

Н. Е. Зарубина*, **О. Л. Зарубин**

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

*Ответственный автор: zarubina@kinr.kiev.ua; nataliia.zarubina@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs В РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТАХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

Проведены исследования сезонных изменений содержания ^{137}Cs в почве и растительности лесных экосистем на территории зоны отчуждения ЧАЭС. Пробы отбирались в течение 2013 г. с января по март один раз в месяц, а с апреля по декабрь включительно – один раз в две недели. Объектами исследования были лесная подстилка и верхние слои гумусово-элювиального горизонта почв, одно- и двухлетние хвоя и побеги *P. sylvestris*. Измерения содержания ^{137}Cs проводилось с помощью метода гамма-спектрометрии. Зависимости изменения концентраций ^{137}Cs от сезона года в почвах не было выявлено. Скачкообразные увеличения содержания ^{137}Cs в исследованных почвенных слоях в течение года, вероятно, могут быть связаны с изменениями численности педобиоты и интенсивности процессов ее жизнедеятельности. В хвое и побегах *P. sylvestris* максимальные значения концентрации ^{137}Cs отмечаются летом. Минимальные значения содержания ^{137}Cs в исследованных органах *P. sylvestris* характерны для осенне-зимнего периода. В результате проведенных исследований было установлено наличие линейной зависимости между сезонными изменениями содержания ^{137}Cs в хвое и побегах *P. sylvestris* на полигонах с разным уровнем загрязнения. Совпадающие по времени изменения содержания ^{137}Cs в исследованных органах *P. sylvestris* на разных полигонах могут свидетельствовать об общих для лесных экосистем закономерностях перераспределения ^{137}Cs по цепи «почва - растительность» в течение года.

Ключевые слова: зона отчуждения ЧАЭС, лесные экосистемы, сезонные изменения, содержание ^{137}Cs .

В многочисленных исследованиях, проводимых после аварии на ЧАЭС, отмечено постепенное снижение содержания ^{137}Cs во всех объектах природных и полуприродных экосистем с течением времени. Но на фоне этого снижения концентраций отмечаются колебания значений удельной активности ^{137}Cs в течение календарного года. Сезонные изменения содержания этого радионуклида интенсивно исследовались для сельскохозяйственных культур в течение вегетационного сезона. Однако для дикорастущих растений и лесных экосистем таких работ немного и результаты исследований часто бывают противоречивыми.

Исследования [1] показали, что в древесине сосны, березы и осины регистрируется незначительное повышение удельной активности ^{137}Cs к осени, у ели таких изменений не было отмечено. С сентября - октября содержание этого радионуклида в древесине повышается. В коре исследованных видов деревьев (кроме березы) зафиксированы такие же колебания концентрации ^{137}Cs .

В работе [2] отмечено, что у дуба наблюдается возрастание удельной активности ^{137}Cs в 1,5 раза от весны к лету, в то время как для ольхи характерен противоположный процесс. Для сосны сезонные колебания не прослеживались. Исследования древесины [3] показали незначительные изменения содержания ^{137}Cs в ней в зимний период.

В [4] указывается, что уровни удельной активности ^{137}Cs в наземной фитомассе лесных экосистем зимой повышаются в 10 раз по сравнению с маем. Сезонная динамика накопления ^{137}Cs в хвое текущего года *P. sylvestris* характеризуется практически однонаправленным изменением концентрации ^{137}Cs в сторону понижения от весны до осени [5]. Стабилизация наступает с сентября. Такие же закономерности отмечены для двухлетней хвои. Но в то же время четко выраженных изменений в содержании этого радионуклида в двух- и трехлетней хвое в течение вегетационного сезона не наблюдается.

В растениях черники наблюдаются сезонные изменения удельной активности ^{137}Cs . Начиная с марта, содержание этого радионуклида практически монотонно повышается, достигая максимума в июле. Начиная с августа, наблюдается противоположный процесс, который продолжается до следующего марта [6]. В работе [7] указывается, что в вегетативных органах черники отмечено снижение содержания ^{137}Cs почти в два раза для листвы и побегов текущего года в период формирования и созревания ягод (к концу июня). Напротив, наблюдалось увеличение концентрации ^{137}Cs в вегетативных органах после завершения плодоношения. Только в корнях существенных изменений в уровнях удельной активности ^{137}Cs не проявлялось.

© Н. Е. Зарубина, **О. Л. Зарубин**, 2018

Результаты исследований [8] показывают, что для вечнозеленого растения *Calluna vulgaris* концентрации ^{137}Cs были практически постоянными в течение года. Для *Trichophorum caespitosum* и *Molinia coerulea* (летнезеленые многолетники) характерным является значительное снижение уровней удельной активности ^{137}Cs в течение вегетационного периода.

В траве *Agrostis capillaris* наблюдается 10-кратное различие содержания ^{137}Cs в листьях, отобранных в середине июля и в конце августа [9].

В течение вегетационного периода максимальное содержание ^{137}Cs наблюдается в живой части сфагнов. После окончания вегетации ^{137}Cs более равномерно распределяется в их толще [5].

В лизиметричных водах максимальные концентрации ^{137}Cs отмечены весной и в конце лета и начале осени [10].

Целью работы было исследование сезонных

изменений содержания ^{137}Cs в различных объектах лесных экосистем на протяжении календарного года.

Материалы и методики

Исследования удельной активности ^{137}Cs в различных объектах лесных экосистем зоны отчуждения ЧАЭС проводились на двух полигонах – Лелев и Парышев – на протяжении 2013 г. (рис. 1). На обоих полигонах тип лесорастительных условий A_1 – бор сухой [11].

В качестве объектов исследования были использованы: A_{0l} и $A_{0f} + A_{0h}$ (лесная подстилка), слои 0 - 5 см и 5 - 10 см гумусово-элювиального горизонта – наиболее насыщенные почвенной биотой слои почвы; однолетние и двухлетние хвоя и побеги *P. sylvestris* - одни из наиболее загрязненных ^{137}Cs частей этого растения.

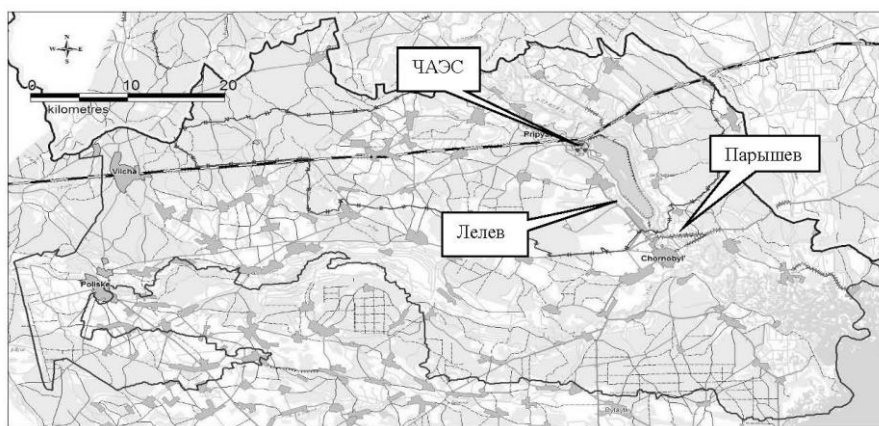


Рис. 1. Полигоны пробоотбора на территории зоны отчуждения ЧАЭС

Отбор проб осуществлялся один раз в месяц в январе, феврале и марте. Начиная с апреля, пробоотбор проводился один раз в две недели.

Тип почвы полигонов: дерново-скрытоподзолистая песчаная на древнеаллювиальных отложениях – Лелев; дерново-слабоподзолистая глинисто-песчаная глееватая почва на древнеаллювиальных отложениях – Парышев. На обоих полигонах толщина слоя лесной подстилки 7 см. Мощность эквивалентной дозы $1,30 \pm 0,13$ мкЗв/с на полигоне Лелев и $0,22 \pm 0,04$ мкЗв/с на полигоне Парышев.

Почвы отбирали цилиндрическим пластиковым пробоотборником диаметром 60 мм методом конверта с шагом 1 м: 4 пробы в углах квадрата и 1 проба в центре. В лабораторных условиях пробы извлекали из пробоотборников, делили на слои: A_{0l} , $A_{0f} + A_{0h}$, 0 - 5 см и 5 - 10 см. Почвы каждого слоя из всех 5 пробоотборников перемешивали. Затем пробы почв высушивали при комнатной температуре на протяжении 2 недель

- 1 месяца. Непосредственно перед измерениями пробы на 12 часов помещали в сушильный шкаф (температура 65 °C). После этой дополнительной просушки пробы почвы помещали в одноразовую калиброванную пластиковую посуду диаметром 90 мм, в которой проводились измерения удельной активности ^{137}Cs .

В качестве растительных объектов использовались одно- и двухлетняя хвоя, одно- и двухлетние побеги *P. sylvestris*. Пробы растительности отбирались с 7 - 10 модельных деревьев одновременно с отбором почвы. Каждая проба состояла из 15 однолетних и 15 двухлетних побегов с хвоей. В лабораторных условиях хвоя отделялась от побегов и полученные 4 пробы высушивались отдельно при комнатной температуре в течение 1 - 1,5 мес. После этого хвоя и побеги измельчались с помощью лабораторной мельницы и помещались в одноразовую калиброванную пластиковую посуду для проведения гамма-спектрометрических исследований.

Измерения удельной активности ^{137}Cs в почве и растительности проводились с помощью гамма-спектрометрической установки фирмы «CANBERRA» на основе коаксиального полупроводникового детектора из высокочистого HPGe модели GC6020.

GC6020 HPGe детектор имеет следующие характеристики: относительная эффективность $\varepsilon_r = 61,4\%$ при $E_\gamma = 1332$ кэВ; разрешение FWHM = $1,82$ кэВ при $E_\gamma = 1332$ кэВ; комптоновский пик 73,4; HVPS = 4 кВ.

Блок детектирования окружен свинцовой защитой толщиной 100 мм, что позволило эффективно проводить измерения образцов с относительно низкой удельной активностью радионуклидов.

Время измерений образцов, в зависимости от удельной активности радионуклидов, составляло от 600 до 14400 с.

Ошибки измерений данной серии проб не превышали 10 % и, как правило, находились в пределах 3 - 5 % от активности радионуклида.

Для исключения влияния на расчеты периода полураспада ^{137}Cs данные измерений удельной активности этого радионуклида в пробах пересчитывались на дату аварии – 26 апреля 1986 г.

Результаты исследований и их обсуждение

Содержание ^{137}Cs во всех исследованных объектах изменяется на протяжении календарного года.

I. В разных почвенных слоях (рис. 2 и 3) максимумы удельной активности ^{137}Cs отмечаются на протяжении всего года и не совпадают по времени друг с другом. Содержание ^{137}Cs в слое лесной подстилки ($A_{of} + A_{oh}$) изменяется от 65 до 85 % от общего запаса этого радионуклида в почве.

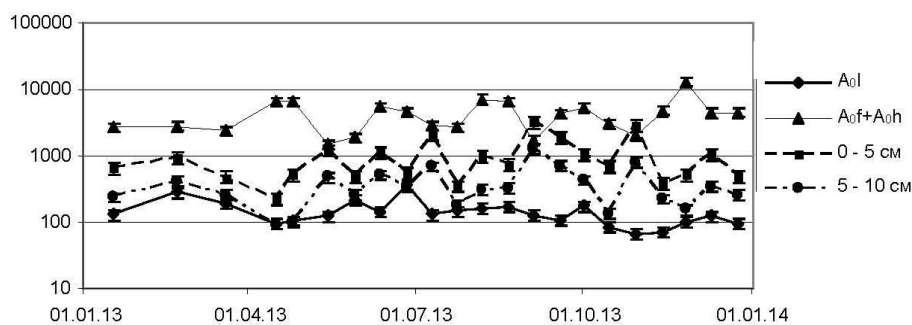


Рис. 2. Содержание ^{137}Cs в почве послойно на территории полигона Парышев, Бк/кг воздушно-сухой массы, логарифмическая шкала.

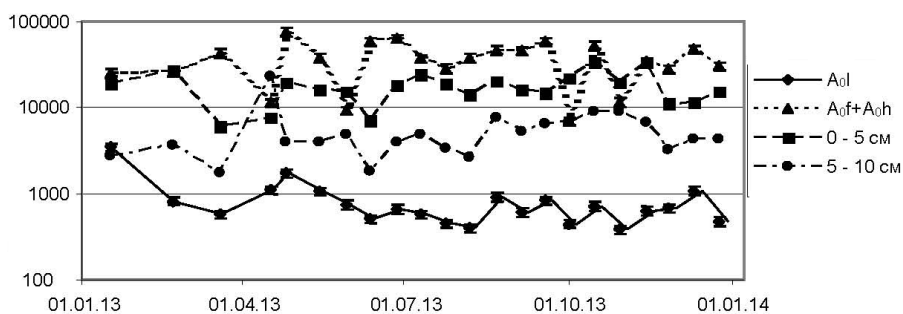


Рис. 3. Содержание ^{137}Cs в почве послойно на территории полигона Лелев, Бк/кг воздушно-сухой массы, логарифмическая шкала.

Лесная подстилка является слоем почвы с максимальной концентрацией педобиоты. В [12] приводятся такие данные: живая биомасса в слое лесной подстилки на 1 га для бактерий может изменяться от сотен до нескольких тысяч килограммов, а для грибов – от сотен килограммов до десятков тонн на 1 га. Подстилка является именно тем субстратом, в котором осуществляется основная активная деятельность грибов в лесном биоценозе. В подстилке численность грибных зародышей и биомасса их мицелия достигают

максимальных значений. При переходе к ниже лежащим почвенным слоям наблюдается снижение плотности популяций, как бактерий, так и грибов, и дрожжей, причем численность этих групп может снижаться на один-два порядка.

В численности почвенных микроорганизмов существует два максимума – весенний и осенний [13]. Однако, кроме весеннего и осеннего максимумов, численность различных групп микроорганизмов может изменяться в течение года [12].

По данным [14 - 16] в грибном мицелии мо-

жет содержаться от 10 до 63 % общего запаса ^{137}Cs в лесном биогеоценозе. В работе [17] указывается, что весь ^{137}Cs в почве может быть аккумулированным грибами. Грибы-макромицеты являются максимальными накопителями этого радионуклида на наших исследовательских полигонах [18]. Вероятно, большая часть от общего запаса ^{137}Cs находится именно в мицелии грибов. При отмирании мицелия он начинает перерабатываться другими организмами почвы [12]. Таким образом, накопленный в мицелии ^{137}Cs опять становится доступным для биоты и может попасть в круговорот в почве.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что численность и состав микроорганизмов, грибного мицелия в каждой отобранной пробе почвы будет различаться, что приводит к непостоянству ее насыщения педобиотой в весовом отношении. Количество «потребителей» ^{137}Cs в

почве не является постоянным, а подвержено изменениям с течением времени как в сторону увеличения, так и в сторону снижения. Совместным воздействием этих факторов можно объяснить отмеченные колебания уровней удельной активности ^{137}Cs в различных почвенных слоях на протяжении года и даже одного месяца.

Слой лесной подстилки $A_0f + A_0h$ является долговременным депо ^{137}Cs благодаря максимальному, по сравнению с другими слоями, содержанию почвенных организмов, являющимися основными аккумуляторами этого радионуклида.

Вероятно, существуют еще дополнительные неучтенные факторы, которые не позволяют установить наличие сезонных изменений содержания ^{137}Cs в почве в течение года.

II. В хвое и побегах *P. sylvestris* максимальные уровни содержания ^{137}Cs отмечены в летний период (рис. 4 и 5).

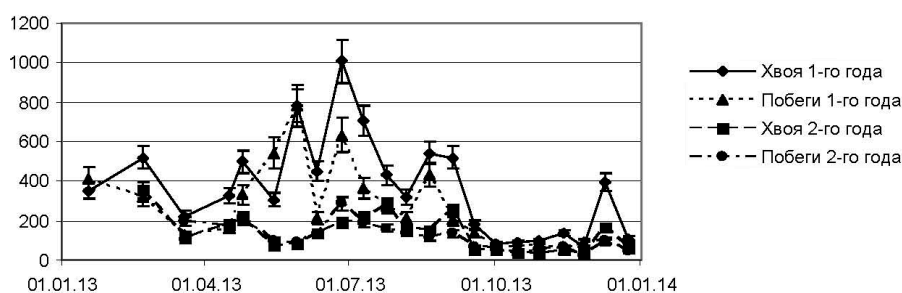


Рис. 4. Содержание ^{137}Cs в хвое и побегах *P. sylvestris* на территории полигона Парышев, Бк/кг сухой массы.

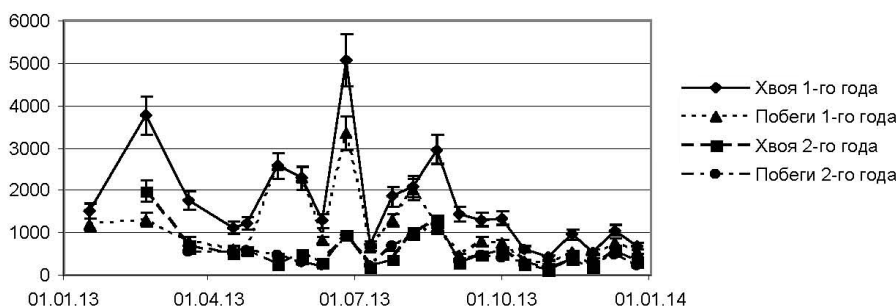


Рис. 5. Содержание ^{137}Cs в хвое и побегах *P. sylvestris* на территории полигона Лелев, Бк/кг сухой массы.

На территории Украинского Полесья рост *P. sylvestris* в высоту начинается в начале мая и заканчивается во второй половине июня. Незначительное увеличение длины побегов наблюдается и в июле. В этот период из почек на верхушках ствола и веток прорастают побеги, а из почек, расположенных на побегах, развиваются веточки с двумя хвоинками. Рост хвои (значительное увеличение массы) происходит интенсивно до конца июля - августа.

В течение периода интенсивного роста побегов и хвои растениям необходимо значительное большее количество питательных веществ, воды, микро- и макроэлементов, чем на протяжении

всего года. *P. sylvestris* является облигатным микотрофом. Это означает, что вода из почвы попадает в растение, проходя через мицелий грибов-симбиотрофов. Вероятно, что при интенсивном поступлении воды какая-то часть ^{137}Cs (кроме уже присутствующего в ней в растворенном виде) может дополнительно вымываться из грибного мицелия, что в свою очередь приводит к увеличению уровней удельной активности этого радионуклида в молодых, быстрорастущих частях растения (однолетних хвое и побегах).

Возрастающая летом интенсивность тока транспирации может быть еще одной причиной отмеченных при исследованиях максимумов со-

держания ^{137}Cs в хвое и побегах. В [19] приводятся данные о том, что на каждый грамм CO_2 , усвоенного лесной экосистемой, должно быть извлечено из почвы не менее 100 г воды.

Вероятно, именно симбиотичность является одной из причин возрастания уровней удельной активности ^{137}Cs в хвое и побегах в начале осени и в начале весны. В это время регистрируется два ежегодных максимума численности почвенной биоты (грибов) – весенний и осенний. Весенний пик связан с увлажнением и прогреванием верхнего слоя почвы. Осенний максимум связан с массовым поступлением растительных остатков, опада, который накапливается в виде подстилки [13]. При интенсивном росте мицелию необходимо поступление большего количества воды, микро- и макроэлементов, чем в другое время. При этом растение, находящееся в симбиотических отношениях с грибом, также может получить дополнительное количество ^{137}Cs .

III. Используя данные проведенных исследований, были рассчитаны коэффициенты корреляции

	Парышев	Лелев
Однолетняя хвоя – однолетние побеги	+ 0,84	+ 0,88
Однолетняя хвоя – двухлетняя хвоя	+ 0,75	+ 0,81
Однолетняя хвоя – двухлетние побеги	+ 0,76	+ 0,82
Однолетние побеги – двухлетняя хвоя	+ 0,54	+ 0,56
Однолетние побеги – двухлетние побеги	+ 0,66	0,67
Двухлетняя хвоя – двухлетние побеги	+ 0,76	+ 0,93

Изменения содержания ^{137}Cs в двухлетней, совпадающие по времени с изменениями в однолетней хвое ($r = 0,75$ для полигона Парышев и $r = 0,81$ для полигона Лелев), свидетельствуют о том, что количество аккумулированного в ней ^{137}Cs может как увеличиваться, так и уменьшаться. Т.е. уровни удельной активности этого радионуклида в двухлетней уже нерастущей хвое не

Содержание ^{137}Cs в однолетней хвое года на полигонах Лелев и Парышев	+ 0,60
Содержание ^{137}Cs в однолетних побегах на полигонах Лелев и Парышев	+ 0,84
Содержание ^{137}Cs в двухлетней хвое на полигонах Лелев и Парышев	+ 0,69
Содержание ^{137}Cs в двухлетних побегах на полигонах Лелев и Парышев	0,62

В результате было установлено, что изменение уровней удельной активности этого радионуклида как в сторону увеличения, так и уменьшения в хвое и побегах *P. sylvestris* на двух полигонах происходят практически одновременно, т.е. максимумы уровней удельной активности ^{137}Cs для этих объектов лесных экосистем на разных полигонах совпадают по времени. Это указывает на то, что независимо от различий в уровнях загрязнения, типе почв, расстоянии и направлении от ЧАЭС процессы аккумуляции ^{137}Cs в растениях имеют свои временные закономерности, т.е. основным фактором, влияющим на перераспределение этого радионуклида между

почвой и *P. sylvestris*, являются именно процессы жизнедеятельности растений. В случае микотрофности растений (*P. sylvestris* – облигатный микотроф) на накопление ^{137}Cs в его различных частях, вероятно, может оказывать сильное влияние жизнедеятельность грибов, которая, в свою очередь, зависит от сезона.

Полученные коэффициенты ($r < |0,3|$) позволили сделать вывод, что изменения содержания ^{137}Cs в разных почвенных слоях происходят независимо друг от друга, что указывает на различие процессов накопления и перераспределения ^{137}Cs в них.

Не было установлено линейной зависимости между наблюдаемыми колебаниями содержания ^{137}Cs в почве послойно и изменениями уровней удельной активности этого радионуклида в одно- и двухлетних хвое и побегах *P. sylvestris* ($r < |0,3|$).

Наличие корреляции между сезонными колебаниями значений удельной активности ^{137}Cs в хвое и побегах на каждом полигоне отдельно указывают на сходство процессов накопления этого радионуклида как быстрорастущими однолетними хвоей и побегами, так и двухлетними.

являются постоянной величиной, а ^{137}Cs может дополнительно накапливаться или наоборот «уходить» из нее.

Используя метод корреляционного анализа, было проведено сравнение сезонных колебаний содержания ^{137}Cs в хвое и побегах *P. sylvestris* на разных полигонах.

Выводы

1. В слоях лесной подстилки и верхних генетических горизонтах лесных почв уловить сезонную динамику удельной активности ^{137}Cs достаточно сложно, поэтому использовать их в качестве объектов мониторинга сезонной динамики содержа-

ния этого радионуклида нецелесообразно.

Пики и падения удельной активности ^{137}Cs в лесной подстилке, вероятно, обусловлены не только сезонными факторами, но также и кратковременными изменениями погодных условий. Последние могут вызывать пересыхание или увлажнение лесной подстилки, что находит отражение в изменениях численности почвенной микрофлоры и активного мицелия грибов, а также интенсивности их жизнедеятельности.

2. Уровни удельной активности ^{137}Cs в хвое и побегах *P. sylvestris* изменяются в зависимости от сезона. Этот процесс происходит практически синхронно для одно- и двухлетних побегов и хвои. Минимальные значения коэффициента корреляции характерны для пары «двухлетняя хвоя - однолетние побеги», что может свидетельствовать о замедлении процессов накопления и перераспределения ^{137}Cs в полностью сформированной хвое. Максимальные значения содержания ^{137}Cs в исследованных органах *P. sylvestris* отмечаются летом. С начала осени и до конца года наблюдаются небольшие всплески значений содержания цезия на общем фоне низких концентраций этого радионуклида.

Периодические изменения содержания ^{137}Cs в *P. sylvestris* свидетельствуют о том, что в лесных экосистемах выпавший после аварии радионуклид находится в постоянном круговороте: ^{137}Cs может как поступать в растение, так и выводиться из него. В почву ^{137}Cs поступает не только с опадом, но также происходит его отток из живых тканей *P. sylvestris*.

3. Изменения содержания ^{137}Cs в хвое и побегах *P. sylvestris* практически совпадают по времени на полигонах с разным типом и уровнем первичного загрязнения. Это свидетельствует о существовании общих для этого вида растительности сезонных закономерностей накопления и перераспределения ^{137}Cs в процессе жизнедеятельности растения вне зависимости от различий в уровнях загрязнения ^{137}Cs почв.

Вероятно, такие изменения уровней удельной активности ^{137}Cs в органах *P. sylvestris* могут быть отличительным признаком сезонного перехода этого радионуклида по цепи «почва - растительность» для всех территорий с дерново-подзолистыми почвами, загрязненными в результате аварии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Н. Переволоцкий. *Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах* (Минск: РНИУП «Институт радиологии», 2006) 256 с.
2. А.В. Пономарев и др. Динамика содержания ^{137}Cs в органах древесных растений лесов Брянской области. В кн.: *Вопросы лесной радиоэкологии* (Москва: МГУЛ, 2000) 80.
3. А.И. Чилимов, А.В. Богачев. Результаты наблюдений за динамикой удельной активности ^{137}Cs в древесных растениях по данным минипроб. В кн.: *Вопросы лесной радиоэкологии* (Москва: МГУЛ, 2000) 52.
4. К.Д. Мухамедшин, А.И. Чилимов, В.К. Безуглов, Г.В. Сныткин. Сертификация лесных ресурсов по радиационному признаку, как основа получения нормативно-чистой продукции лесного хозяйства на загрязненной радионуклидами территории. В кн.: *Вопросы лесной радиоэкологии* (Москва: МГУЛ, 2000) 7.
5. О.О. Орлов, С.П. Иркленко, В.М. Турко. Вміст ^{137}Cs в компонентах біогеоценозів мезооліготрофних боліт Українського Полісся та роль сфагнового покриву у перерозподілі потоків калію та ^{137}Cs в їх екосистемах. *Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України: Наук. праці* 6 (1999) 26.
6. В.П. Краснов, А.А. Орлов. *Радиоэкология ягодных растений* (Житомир, Изд-во Волянь, 2004) 263 с.
7. V.A. Grabovskiy, O.S. Dzendzelyuk, O.S. Kushnir. Temporal and seasonal variations of radiocesium content in some plants from the western part of Ukrainian Polesye. *Journal of Environ. Radioact.* 117 (2013) 2.
8. K. Bunzl, W. Kracke. Seasonal Variation of Soil-to-plant Transfer of K and Fallout ^{134}Cs , ^{137}Cs in Peatland Vegetation. *Health Physics* 57(4) (1989) 593.
9. C.A. Salt, J.W. Kay, K.E. Jarvis. The influence of season and leaf age on concentrations of radiocesium (^{137}Cs), stable caesium (^{133}Cs) and potassium in *Agrostis capillaris*. *Environ Pollut.* 130 (2004) 359.
10. А.И. Щеглов. *Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах* (Москва: Наука, 1999) 267 с.
11. П.С. Погребняк. *Основы лесной типологии* (К.: Изд-во АН УССР, 1955) 456 с.
12. Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. *Биология почв* (Москва: Изд-во Московского университета, 2005) 445 с.
13. Г.Б. Добровольский и др. *Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере*. Отв. ред. Г.В. Добровольский (Москва: Наука, 2003) 364 с.
14. R.A. Olsen, E.J. Joner, L.R. Bakken. Soil fungi and the fate of radiocesium in the soil ecosystem – a discussion of possible mechanisms involved in the radiocesium accumulation in fungi, and the role of fungi as a Cs-sink in the soil. In: G. Desmet et al. (eds.). *Transfer of Radionuclides in Natural and Semi-Natural Environment*. (London - New-York: Elsevier Applied Science, 1990) p. 657.
15. A. Dahlberg, I. Nikolova, K.-J. Johanson. Intraspecific variation in Cs-137 activity concentration in sporocarps of *Suillus variegatus* in seven Swedish

- population. *Mycol. Res.* 101(5) (1997) 545.
16. L.R. Bakken, R.A. Olsen. Accumulation of radiocesium in fungi. *Canadian J. of Microbiology* 36(10) (1990) 704.
17. J. Dighton, G.M. Clint, J. Poskitt. Uptake and accumulation of ^{137}Cs by upland grassland soil fungi: a potential pool of Cs immobilization. *Mycol. Res.* 95(9) (1991) 1052.
18. Н.Є. Зарубіна. Сучасний етап у накопиченні радіоактивного цезію грибами. Бюлетень екологічного стану Зони відчуження та Зони безумовного (обов'язкового) відселення 2(20) (2002) 46.
19. Eu.P. Odum. *Fundamentals of Ecology* (Philadelphia - London - Toronto, 1971) 532 p.

Н. Є. Зарубіна*, **О. Л. Зарубін**

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: zarubina@kinr.kiev.ua; nataliia.zarubina@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЗОННИХ КОЛИВАНЬ ВМІСТУ ^{137}Cs У РІЗНИХ ОБ'ЄКТАХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

Проведено дослідження сезонних змін вмісту ^{137}Cs у ґрунті та рослинності лісових екосистем на території зони відчуження ЧАЕС. Проби відбиралися протягом 2013 р. з січня по березень один раз на місяць, а з квітня по грудень – один раз у два тижні. Об'єктами дослідження були лісова підстилка і верхні шари гумусово-елювіального горизонту ґрунтів, одно- і дворічні хвоя і пагони *P. sylvestris*. Вимірювання вмісту ^{137}Cs проводилося за допомогою методу гамма-спектрометрії. Залежності зміни концентрацій ^{137}Cs від сезону року у ґрунтах не було виявлено. Стрибокподібні збільшення вмісту ^{137}Cs в досліджених ґрунтових шарах протягом року, імовірно, можуть бути пов'язані зі змінами чисельності педобіоти та інтенсивності процесів її життєдіяльності. У хвої і пагонах *P. sylvestris* максимальні значення концентрації ^{137}Cs відзначаються влітку. Мінімальні значення вмісту ^{137}Cs в досліджених органах *P. sylvestris* є характерними для осінньо-зимового періоду. У результаті проведених досліджень було встановлено наявність лінійної залежності між сезонними змінами вмісту ^{137}Cs у хвої і пагонах *P. sylvestris* на полігонах із різним рівнем забруднення. Зміни вмісту ^{137}Cs в досліджених органах *P. sylvestris*, що збігаються за часом на різних полігонах, свідчать про загальні для лісових екосистем закономірності перерозподілу ^{137}Cs по ланцюгу «ґрунт - рослинність» протягом року.

Ключові слова: зона відчуження ЧАЕС, лісові екосистеми, сезонні зміни, вміст ^{137}Cs .

N. Ye. Zarubina*, **O. L. Zarubin**

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: zarubina@kinr.kiev.ua; nataliia.zarubina@gmail.com

SEASONAL VARIATION IN THE CONTENT OF ^{137}Cs IN DIFFERENT OBJECTS OF FOREST ECOSYSTEMS IN CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

Seasonal changes in the content of ^{137}Cs in the soil and vegetation of forest ecosystems in the territory of the Chernobyl exclusion zone have been studied. Samples were selected during 2013 from January till March one time per month, and from April till December – one time per two weeks. The study subjects were forest litter and the upper layers of the humus-eluvial horizon of soils, one- and two-year-old needles and branches of *P. sylvestris*. The ^{137}Cs content was measured by gamma spectrometry methods. Dependences of changes in ^{137}Cs concentrations from the season of the year in the soils were not revealed. The leaping increase in the content of ^{137}Cs in the soil layers throughout the year is likely to be related to changes in the quantity of pedobiota and the intensity of the processes of its vital activity. In the needles and branches of *P. sylvestris* the maximum values of ^{137}Cs concentration are noted in the summer. Minimum values of ^{137}Cs content in the studied organs of *P. sylvestris* are characteristic for the autumn-winter period. As a result of the studies, linear relationship was found between seasonal changes in ^{137}Cs concentration in needles and branches of *P. sylvestris* in testing areas with different levels of contamination. Changes of the ^{137}Cs content in the studied organs of *P. sylvestris*, which coincide in time at different testing areas, indicate common regularities of ^{137}Cs redistribution at the soil-vegetation chain in forest ecosystems throughout the year.

Keywords: exclusion zone of ChNPP, forest ecosystems, seasonal changes, content of ^{137}Cs .

REFERENCES

1. A.N. Perevolotskij. *Distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in Forest Biogeocenoses* (Minsk: RNIUP «Institut radiologii», 2006) 256 p. (Rus)
2. A.V. Ponomarev et al. Dynamics of ^{137}Cs content in the organs of woody plants in the forests of the Bryansk region. In: *Voprosy lesnoj radioekologii* (Moskva: Moscow State Forest University, 2000) 80. (Rus)
3. A.I. Chilimov, A.V. Bogachev. The results of observations of the dynamics of the specific activity of

- ^{137}Cs in woody plants according to the data of the mini-tests. In: *Voprosy lesnoj radioekologii* (Moskva: Moscow State Forest University, 2000) 52. (Rus)
4. K.D. Mukhamedshin, A.I. Chilimov, V.K. Bezuglov, G.V. Snytkin. Certification of forest resources based on radiation, as a basis for obtaining normative-clean forest products on the territory contaminated with radionuclides. In: *Voprosy lesnoj radioekologii* (Moskva: Moscow State Forest University, 2000) 7. (Rus)
 5. O.O. Orlov, S.P. Irklienko, V.M. Turko. The content of ^{137}Cs in the components of biogeocoenoses of the mesooligotrophic marshes of the Ukrainian Polissya and the role of the sphagnum cover in the redistribution of potassium and ^{137}Cs in their ecosystems. *Problemy ekologiyi lisiv i lisokorystuvannya na Polissi Ukrayiny: Nauk. pratsi* 6 (1999) 26. (Ukr)
 6. V.P. Krasnov, A.A. Orlov. *Radioecology of Berry Plants* (Zhitomir, Izdatelstvo Volyn, 2004) 263 p. (Rus)
 7. V.A. Grabovskiy, O.S. Dzendzelyuk, O.S. Kushnir. Temporal and seasonal variations of radiocesium content in some plants from the western part of Ukrainian Polesye. *Journal of Environ. Radioact.* 117 (2013) 2.
 8. K. Bunzl, W. Kracke. Seasonal Variation of Soil-to-plant Transfer of K and Fallout ^{134}Cs , ^{137}Cs in Peatland Vegetation. *Health Physics* 57(4) (1989) 593.
 9. C.A. Salt, J.W. Kay, K.E. Jarvis. The influence of season and leaf age on concentrations of radiocesium (^{137}Cs), stable caesium (^{133}Cs) and potassium in *Agrostis capillaris*. *Environ Pollut.* 130 (2004) 359.
 10. A.I. Shcheglov. *Biogeochemistry of Technogenic Radionuclides in Forest Ecosystems* (Moskva: Nauka, 1999) 267 p. (Rus)
 11. P.S. Pogrebnyak. *Basics of Forest Typology* (K.: Izdatelstvo AN USSR, 1955) 456 p. (Rus)
 12. D.G. Zvyagintsev, I.P. Babeva, G.M. Zenova. *Soil Biology* (Moskva: Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, 2005) 445 p. (Rus)
 13. G.B. Dobrovolskij et al. *Structural and Functional Role of Soils and Soil Biota in the Biosphere*. Ed. G.V. Dobrovolskij (Moskva: Nauka, 2003) 364 p. (Rus)
 14. R.A. Olsen, E.J. Joner, L.R. Bakken. Soil fungi and the fate of radiocesium in the soil ecosystem – a discussion of possible mechanisms involved in the radiocesium accumulation in fungi, and the role of fungi as a Cs-sink in the soil. In: G. Desmet et al. (eds.). *Transfer of Radionuclides in Natural and Semi-Natural Environment*. (London - New-York: Elsevier Applied Science, 1990) p. 657.
 15. A. Dahlberg, I. Nikolova, K.-J. Johanson. Intraspecific variation in Cs-137 activity concentration in sporocarps of *Suillus variegatus* in seven Swedish population. *Mycol. Res.* 101(5) (1997) 545.
 16. L.R. Bakken, R.A. Olsen. Accumulation of radiocesium in fungi. *Canadian J. of Microbiology* 36(10) (1990) 704.
 17. J. Dighton, G.M. Clint, J. Poskitt. Uptake and accumulation of ^{137}Cs by upland grassland soil fungi: a potential pool of Cs immobilization. *Mycol. Res.* 95(9) (1991) 1052.
 18. N.Ye. Zarubina. The modern stage in the accumulation of radioactive cesium by mushrooms. *Byuleten ekologichnogo stanu Zony vidchuzhennya ta Zony bezumovnogo (obov'yazkovogo) vidseleennya* 2(20) (2002) 46. (Ukr)
 19. E.P. Odum. *Fundamentals of Ecology* (Philadelphia - London - Toronto, 1971) 532 p.

Надійшла 01.11.2017

Received 01.11.2017