 | 631,6 | 951,3 |
| Ольха черная | | | |
| Мелиорированные | 571 | 151 | 262 |
| Естественно произрастающие | 2079 | 1009 | 1215 |

активного загрязнения» сбор грибов и ягод может осуществляться на территориях с плотностью загрязнения ^{137}Cs до 74 кБк/м², отдельные виды сильно накапливающих грибов могут заготавливаться лишь при плотности ниже 37 кБк/м².

Исследование радиоактивного загрязнения лесной пищевой продукции, проведенное в 2006–2009 гг. на 15 контрольных полигонах постоянного наблюдения в 15 лесхозах Гомельской области на территориях с плотностью загрязнения от 7,4 до 96,2 кБк/м², показало, что в ряде случаев имеется превышение существующих нормативов содержания ^{137}Cs (370 Бк/кг – для грибов и 185 Бк/кг – для ягод). Даже при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs менее 37 кБк/м² доля грибов и ягод с величиной содержания радионуклида, превышающей допустимые уровни, составляет более 20%. При этом количество образцов *Boletus edulis Bull. ex Fr.*, имеющих загрязненность выше нормативов, при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 1 кБк/м² достигает почти 40%.

Необходимо отметить, что плотность радиоактивного загрязнения почвы не может быть единственным фактором, регламентирующим возможность заготовки лесной пищевой продукции в загрязненных радионуклидами лесах. В значительной степени интенсивность накопления ^{137}Cs зависит от ряда дополнительных параметров, в том числе условий произрастания. Анализ литературных данных подтвердил факт существования различий в уровне накопления ^{137}Cs в грибах и ягодах в разных типах лесорастительных условий (ТЛУ). Вместе с тем, проведенные исследования показали, что нако-

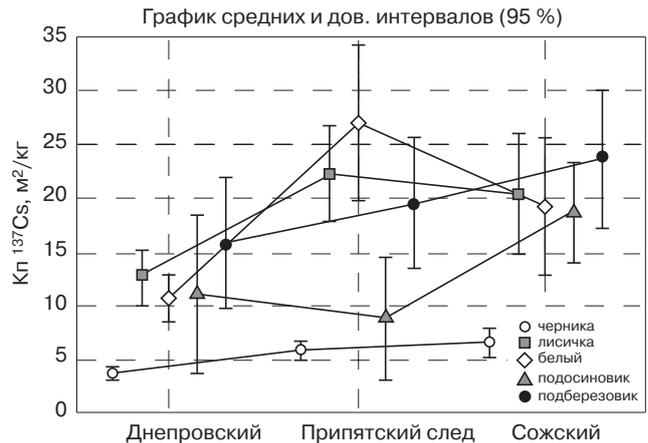


Рис. 3. Коэффициенты перехода ^{137}Cs в плодовые тела грибов и ягод черники на территории различных следов радиоактивного загрязнения

пление ^{137}Cs грибами и ягодами даже в практически идентичных условиях произрастания существенно различается на территории разных лесхозов.

Исследования позволили предположить, что в наибольшей степени на величину радиоактивного загрязнения лесной пищевой продукции ^{137}Cs влияет территориальный фактор. Для подтверждения этого были исследованы особенности накопления радионуклида в лесной пищевой продукции на территории различных следов радиоактивного загрязнения, приуроченных к руслам рек – Днепра, Припяти и Сожа. Установлено, что имеются достоверные различия в величине радиоактивного загрязнения большей части видов изученных грибов и ягод *Vaccinium myrtillus* между этими следами (рис. 3). Очевидно, в данном случае сказываются отличия в формах радиоактивных выпадений и в степени доступности ^{137}Cs на территории различных следов.

Таким образом, анализ обобщенной информации по лесхозам Гомельской области о площадях распространения грибов и ягод, их биологической продуктивности, радиоактивном загрязнении территории показывает, что для большинства видов грибов и ягод возможно проведение их заготовки на 60,3% лесных площадей при обязательном дозиметрическом контроле даже при плотностях загрязнения 74 кБк/м².

ВЫВОДЫ

В настоящее время на территории Беларуси около 19,6% лесных территорий загрязнено радионуклидами. Запасы ликвидной древесины в зоне 5–40 Ки/км² составляют по главному пользованию 1097,4 тыс. м³, в т. ч. в зоне 15–40 Ки/км² – 203,1 тыс. м³; соответственно по промежуточному пользованию – 539,4 тыс. м³, в т. ч. в зоне 15–40 Ки/км² – 98,3 тыс. м³.

При ведении лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами территориях основными

факторами, которые необходимо учитывать при оценке радиоактивного загрязнения древесины, являются плотность загрязнения почвы ^{137}Cs , ТЛУ, состав и строение древостоя. Для дополнительно вовлечения в эксплуатацию ресурсов древесины на территориях с плотностью радиоактивного загрязнения 5–40 Ки/км² возможно использовать установленные биоэкологические особенности лесных насаждений и разработанные в Институте леса методы реабилитации лесных насаждений.

Накопление ^{137}Cs в сложных сосновых и березовых насаждениях до 2,5 раза превышает показатели простых насаждений. В смешанных сосново-березовых насаждениях состава 6С4Б накопление ^{137}Cs в древесине сосны в 2,3 раза ниже по сравнению с чистыми древостоями, в связи с чем такой состав сосново-березового древостоя признан оптимальным.

Применение агрохимического метода (использование удобрений) позволяет до 4 раз снизить содержание ^{137}Cs в древесине на протяжении 13–14 лет.

На мелиорированных территориях оптимизация УГВ обеспечивает снижение накопления ^{137}Cs в древесных растениях до 2 раз.

Особую роль в дополнительном пользовании лесом играет заготовка грибов и ягод. При плотности загрязнения почвы ^{137}Cs менее 37 кБк/м² удельный вес грибов и ягод с содержанием радионуклида, превышающим нормативы, составляет более 20%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Переволоцкий А. Н.** Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах / А. Н. Переволоцкий. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. – 255 с.
2. Прикладная радиоэкология леса / [В. П. Краснов и др.]; Под общей ред. В. П. Краснова. – Житомир: Полісся, 2007. – 680 с.
3. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения. – Введ. 15.01.2001. – Минск.: Комитет лесного хозяйства при Совете Министров Республики Беларусь, 2002. – 99 с.
4. Рекомендации по оптимизации лесопользования с учетом особенностей радиоактивного загрязнения древесины в различных типах лесорастительных условий. – Введ. 29.11.2007. – Минск, 2007. – 36 с.
5. **Булко Н. И.** Об эффекте межвидовых различий у растений при снижении накопления ^{137}Cs в лесных фитоценозах / Н. И. Булко // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2003. – Т. 47, №4. – С. 71–73.
6. **Булко Н. И.** Особенности накопления радионуклидов в древесных растениях при их совместном произрастании / Н. И. Булко, Н. В. Митин, М. А. Шабалева // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2004. – Вып. 60: Проблемы лесоведения и лесоводства на радиоактивно загрязненных землях. – С. 165–177.
7. Рекомендации по реабилитации радиоактивно загрязненных лесов на основе формирования смешанных насаждений определенного породного состава. – Введ. 10.03.2011. – Минск, 2011. – 16 с.
8. Лес. Человек. Чернобыль. Основы радиационного лесоводства / Ипатьев В. А. [и др.]. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2005. – 535 с.

9. О реабилитации загрязненных радионуклидами лесных насаждений на гидроморфных почвах в зависимости от их агрохимических и водно-физических свойств / М. А. Шабалева [и др.] // Сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2010. – Вып. 70: Проблемы лесоведения и лесоводства на радиоактивно загрязненных землях. – С. 526–538.

ABOUT THE OPTIMIZATION OF FOREST MANAGEMENT IN CONTAMINATED BY RADIONUCLIDES AREAS OF BELARUS ON THE BASIS OF BIOLOGICAL FEATURES OF FOREST PLANTATIONS

**BULKO N. I., PhD,
SHABALEVA M. A., PhD,
KOZLOV N. K.,
TOLKACHEVA N. V.**

Forest Institute of the Belarus National Academy of Sciences

There are considered the main problems of the forest management in contaminated of radionuclides areas of Belarus. Provides factors that determine the level of radioactive contamination of wood in forest plantations, necessary to predict the accumulation in wood of ^{137}Cs due to forestry activity in the contaminated areas. There are suggested methods of rehabilitation of forest plantations, allowing to involve in economic use of stocks of mature and overripe timber. The factors which cause the accumulation level of ^{137}Cs in forest food production are analysed.

Key words: contamination of radionuclides, radionuclides, ^{137}Cs , forest stands, methods of rehabilitation, forestry food production.!

ПРО ОПТИМІЗАЦІЮ ЛІСОКОРИСТУВАННЯ НА ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ТЕРИТОРІЯХ БІЛОРУСІ НА ОСНОВІ БІОЕКОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ

**М. І. БУЛКО, канд. с.-г. наук,
М. О. ШАБАЛЬОВА, канд. с.-г. наук,
М. К. КОЗЛОВ,
Н. В. ТОЛКАЧОВА,
Інститут лісу НАН Білорусі**

Розглядаються основні проблеми лісокористування на забруднених радіонуклідами територіях Білорусі. Наводяться фактори, які визначають рівень радіоактивного забруднення деревини в лісових насадженнях, необхідної для прогнозування накопичення ^{137}Cs деревними рослинами при веденні лісового господарства на забруднених радіонуклідами територіях. Запропоновано методи реабілітації лісових насаджень, які дають можливість залучити до господарського використання запаси стиглої і перестиглої деревини. Аналізуються фактори, що зумовлюють рівень накопичення ^{137}Cs харчовими лісовими ресурсами.

Ключові слова: радіоактивне забруднення, радіонукліди, ^{137}Cs , лісові насадження, методи реабілітації, харчові лісові ресурси.