

УДК 502.3(476)

А. Ф. Мирончик, канд. техн. наук, доц.

МЕЖВИДОВАЯ ДИНАМИКА АККУМУЛЯЦИИ ^{90}Sr ОСНОВНЫМИ ДРЕВЕСНЫМИ ПОРОДАМИ ЛЕСОВ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Определена видовая зависимость распределения ^{90}Sr по органам растений основных древесных пород лесов Могилевской области.

Введение

До аварии на Чернобыльской атомной станции радиационная обстановка на территории Могилевской области определялась, в основном, природными радионуклидами (^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U), концентрация которых в почвах сохранилась и ныне на том же уровне. Например, концентрация двух последних элементов составляет $n \cdot 10^{-4} \%$, радиоактивного ^{40}K – 0,0119 % от общего запаса калия, содержание которого в земной коре определяется в 2,5 %. В результате испытания ядерного оружия, а также после аварии на ЧАЭС на территорию Республики поступали искусственные радионуклиды – ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238,239,240}\text{Pu}$.

Формирование радиационной обстановки в лесах после аварии на территории Беларуси можно разделить на три периода:

– апрель-июнь 1986 г., когда радиационная обстановка определялась короткоживущими радионуклидами ($^{131,133,135}\text{I}$, ^{140}La , ^{99}Mo и др.), радионуклидами с периодом полураспада до одного года, а также долгоживущими радионуклидами;

– вторая половина 1986–1987 гг., когда наряду с долгоживущими радионуклидами еще в заметных количествах присутствовали такие радионуклиды, как ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{144}Ce , ^{106}Ru , ^{134}Cs , ^{242}Cm ;

– начиная с 1988 г. радиационная обстановка определяется, в основном, радионуклидами ^{137}Cs , ^{90}Sr , а в ближней зоне ЧАЭС (зона отчуждения) – $^{238,239,240}\text{Pu}$.

Следы «чернобыльского контура» радиоактивного загрязнения по приуроченности к водным бассейнам крупных рек первого порядка условно подразделя-

ются на Припятский, Неманский, Днепровский и Сожский. Выделение следов мотивировано значительным различием в их строении, например, контрастно-пятнистым Сожским и зонально-убывающим Припятским с центром загрязнения в пределах ЧАЭС. Кроме того, наблюдаются некоторые различия в изотопном составе выпавших на их территории радионуклидов. В Днепровском следе более других загрязнены Рогачевский, Жлобинский районы Гомельской области и Быховский район Могилевской области. В пределах Сожского следа наиболее сильно загрязнены Ветковский, Чечерский, Добрушский, Буда-Кошелевский районы Гомельской области, Краснопольский, Чериковский, Костюковичский и Славгородский районы Могилевской области [1]. Лесные массивы в зонах радиоактивного загрязнения аккумулировали значительное количество радионуклидов, поскольку лес был природным барьером на пути распространения радиоактивных аэрозолей ветровыми потоками воздуха [2].

Радиоактивное загрязнение компонентов лесных биогеоценозов зависит от следующих основных факторов:

– плотности радиоактивного загрязнения почвы;

– форм нахождения выпавших радионуклидов;

– распределения по глубине и характеру миграции радионуклидов по профилю почвы;

– агрохимических характеристик и водного режима лесных почв;

– биологических особенностей видов растений;

– возраста растений;
– климатических особенностей года
и ряда других факторов.

Большая емкость поглощения радионуклидов лесными биогеоценозами и включение их в биологический круговорот веществ превращают лес в мощный биогеохимический барьер на пути миграции радионуклидов. Значительная часть радионуклидов при выпадении из атмосферы в составе твердых аэрозолей задерживается преимущественно в кронах деревьев. После этого начинается их вертикальная и горизонтальная миграция.

Важную роль в перемещении радионуклидов под полог леса играют процессы биологической миграции: опадение листьев, хвои, мелких ветвей и других загрязненных частей деревьев. В результате такой миграции в лиственных лесах уже через год после выпадения продуктов деления доля их в кронах снижается в несколько раз и соответственно возрастает загрязнение лесной подстилки и почвы. В хвойных лесах самоочищение крон происходит в 3–4 раза медленнее. По истечении этого наиболее опасного периода радиоактивные вещества перемещаются в лесную подстилку и почву, где прочно фиксируются.

Постановка проблемы

Леса, являясь чувствительным индикатором изменения среды их обитания, нуждаются в оценке состояния лесных экосистем, подверженных радиоактивному загрязнению, минимизации негативных последствий влияния на них экстремальных абиотических и биотических факторов окружающей среды, выработке рекомендаций по повышению их устойчивости. Проведение унифицированных биологических наблюдений осложняется своеобразием действующих на биоту факторов (высокая мозаичность радиоактивного загрязнения лесов, значительная вариабельность интенсивности накопления радионуклидов разными видами растений, варьирование величины накопления ра-

дионуклидов в зависимости от погодных условий, форм нахождения радиоактивных веществ в окружающей среде и др.). Это зачастую затрудняет сопоставление полученных результатов и ставит под сомнение их корректность. Учитывая, что поступление радионуклидов из почвы и степень их накопления в древесных растениях в значительной мере зависят не только от биологических особенностей входящих в фитоценоз видов (активности физиологических процессов, характера распределения корневых систем в почве, продолжительности вегетации, продуктивности и др.), но и от химических форм продуктов деления, плотности радиоактивного загрязнения почв, физико-химических свойств среды обитания, климатических и топографических условий, структуры биогеоценоза и т.д., радиоэкологический мониторинг леса должен базироваться на оценке ответной реакции экосистем, обусловленной влиянием многочисленных факторов воздействия. Например, для большинства радионуклидов накопление их в растениях только в зависимости от изменения почвенных характеристик может колебаться до 20 раз [3]. Вместе с тем, вычлнить влияние отдельных факторов на поступление радионуклидов в растения не всегда представляется возможным, так как большинство свойств почв и в целом фитосреды тесно связано между собой и часто степень воздействия отдельного из них зависит от влияния всего комплекса. Поэтому оценить это влияние возможно лишь при идентичности условий местообитания исследуемых компонентов лесных экосистем.

Основной материал

Для исследования межвидовых различий в поглощении продуктов деления в работе приведены сведения по двум отборам (в 1990–1991 гг. и в 2004–2005 гг.) проб почвы и основных лесобразующих древесных пород (береза, дуб, ель обыкновенная, клен, липа

мелколистная, сосна обыкновенная) на территории Чериковского района (окрестности д. Чудяны) и Краснопольского района (окрестности д. Высокий Борок). В опыте использованы древесные растения, относящиеся к разным систематическим группам, обладающие различными биологическими свойствами. Целью работы являлся сравнительный экспериментальный анализ аккумуляции продуктов деления ^{90}Sr древесными растениями с различными биологическими свойствами.

Из почвы извлекали растение 5–6 лет и расчленили его на отдельные части (корни, стволы, ветви и листья (хвоя)) (табл. 1). Одновременно отбирали пробы почвы. Образцы высушивали до абсолютно сухой массы, после чего радиохимическим методом определяли удельную активность ^{90}Sr (рис. 1).

Проведенные исследования по накоплению ^{90}Sr основными лесообразующими древесными растениями в условиях полевого эксперимента показали, что наиболее активно поступает ^{90}Sr в ель обыкновенную (рис. 2), несколько слабее в липу мелколиственную. Близки по способности накопления ^{90}Sr береза, клен и дуб; очень низкой активностью поступления ^{90}Sr обладает сосна обыкновенная. Различия в активности поступления и накопления ^{90}Sr растениями, произрастающими в идентичных условиях, можно объяснить их биологическими свойствами. Выявле-

ны значительные различия в концентрации ^{90}Sr в органах исследуемых растений, причем его наибольшая концентрация отмечена в листьях (хвое) и тонких корнях. Концентрация ^{90}Sr в ветвях (примерно одинакова с мелкими корнями) превышает у отдельных древесных пород (дуб, клен, сосна) таковую в листьях; менее активно ^{90}Sr накапливается в стволах древесных растений и крупных корнях.

Для прогнозирования накопления радиоактивных веществ в продукции лесного хозяйства, а также обоснования мер радиационной безопасности хозяйствования большой практический интерес представляют сведения, касающиеся выноса из почвы радионуклидов различными древесными породами и их частями (рис. 3). Результаты эксперимента позволили ранжировать основные лесообразующие древесные породы по их способности к выносу из почвы ^{90}Sr . По содержанию ^{90}Sr в целом растении первое место занимает ель обыкновенная (табл. 2): среднее содержание ^{90}Sr в сухой фитомассе одного шестилетнего растения составляет (1508 ± 38) Бк. Далее по накоплению исследуемого радионуклида занимает липа $((693 \pm 24)$ Бк), клен $((516 \pm 25)$ Бк), береза $((239 \pm 19)$ Бк), дуб $((207 \pm 16)$ Бк) и сосна обыкновенная $((14 \pm 5)$ Бк).

Табл. 1. Биометрическая характеристика растений

Порода	Объект исследования						Относительная масса растения
	Мелкие корни	Крупные корни	Ствол	Ветви	Хвоя (листья)	Все растение	
Береза	1,70	32,86	27,08	19,87	18,49	100	191,55
Дуб	1,28	39,38	31,73	11,13	16,48	100	189,60
Ель	1,27	13,04	30,69	22,48	32,52	100	545,97
Клен	1,68	25,76	50,89	7,95	13,72	100	414,53
Липа	1,92	19,88	55,81	9,10	13,29	100	362,44
Сосна	0,99	12,21	32,16	15,00	39,64	100	100

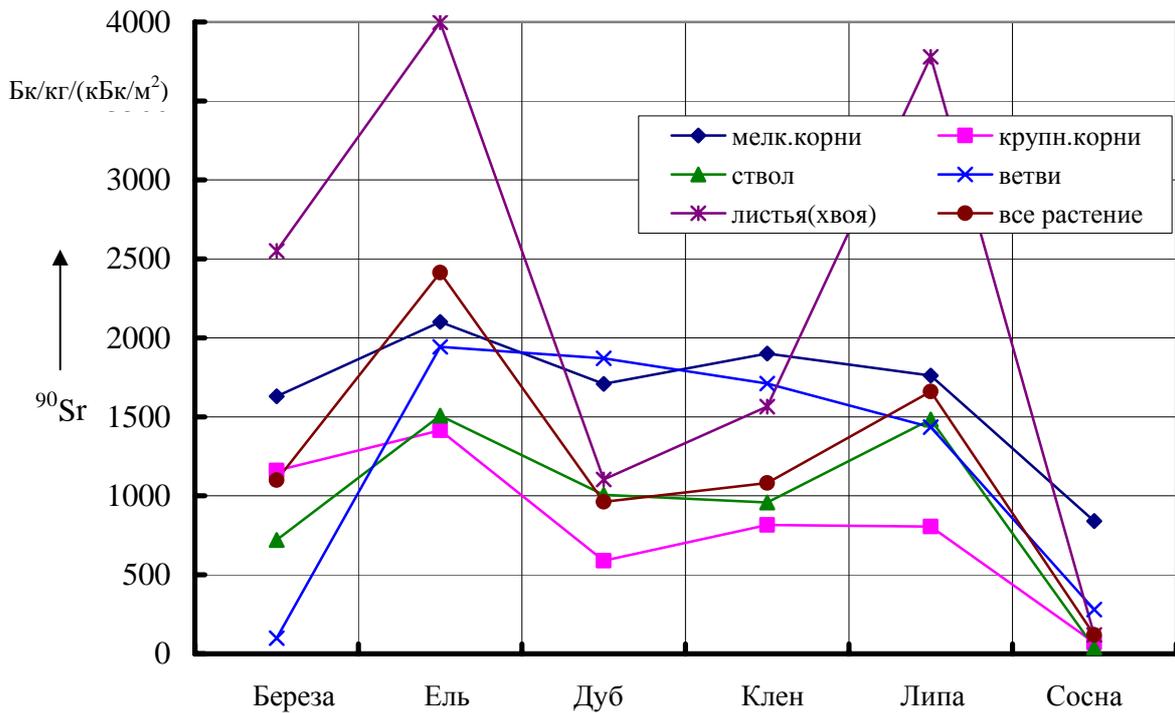


Рис. 1. Аккумуляция ^{90}Sr различными органами древесных растений

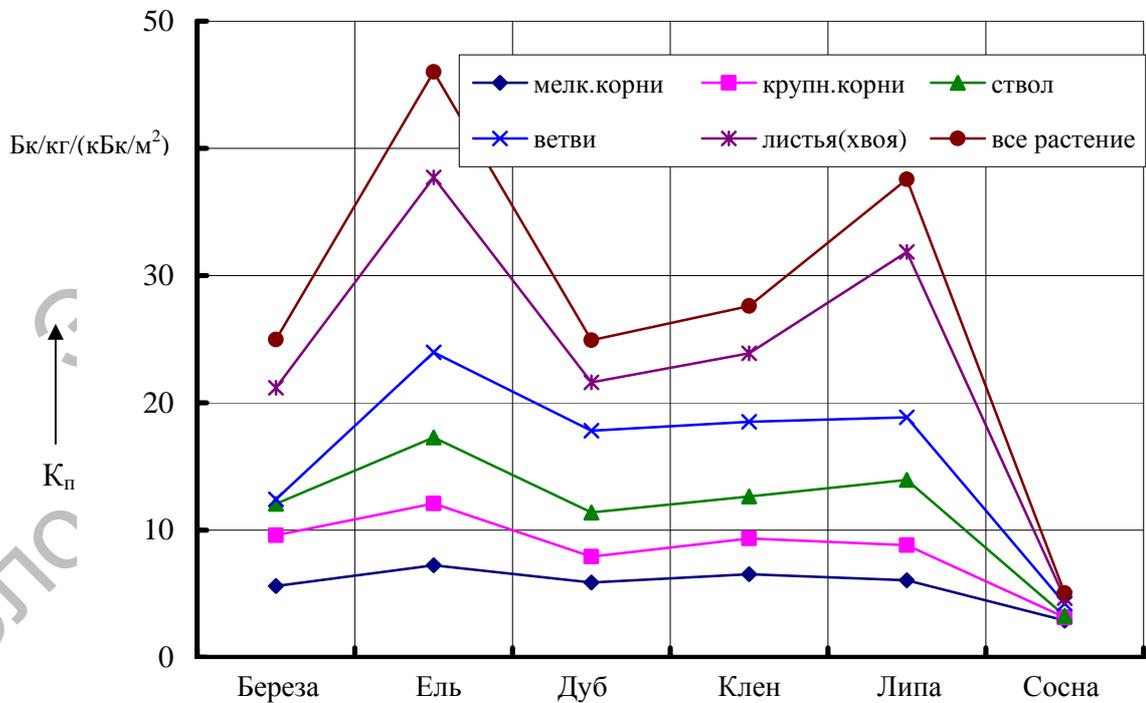


Рис. 2. Коэффициенты перехода ^{90}Sr в органы древесных растений

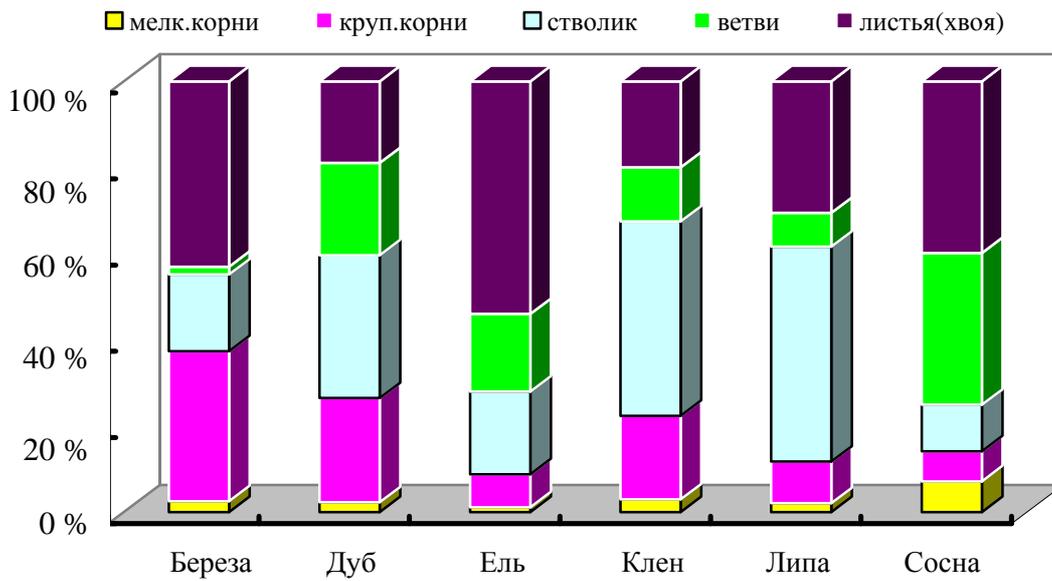


Рис. 3. Распределение ⁹⁰Sr по различным органам древесных растений

Табл. 2. Распределение основных лесообразующих древесных пород по уровню накопления ими ⁹⁰Sr (в порядке уменьшения)

Ряды по накоплению ⁹⁰ Sr различными органами древесных растений						
Мелкие корни	Крупные корни	Ствол	Ветви	Хвоя (листья)	Все растение	К _п
Ель	Ель	Ель	Ель	Ель	Ель	Ель
Клен	Береза	Липа	Дуб	Липа	Липа	Липа
Липа	Клен	Дуб	Клен	Береза	Береза	Береза
Дуб	Липа	Клен	Липа	Клен	Клен	Клен
Береза	Дуб	Береза	Сосна	Дуб	Дуб	Дуб
Сосна	Сосна	Сосна	Береза	Сосна	Сосна	Сосна

Различия отмечены в накоплении ⁹⁰Sr различными органами древесных растений. Например, у березы в корневой системе сосредоточено до (37±12) % ⁹⁰Sr, у ели – всего (9±3) %. Близкие значения по содержанию ⁹⁰Sr в корневой системе имеют дуб ((26±4) %) и клен ((22±3) %). Разница в содержании ⁹⁰Sr в корнях древесных пород достигает четырехкратной величины. Существенные различия обна-

ружены в содержании ⁹⁰Sr в надземных органах исследованных древесных пород. Наибольшее количество его отмечено в надземной части ели ((89±2) %). Далее в нисходящем порядке идут липа ((86±3) %), сосна ((84±2) %), клен ((77±3) %), дуб ((74±3) %), береза ((62±3) %). Межвидовая разница в накоплении ⁹⁰Sr надземной частью растений достигала 28 %. Имеются существенные

различия в содержании ^{90}Sr и в других частях растений. Довольно высокое содержание исследуемого радионуклида отмечено в листьях березы ($(41\pm 3)\%$) и хвое сосны ($(39\pm 2)\%$). Необходимо отметить, что различия в содержании ^{90}Sr в листьях опытных древесных пород отличаются от содержания ^{90}Sr в других органах исследуемых растений. Так, если содержание ^{90}Sr в хвое ели составляло $(40\pm 3)\%$, а в листьях клена – $(20\pm 2)\%$, то накопление его в стволах указанных растений было $(20\pm 2)\%$ и $(44\pm 3)\%$. Это приводит к тому, что, даже с учетом таких различий в накоплении ^{90}Sr различными органами древесных растений, очень трудно на основании его содержания в каком-либо отдельном органе растений построить общую шкалу накопления ^{90}Sr древесными породами (см. табл. 2). Например, потребление древесными растениями различных элементов из почвы характеризуется не только накоплением их в листьях и других органах растений, но и количеством ежегодно создаваемой этими растениями фитомассы.

Проведенные исследования по накоплению ^{90}Sr основными лесообразующими древесными породами Могилевской области в условиях полевого эксперимента выявили довольно значительные различия, которые доходили до 20 раз. В качестве показателя, характеризующего способность накопления растениями ^{90}Sr , был использован коэффициент перехода $K_{\text{п}}$, который соотносит концентрацию радионуклидов в растениях к площадному загрязнению почв. Полученные данные показали, что наиболее активно поступает ^{90}Sr в ель обыкновенную ($K_{\text{п}} = 8,329$), несколько слабее – в липу мелколистную ($K_{\text{п}} = 5,762$). Близкими по активности накопления ^{90}Sr являются береза, клен и дуб, коэффициенты перехода которых равны 3,709; 3,673 и 3,403 соответственно. Очень низкой активностью поступления по отношению к ^{90}Sr обладает сосна обыкновенная ($K_{\text{п}} = 0,401$). С учетом того, что рас-

тения, использованные в опытах, произрастали примерно в одинаковых условиях, выявленные различия в активности поступления и накопления ими ^{90}Sr можно объяснить их биологическими свойствами.

Выявлены значительные различия и в концентрации ^{90}Sr в различных органах растений (рис. 4) [3]. Наибольшая концентрация этого элемента отмечается, как правило, в физиологически активных органах растений – листьях (хвое) и тонких корнях. Относительно высокие концентрации ^{90}Sr наблюдаются в ветвях, превышая у отдельных древесных пород (сосна, дуб, клен) таковую в листьях. По концентрации ^{90}Sr ветви приближаются к мелким корням. Наименее активно исследуемый радионуклид накапливался в стволах опытных растений и крупных корнях.

Соотношение поглощающей поверхности корней и их веса отражает физиологическую активность корневых систем растений, что характеризует интенсивность поступления в растение с питательными веществами и ^{90}Sr (например, рабочая поверхность корней одного однолетнего растения клена составляет 77 м^2 , а у сосны обыкновенной, произрастающей в идентичных условиях местопроизрастания, этот показатель равен всего лишь $13,9\text{ м}^2$) [4]. Определяющее, на наш взгляд, значение в поступлении различных элементов в древесные растения имеет степень развития корневой системы и особенности распределения корней по почвенным горизонтам (до 85–90 % корней ели располагаются в верхнем 10-сантиметровом слое почвы [5, 6]). Поэтому древесные растения, развивающие поверхностную корневую систему, сосредоточенную в слое почвы с максимальным содержанием радионуклидов, как правило, аккумулируют больше ^{90}Sr , чем глубокоукореняющиеся (ель 5–6-летнего возраста 90–95 % своей корневой системы располагает в 20-сантиметровом слое почвы).

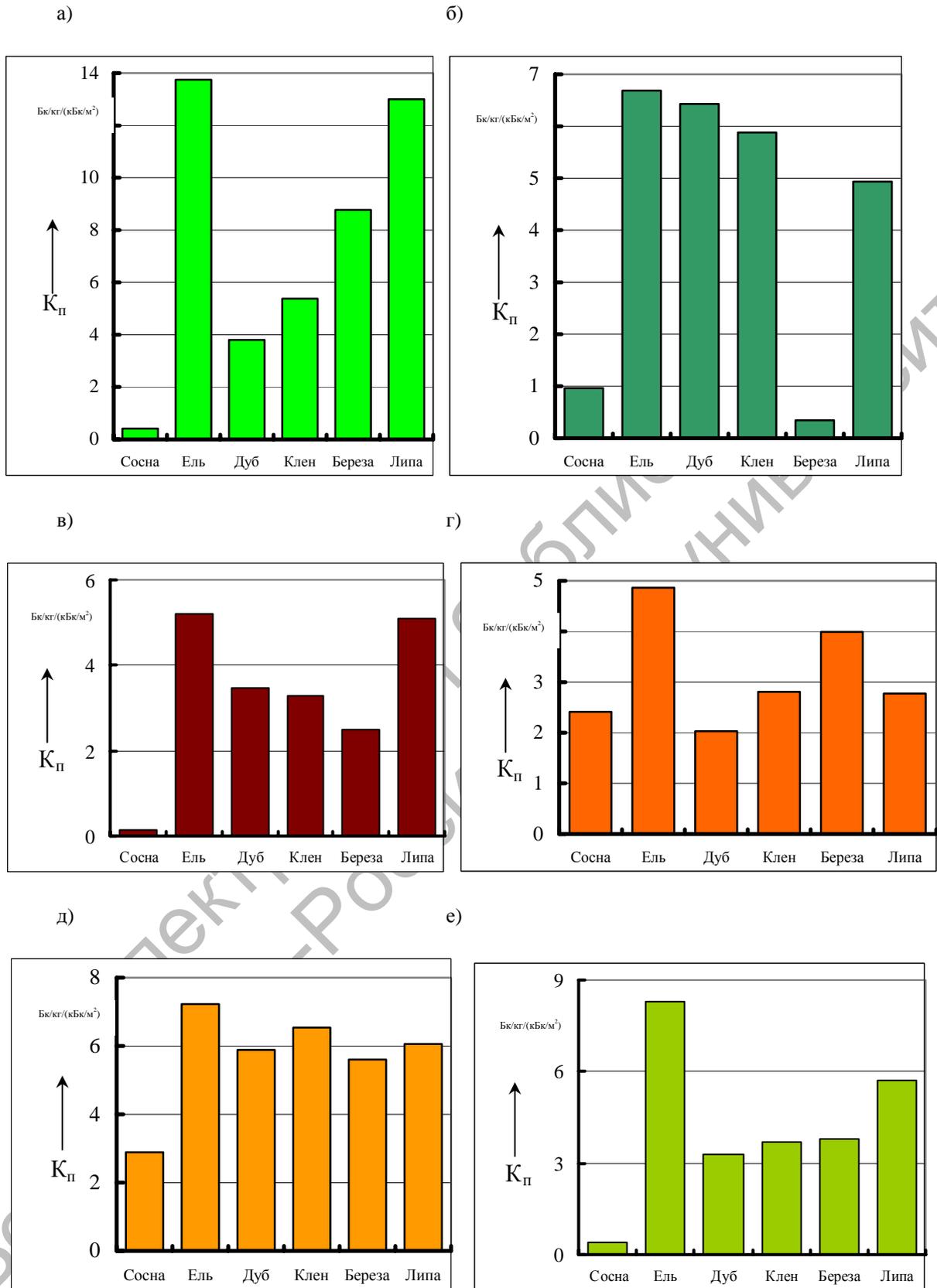


Рис. 4. Аккумуляция ^{90}Sr различными органами древесных растений: а – листья (хвоя); б – ветви; в – ствол; г – крупные корни; д – мелкие корни; е – все растение

Выводы

1. Применительно к поставленным задачам (оценка общего состояния лесных экосистем, накопление ^{90}Sr в древесных породах лесов Могилевской области, использование растительности для дезактивации загрязненных радионуклидами территорий и др.) индикаторными органами, характеризующими возможность использования древесных растений в условиях радиоактивного загрязнения территорий, могут быть совершенно разные элементы их фитомассы.

2. Наиболее надежным индикатором загрязнения ^{90}Sr древесных растений при проведении радиоэкологического мониторинга лесов может быть диагностика листьев (хвои).

3. Поскольку накопление ^{90}Sr древесными растениями опосредовано совокупностью ряда взаимосвязанных факторов (физико-химических свойств среды произрастания, климатических условий, структуры биогеоценоза, биологических свойств растений и др.) ранжирование древесных растений и их частей по накоплению ими радионуклидов возможно лишь в пределах одинаковых или близких условий их местопроизрастания.

4. Для решения конкретных производственных задач в лесном хозяйстве (накопление ^{90}Sr в древесных породах, подбор древесных растений для рекультивации земель, загрязненных выпавшими радиоактивными веществами) необходимо расширение банка данных поступления, накопления и выноса продуктов деления лесообразующими древесными породами на различных этапах их жизни в различных условиях местопроизрастания.

5. Результаты эксперимента могут быть использованы при разработке мероприятий по снижению перехода радиоактивных веществ в продукцию лесного хозяйства, а также при подборе ассортимента лесных древесных пород для лесовосстановления на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мирончик, А. Ф.** Характеристика радиоактивного загрязнения территории Могилевской области в результате аварии на Чернобыльской АЭС / А. Ф. Мирончик, С. В. Круглов // Труды Могилевского врачебного общества Белоруссии. – Могилев, 1993. – С. 179–180.

2. **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. тез. междунар. конф. – Гомель : Ин-т радиологии, 2006. – С. 202.

3. Создание модельных фитоценозов как одно из необходимых условий успешного проведения радиоэкологического мониторинга лесов / Б. С. Мартинович [и др.] // Европа – наш общий дом: Экологические аспекты : сб. тематических докл. – Минск : БелСЭНС, 1999. – Ч. 2. – С. 198–206.

4. **Якушев, Б. И.** Состав и поведение радионуклидов Чернобыльской аварии в растениях и почвах природных комплексов / Б. И. Якушев // Европа – наш общий дом : Экологические аспекты : тез. докл. междунар. науч. конф. – Минск : БелСЭНС, 1999. – С. 61.

5. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС : состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В. А. Ипатьев [и др.]. – Гомель : Ин-т леса НАН Беларуси, 1999. – 454 с.

6. Результаты 10-летних исследований аккумуляции радионуклидов древесными растениями в зоне Чернобыльских эмиссий / Б. С. Мартинович [и др.] // International Conference one decade after Chernobyl: summing up the Consequences of the Accident : book of extended Synopses. Austria Center Vienna, Austria, 8–12 April 1996. – С. 151–153.

7. **Зорин, В. П.** Экологическая роль лесов на рубеже тысячелетий / В. П. Зорин // Состояние и мониторинг лесов на рубеже XXI века : тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 1998. – С. 7–9.

8. **Колосов, И. И.** Поглощительная деятельность корневых систем растений / И. И. Колосов. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – 388 с.

9. **Якушев, Б. И.** Поглощающая поверхность корневых систем растений и факторы, влияющие на ее развитие / Б. И. Якушев // Корневое питание растений в фитоценозах. – Минск : Наука и техника, 1971. – С. 101–146.

10. **Мирончик, А. Ф.** Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в основных древесных породах лесов Могилевской области в послечернобыльский период / А. Ф. Мирончик // Региональные проблемы экологии : пути решения : материалы III междунар.

экологического симпозиума. – Полоцк : ПГУ, 2006. – С. 25–26.

11. **Мирончик, А. Ф.** Состояние и перспективы использования древесины радиационно загрязненных регионов в строительстве / А. Ф. Мирончик // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. науч. тр. междунар. науч.-метод. межвузовского семинара. – Могилев :

Белорус.-Рос. ун-т, 2005. – С. 293–297.

12. **Мирончик, А. Ф.** Видовые различия аккумуляции ^{137}Cs и ^{90}Sr древесными растениями лесных природных комплексов / А. Ф. Мирончик // Региональные проблемы природопользования и охраны природных ресурсов Верхнего Поднепровья и сопредельных территорий : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Могилев : МГУ им. А. Кулешова, 2005. – С. 123–125.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 21.06.2006

A. F. Mironchik
Interspecific dynamics of accumulation
 ^{90}Sr by the basic wood breeds of woods
of the Mogilev region
Belarusian-Russian University

Specific dependence of distribution ^{90}Sr on bodies of plants of the basic wood breeds of woods of the Mogilev region is determined.