


На правах рукописи



Брылова Анастасия Андреевна

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АККУМУЛЯЦИИ ПОЛЛЮТАНТОВ
КОМПОНЕНТАМИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ
(НА ПРИМЕРЕ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

03.02.08 – Экология (биология)

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Брянск -2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Анищенко Лидия Николаевна

Официальные оппоненты: **Харченко Николай Николаевич**
доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», заведующий кафедрой экологии, защиты леса и лесного охотоведения

Шаповалова Анна Алексеевна
кандидат биологических наук, Балашовский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», доцент кафедры биологии и экологии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный инженерно-технологический университет»

Защита состоится «21» сентября 2018 г. в 13.00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.025.07 при ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» по адресу: 600000, Владимир, ул. Горького, 87, корп.1, ауд.335.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ и на сайте <http://diss.vlsu.ru/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, можно присылать по адресу: 600000, Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, кафедра биологии и экологии.

Автореферат разослан « » 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Кулагина Екатерина Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Среди живых организмов, населяющих природные экосистемы суши, способностью к активной биоаккумуляции элементов группы тяжёлых металлов (ТМ) и радионуклидов обладают макромицеты, мохообразные и сосудистые растения, благодаря чему они могут активно вовлекать названные токсиканты в биогеохимические циклы [Глазун, 1998; Щеглов, 2002; Kalas, 2010; Garcia, Alonso, Melgar, 2013]. Величина накопления загрязнителей во многом определяется биологическими особенностями представителей отдельных видов.

Катастрофа на Чернобыльской АЭС привела к радиоактивному загрязнению больших лесных территорий Украины, Беларуси, РФ, в том числе и Брянской области – около 11 тыс. км² [Чернобыльская катастрофа ..., 1995; Лес. Человек. Чернобыль..., 2005]. Спустя 31 год после катастрофы на ЧАЭС, техногенные радионуклиды продолжают активно аккумулироваться в растительном компоненте, о чем свидетельствует радиологический мониторинг в России и других странах [Краснов, 1996; Цветнова, 1996; Лес. Человек. Чернобыль..., 2005; Сковородникова, 2008; Борздыко, 2009; Любимов, 2010; Булохов, 2011 и др.].

Особый интерес к макромицетам, живому напочвенному покрову лесных экосистем – мохообразным в прикладной экологии проявляется потому, что они являются концентраторами ТМ и радионуклидов, и могут быть использованы в качестве биоиндикаторов загрязнения внешней среды [Щеглов, 2000]. Также для разработки рекомендаций по ведению лесного хозяйства и использованию лесной продукции на радиоактивно загрязненных территориях необходимо изучение динамики накопления и распределения радионуклидов в древостоях. Основным дозообразующим радионуклидом в настоящее время является ¹³⁷Cs, и его содержание является лимитирующим фактором при сертификации лесной продукции. Несмотря на то, что многие вопросы поведения радионуклидов в лесных экосистемах довольно широко изучены, данные разных авторов весьма противоречивы. В связи с этим изучение миграции ¹³⁷Cs в лесных фитоценозах весьма актуально и важно для ведения постоянного мониторинга среды [Цветнова, 1996]. Долгосрочные наблюдения за состоянием окружающей природной среды позволят не только оценить, но и спрогнозировать дальнейшие последствия радиоактивного загрязнения грибной компоненты природных экосистем, разработать научные основы их устойчивого и безопасного использования и охраны в условиях юго-западного Нечерноземья РФ.

Федеральная целевая программа «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2020 года» предполагает информированность населения по вопросам безопасного проживания на радиоактивно загрязненных территориях.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – провести оценку роли древостоя, компонентов живого напочвенного покрова в миграционных процессах загрязнителей – тяжёлых металлов и радионуклидов – в лесных сообществах на территориях сочетанного радиационно-химического загрязнения (Брянская область, Нечерноземье РФ).

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

1. Исследовать накопительные особенности базидиом макромицетов по отношению к тяжелым металлам и радионуклидам на основе коэффициентов накопления и перехода, выявить перспективные биоиндикаторы и их информативные показатели.

2. Проанализировать динамику содержания тяжёлых металлов и радионуклидов в побеговых частях древесных видов в условиях радиационного и химического загрязнения.

3. Провести оценку радионуклидного загрязнения лесных экосистем.

4. Установить возможности биоиндикации радиоэкологического состояния лесных местообитаний.

Научная новизна и теоретическая значимость работы заключается в том, что:

1. Проведен комплексный анализ накопительных возможностей макромицетов в целях биомониторинга с выделением перспективных биоиндикаторов для диагностики общего состояния среды, групп видов, различных по чувствительности к содержанию загрязнителей в лесных экосистемах.

2. Оценено содержание радионуклидов в элементах побегов древостоя лесных сообществ и его динамика.

3. По отношению к элементам группы тяжелых металлов дана оценка накопительным возможностям живого напочвенного покрова и оценена роль мохообразных и опада в миграциях загрязнителей.

4. Выявлены возможности биоиндикации для диагностики общего радиоэкологического состояния местообитаний на основе индекса флуктуирующей асимметрии.

Практическое значение. Результаты исследований валового содержания загрязнителей используются в работах специалистов, отвечающих за качество среды и здоровье населения, в оценке антропогенной нарушенности природных комплексов, а также для целей биоиндикации и биомониторинга. Полученные результаты содержания ^{137}Cs будут использованы при сертификации лесной продукции. Элементы биоиндикационных исследований апробированы в общеобразовательных учебных заведениях г. Брянска и Брянской области.

Личный вклад автора. Диссертация является результатом многолетних исследований. Автор разработала программу и методику экспериментов, провела обработку материала, обобщила анализ, сформулировала полученные выводы и публикацию результатов.

Апробация работы. Результаты работы были доложены на 11 международных конференциях: «Экологическая безопасность региона» (Брянск, 2010, 2011, 2012, 2013), «Естественные науки: вопросы биологии, химии, физики» (Новосибирск, 2012), «Ломоносов 2013» (Москва, 2013), «Биология – наука XXI века» (Пушино, 2013), «Проблемы и перспективы развития науки в начале третьего тысячелетия в странах СНГ» (Переяслав-Хмельницкий, апрель 2013, июнь 2013), «Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов» (Брянск, 2013), «Естественные и медицинские науки: актуальные проблемы и перспективы развития» (Киев, 2013); 4 Всероссийских конференциях: «Антропогенная трансформация природных экосистем» (Балашов, 2010), «Мониторинг биоразнообразия экосистем степной и лесостепной зон» (Балашов, 2012), «Экологические проблемы промышленных городов» (Саратов, 2013), «Молодежь и наука на севере» (Сыктывкар, 2013), «Наука, образование, общество глазами молодых», «Содержание элементов группы тяжёлых металлов в различных компонентах лесных экосистем территорий с различной техногенной нагрузкой».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых Перечнем ... ВАК РФ.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 201 странице компьютерного текста и включает общую характеристику работы, 4 главы, выводы, практические рекомендации, библиографический список и приложения. Основной текст диссертации изложен на 160 страницах, приложение – на 9 страницах. Список используемых литературных источников насчитывает 280 наименований, в том числе 38 – на иностранных языках. Текст иллюстрируют 61 таблица и 26 рисунков.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам экоаналитического отдела РЦЭК и М по Брянской области за помощь в проведении химических исследований образцов на содержание ТМ и ФГБУ «Брянскагрохимрадиологию» за проведение радиологических измерений.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Рассмотрены особенности лесных сообществ и их компонентов, характеризующихся высокой удерживающей способностью по отношению к аэральным радиоактивным выпадениям, поллютантам группы тяжёлых металлов, особенности самоочистения надземной части растительного яруса [Якушев и др., 1995; Фесенко и др., 2002 а,б].

Выделен вклад различных ярусов фитоценозов в аккумуляции загрязнителей, зависимость этих показателей от онтогенетического состояния особей ценопопуляций, видового состава ярусов, абиотических характеристик среды [Влияние опада ..., 1979; Романов и др., 1993; Тихомиров и др., 1990, 1993; Самошкин, Борздыко, 2006; Сапегин и др., 2009, 2010; Борздыко, 2010; Борздыко, Бушуева, 2011]

Отмечен значительный вклад видового разнообразия живого напочвенного покрова в миграцию радионуклидов и элементов группы тяжёлых металлов (ТМ) как трансграничных загрязнителей [Орлов и др., 1990, 1999; Самошкин и др., 2005; Вопросы лесной радиологии, 2010; Анищенко и др., 2014]

Обобщены данные о биосферной роли грибов в трансформации загрязнителей и токсикантов [Цветнова, 1996; Цветнова и др., 2001, 2004; Щеглов, Цветнова, 2002; Дементьев, 2007; Vinichuk et al., 2010; Щеглов, Цветнова, Касацкий, 2014].

2 ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Территория Брянской области характеризуется большим разнообразием лесной растительности, по лесоклиматическому районированию (Кожевников, Ефимова, 1939) территория Брянской области (Нечерноземье РФ) находится в зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов. С.Ф. Курнаев (1973) относит область к Брянскому округу зоны широколиственных лесов, который располагается в западной части Российской Федерации в пределах двух зональных полос – в подзоне смешанных и теневых широколиственных лесов [Курнаев, 1973]. Границы округа совпадают с административными границами Брянской области, за исключением юго-западной части, которая относится к Днепровско-Припятскому округу зоны широколиственных лесов. По принятому в настоящее время лесорастительному районированию (Курнаев, 1982), округ делится на 11 лесорастительных районов.

В геологическом отношении округ сложен дислоцированными породами докембрийского кристаллического фундамента и осадочными образованиями девонского, юрского, мелового и четвертичного периодов (Глазов, 1970). Рельеф

территории округа слабо волнистый с общим уклоном с северо-востока и востока на юго-запад.

Под лесами округа наиболее распространены дерново-слабо- и дерново-среднеподзолистые почвы, сформировавшиеся на древнеаллювиальных и флювиогляциальных песчаных и супесчаных отложениях, а также на двух- или даже трехчленных отложениях четвертичной и меловой систем, подстилаемых коренными горными породами [Природные ресурсы и окружающая среда ..., 2007].

В климатическом отношении Брянский округ зоны широколиственных лесов расположен на границе между Западно-Европейским и Восточно-Европейским районами Атлантико-Континентальной климатической области (Манцевич, 1950) и входит в климатический район южной части Средне-Русской возвышенности, а его западная часть включена в климатические районы Полесья и северной Украины [Фёдоров, Баранов, 1949].

3 МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ, МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основная задача исследований – сравнительное изучение роли компонентов лесных сообществ в миграциях ТМ и радионуклидов (РН) в условиях сочетанного техногенно-радиационного загрязнения в Брянском округе зоны широколиственных лесов с целью дальнейшего решения вопросов биоиндикации и биомониторинга, разработке рекомендаций по фиторемедиации.

В соответствии с поставленной задачей в программу исследований были включены следующие вопросы:

1. Изучение содержания радионуклидов в побеговой биомассе древесных видов в условиях сильного радиоактивного загрязнения.
2. Анализ динамики валового содержания ТМ в компонентах живого напочвенного покрова, древесного яруса лесных экосистем.
3. Исследование накопительных возможностей грибов (макромицетов) по отношению к радионуклидам в условиях сочетанного загрязнения.
4. Оценка возможности биоиндикации радиоэкологического состояния местообитаний с использованием коэффициента флуктуирующей асимметрии.

Видовую принадлежность грибов, сосудистых растений и мохообразных определяли по общепринятым определителям [Гарибова, 1990]. Номенклатура сосудистых растений приведена по С.К. Черепанову [Черепанов, 1995].

Пробы биомассы мохового покрова, опавшей листвы отбирались вручную без деления на виды. Биомасса компонентов древесных видов изымалась минимум у 10 особей. Отбор проб коры наружной и внутренней, а также древесины осуществляли из выпилов, сделанных на разной высоте ствола – у комля, в середине и вершине (с разрешения работников лесного хозяйства). Образцы почвы отбирались с поверхности и с глубины в 12-14 см весной (оттаявшая прогревшаяся почва, первая декада мая) и осенью (первая декада октября) с площадки в 1 м² в 4-кратной повторности методом конверта. Плодовые тела шляпочных грибов срезались ножом, грибница при этом не травмировалась. В дальнейшем отобранные образцы подвергались общепринятой камеральной обработке для пробоподготовки к работе на спектрометре «Спектроскан-Макс». Определение содержания ТМ в лесных сообществах проводили в образцах почвы, почвенной подстилке, мохово-лишайниковом покрове, в частях модельных лиственных и хвойных деревьев. ПДК (предельно допустимые концентрации) и ОДК (ориентировочно-допустимые концентрации) химических веществ в почве определялись по ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.2042-06.

Пробные площадки (ПП) закладывались согласно ГОСТ 16128-70 в насаждениях с различным уровнем техногенной и радиационной нагрузки. Характеристика почвы давалась по литературным данным [Антыков, 1958; Роде, Смирнов, 1972; Атлас почв СССР, 1974] и описанию прикопок. По шестибальной шкале производилась оценка состояния каждого дерева [Санитарные правила..., 1992].

Для полевого исследования закладывались ПП квадратной формы с удалением от квартальной просеки или дороги не менее чем на 10 метров. Экспериментальные объекты закладывались с учётом плотности загрязнения и МЭД γ -излучения. Условно предусматривалось три градации МЭД: слабая – до 0.5 мР/ч, средняя - 0.5-1.0 и относительно высокая – более 1. Оценка уровня радиационного фона была проведена с помощью дозиметра дозиметра-радиометра МКС-01СА1М: измерения мощности МЭД проводили на почве и на высоте 1 м дозиметром ДРГ - 01Т с точностью до 0,001 мР/ч с округлением средних данных до 0.01 мР/ч. При определении плотности загрязнения ($\text{Ки}/\text{км}^2$) использовались данные Госкомгидромета и результаты гамма - спектрометрических анализов образцов почвы. Определение активности гамма-излучающих радионуклидов в пробах осуществляли на универсальном спектрометрическом комплексе «Гамма Плюс» с программным обеспечением «Прогресс 2000».

Рассчитывали коэффициенты накопления (КН) как отношение концентрации ТМ в биологическом материале к концентрации его в почве (как отношение удельной активности радионуклидов в плодовых телах грибов к удельной активности радионуклидов почве) [Лес. Человек. Чернобыль ..., 2006]. Коэффициент перехода (КП) представляет собой отношение удельной активности радионуклида в грибах ($\text{Бк}/\text{кг}$) к плотности загрязнения почвы ($\text{Бк}/\text{м}^2$).

Определение стабильности развития *Betula pendula* по показателям флуктуирующей асимметрии листовых пластинок осуществлена по стандартной методике.

Анализ результатов исследований для биомассы, ТМ и РН осуществлен статистическими методами с использованием пакета MS Excel 2010 [Зайцев, 1973, 1984, 1990; Плохинский, 1978; Лакин, 1990; Пузаченко, 2004]. При обработке полученной информации применялись следующие статистические показатели: одномерный анализ вариационных рядов (средние величины признака и их ошибки ($M \pm m$), точности опыта (р, %), Достоверность оценивали по Стьюденту (t) (P=95%).

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Роль живого напочвенного покрова лесных экосистем в накоплении и поглощении элементов группы тяжелых металлов

Первый поглотитель токсикантов аэротехногенного поступления – древесный ярус лесных сообществ.

Изучены особенности распределения 12 ТМ в почвах, листве и живом напочвенном покрове лесных экосистем при различной рекреационной и техногенной нагрузке в Брянской области. Данные приведены для однотипных сосняков разнотравных на территории рекреационных зон г. Брянска (лесопарк «Роща Соловьи»), г. Новозыбкова (Карховский лес).

Результаты химического анализа почвы, листвы и подстилки отражены в табл. 1.

Почвы лесопарка «Роща Соловьи» более обогащены тяжелыми металлами, чем почвы Карховского леса, что связано с генезисом почвообразующих пород.

Таблица 1 – Валовое содержание ТМ ($M \pm m$, мг/кг) в почве, листве и подстилке лесных экосистем

Элемент	Почва		Листва и подстилка	
	г. Брянск	г. Новозыбков	г. Брянск	г. Новозыбков
Sr	97,4±0,93	96,9±1,12	92,1±1,11	133,55±1,36
Pb	78,65±0,43	59,6±0,31	60,65±0,37	11,25±0,22
As	21,4±0,23	15,85±0,16	17,9±0,17	9,25±0,13
Zn	79,95±1,03	117,25±1,17	437,45±2,15	101,5±1,20
Cu	31,25±0,45	22,8±0,31	49,7±0,47	42,15±0,43
Ni	38,95±0,42	30,15±0,41	35,7±0,57	19,0±0,30
Co	6,45±0,10	0	0	5,3±
Fe	1838,15±23,18	31595,65±27,88	7022,15±17,19	2232,5±15,10
Mn	945,5±13,46	2874,0±13,11	127,0±1,98	130,4±2,09
Cr	69,6±0,72	66,45±0,48	50,7±0,35	46,8±0,36
V	76,4±0,63	49,25±0,57	22,85±0,36	35,0±0,54
Ti	4942,6±25,71	3756,5±19,04	1,65	0

КН отражены на рисунке 1.

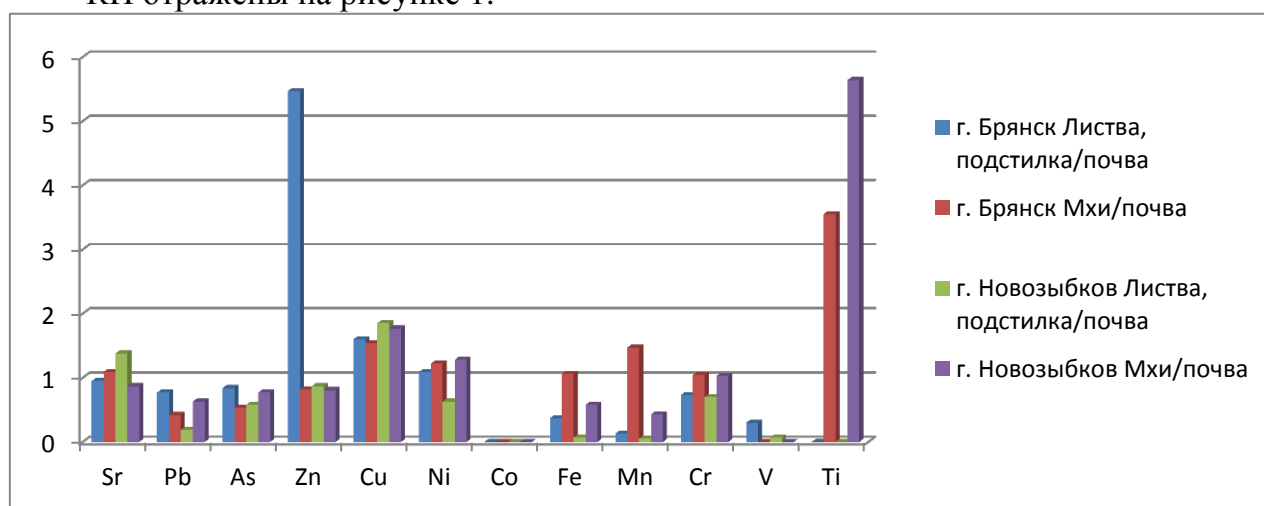


Рисунок 1 – Коэффициенты накопления элементов группы тяжелых металлов в лесных экосистемах

Накопительная способность листвы и подстилки выше в сосняках разнотравных Карховского леса. Для Zn накопительная способность выше в лесопарке «Роща Соловьи». Не накапливаются кобальт, ванадий и титан. Хорошо накапливается медь, стронций и никель. На исследуемых территориях моховой покров не столь резко отличается по накоплению тяжелых металлов: мышьяка, хрома и титана. Содержание свинца в видах мохового покрова на исследуемых участках примерно одинаково. Валовое содержание стронция и никеля больше в пробах мохообразных лесопарка «Соловьи», свинца и, особенно, цинка – в Карховском лесу. В целом повышенное содержание этих элементов в различных видах мхов отмечается в Карховском лесу.

Несмотря на значительное накопление элементов-загрязнителей в моховом покрове, вклад этого компонента в общее загрязнение лесного ценоза токсикантами невелик. Это связано с небольшими по сравнению с другими растительными ярусами запасами фитомассы мохового покрова в исследуемых экосистемах.

Для установления содержания ТМ в почве, лесной подстилке, моховом покрове и древесном ярусе пробные площади были заложены на расстоянии в 2,4 и 6 км в

лесных биогеоценозах окрестностей ЗАО «Мальцовский портлантцемент» (Брянская область), самого крупного загрязнителя воздуха на территории Брянской области.

В образцах почвы ни весной, ни осенью не зарегистрировано превышение ОДК по цинку, меди, марганцу, ванадию, мышьяку. Валовое содержание свинца выше ОДК только в образцах верхнего слоя почвы осенью, содержание никеля – в нижнем слое почвы весной. Наибольшая валовая концентрация стронция, меди, железа, ванадия, титана отмечена в нижнем слое почвы весной, цинка, марганца – в верхнем слое почвы осенью. Во всех образцах почвы выявлен кобальт.

В пробах почвы на ПП (расстояние от предприятия) валовая концентрация свинца, мышьяка, цинка, марганца, ванадия не превышает ОДК. Валовое содержание никеля во всех образцах почвы выше ОДК. Наибольшая концентрация стронция определена в верхнем и нижнем слое почвы весной, свинца, цинка, меди – в верхнем слое почвы осенью, железа и хрома – в верхнем слое почвы весной, титана – в нижнем слое почв осенью.

В образцах опавшей листвы – неперегнившей весной и свежих опавших листьях осенью определены следующие концентрации ТМ. Во всех образцах валовая концентрация цинка, меди превышает ОДК и определен кобальт. Валовое содержание свинца, никеля и марганца ниже ОДК. Для двух лесных экосистем динамика валовых концентраций ТМ сходна. Содержание стронция, свинца, мышьяка, хрома в листве выше в осенних пробах. Содержание цинка, меди, никеля, железа и марганца больше в весенних пробах. Древесина – наименее загрязнённый компонент древостоя.

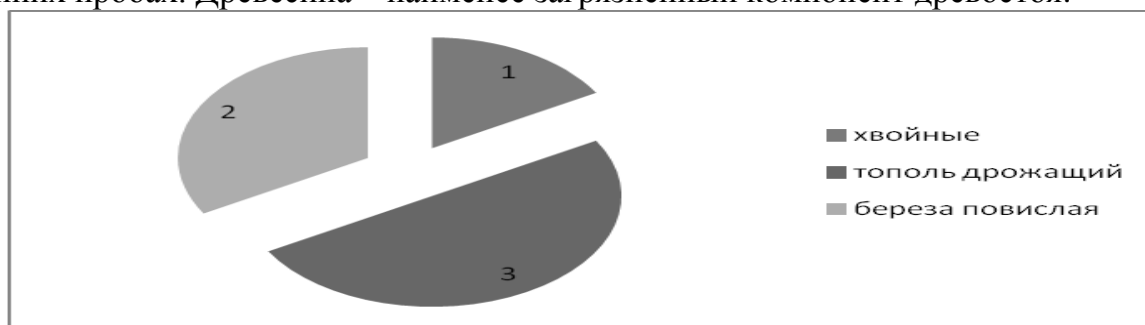


Рисунок 2 – Содержание свинца, цинка и меди в древесине (долевое соотношение)

В целом исследованные древесные виды по уровню содержания свинца, мышьяка, меди, цинка, железа, марганца, древесины составляют убывающий ряд: осина > берёза > сосна; стронция, кобальта, хрома: берёза > осина > сосна.

В древесном ярусе, сложенном из деревьев хвойных и лиственных, максимальные уровни накопления отмечаются для цинка и меди, а также марганца и минимальные для никеля и кобальта на ПП (4 км от предприятия). В древесине липы сердцелистной максимальная концентрация наблюдается для цинка и меди, минимальная – для свинца, средняя – для стронция в образцах на ПП удалённостью в 2 и 4 км. В крупных ветках липы сердцелистной наблюдается повышенное валовое содержание цинка, меди и стронция в пробах площадки 2 км.

Для видов растений относительно однородное распределение характерно для кобальта. На всех ПП и в образцах наибольшая концентрация стронция зарегистрирована в мелких ветках сосны обыкновенной и во внутренней коре липы сердцелистной.

При анализе содержания ТМ в побегах текущего года (прирост) выявлено превышение ОДК валового содержания свинца, цинка, марганца на всех ПП и местах отбора проб у лиственных и хвойных видов. Максимальную концентрацию ТМ имеют

молодые, физиологически активные органы (хвоя и побеги текущего года). Наибольшая концентрация свинца ($63,55 \pm 5,67$) отмечена на площадке 2 км для хвои сосны лесной (рис. 3-6).

На пробной площадке в 6 км высокое содержание свинца, меди и цинка в шишках и коре сосны обыкновенной и ели европейской. Распределение валовой концентрации всех ТМ в надземной части хвойных видов сходно: максимальное содержание имеют кора наружная и камбий, минимальное – древесина (все пробные площадки).

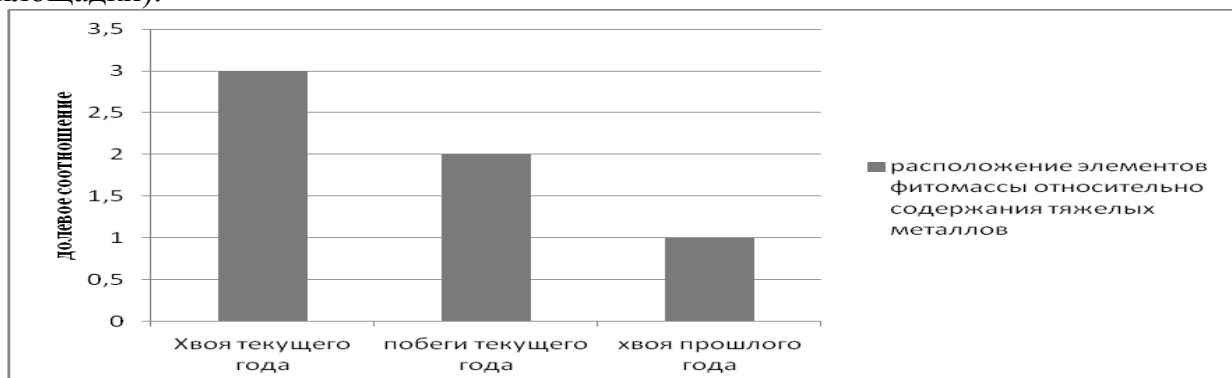


Рисунок 3 – Содержание ТМ в побеговой биомассе (сосна обыкновенная и ель европейская)

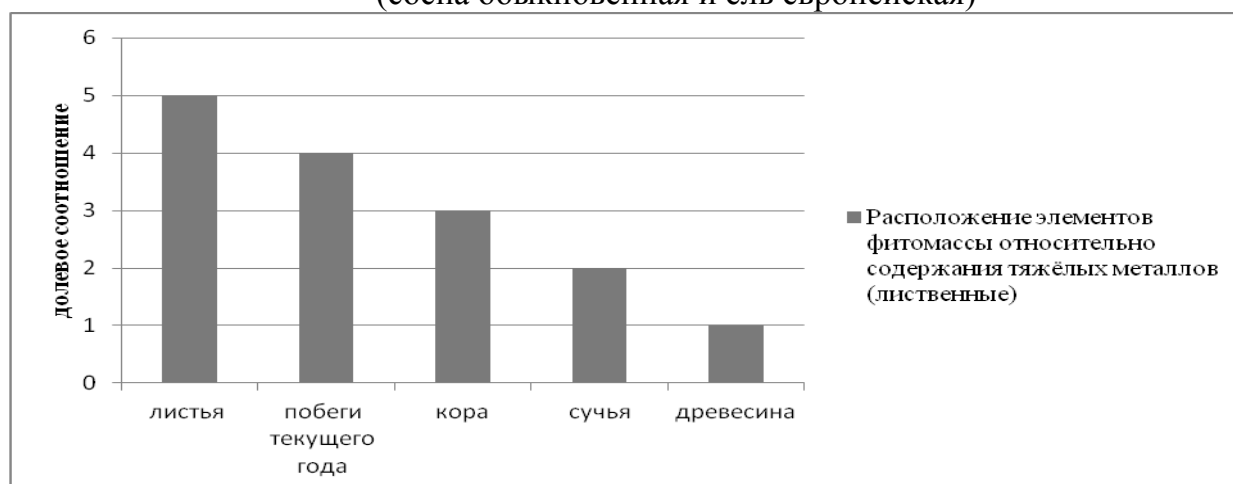


Рисунок 4 – Содержание ТМ в побеговой биомассе (лиственные виды)



Рисунок 5 – Валовое содержание свинца, цинка, железа, марганца, меди (пробные площадки в 2 и 4 км от предприятия) в компонентах побега сосны обыкновенной

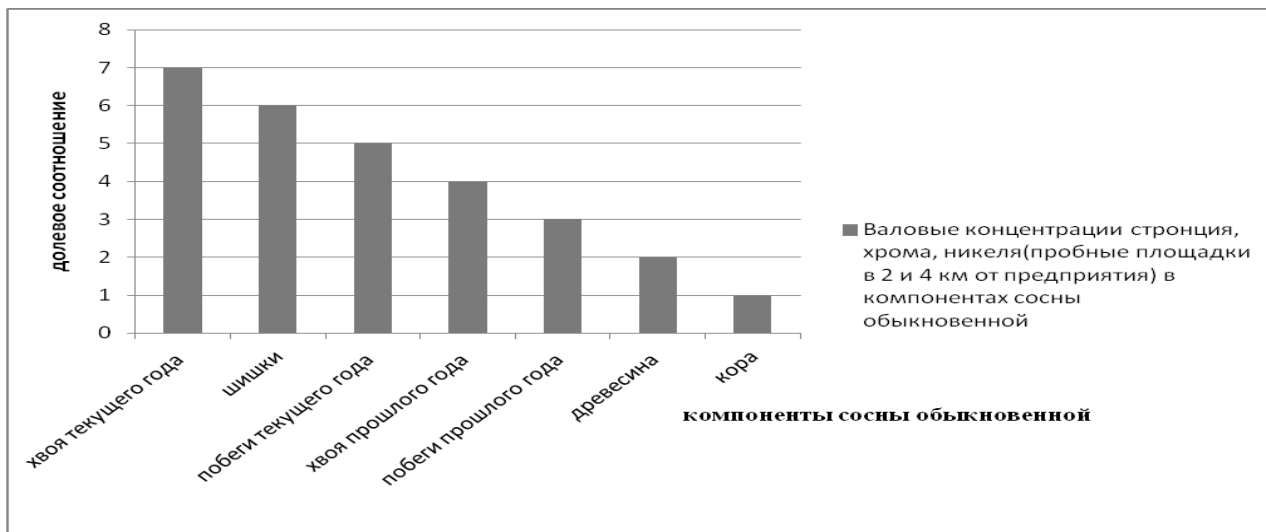


Рисунок 6 – Валовые концентрации стронция, хрома, никеля (пробные площадки в 2 и 4 км от предприятия) в компонентах побега сосны обыкновенной

Итак, концентрация ТМ в компонентах древостоев зависит от вида и возраста. В целом совокупный анализ содержания и распределения ТМ в древесном ярусе показал, что структурами, характеризующимися максимальным накоплением всех элементов-загрязнителей, являются прирост – ассимилирующие органы текущего года формирования и внутренние слои коры. Минимальное количество всех элементов накапливается в древесине. Современное загрязнение ТМ исследуемых лесных сообществ в большей степени обусловлено аэротехногенным путем.

Результаты проведенных исследований позволяют подбирать компоненты фиторемедиационных мероприятий в условиях сильного техногенного загрязнения. Компоненты живого почвенного покрова лесных экосистем обладают свойством быстро восстанавливаться при нарушении (или изъятии).

4.2 Накопление радионуклидов в фитомассе лесных экосистем

Результаты исследований показали, что древесина является наименее загрязненным компонентом древостоя. Удельная активность ^{137}Cs в древесине мягколиственных пород значительно выше, чем хвойных: у осины – почти в 3 раза, берёзы до 2 раз по сравнению с сосной. Загрязненность окоренной древесины осины даже в зоне с плотностью загрязнения почвы 1-5 Ки/км² может превышать допустимые уровни (ДУ) содержания ^{137}Cs в древесине, используемой для строительства жилья (370 Бк/кг) в соответствии с санитарными правилами СП 2.6.1.759-99. Удельная активность ^{137}Cs в древесине берёзы превышает вышеуказанный ДУ в зонах с плотностью загрязнения почвы свыше 5 Ки/км² и в древесине сосны – в зонах свыше 15 Ки/км². Однако даже в зоне с плотностью загрязнения 5-15 Ки/км² удельная активность древесины сосны в отдельных случаях может превышать ДУ (370 Бк/кг), поэтому заготовка этой древесины в данной зоне загрязнения и использование её для строительства жилья возможно лишь при обязательном радиационном контроле (рис. 7).

В целом исследованные древесные породы по уровню загрязнения ^{137}Cs древесины составляют убывающий ряд: осина > берёза > сосна.

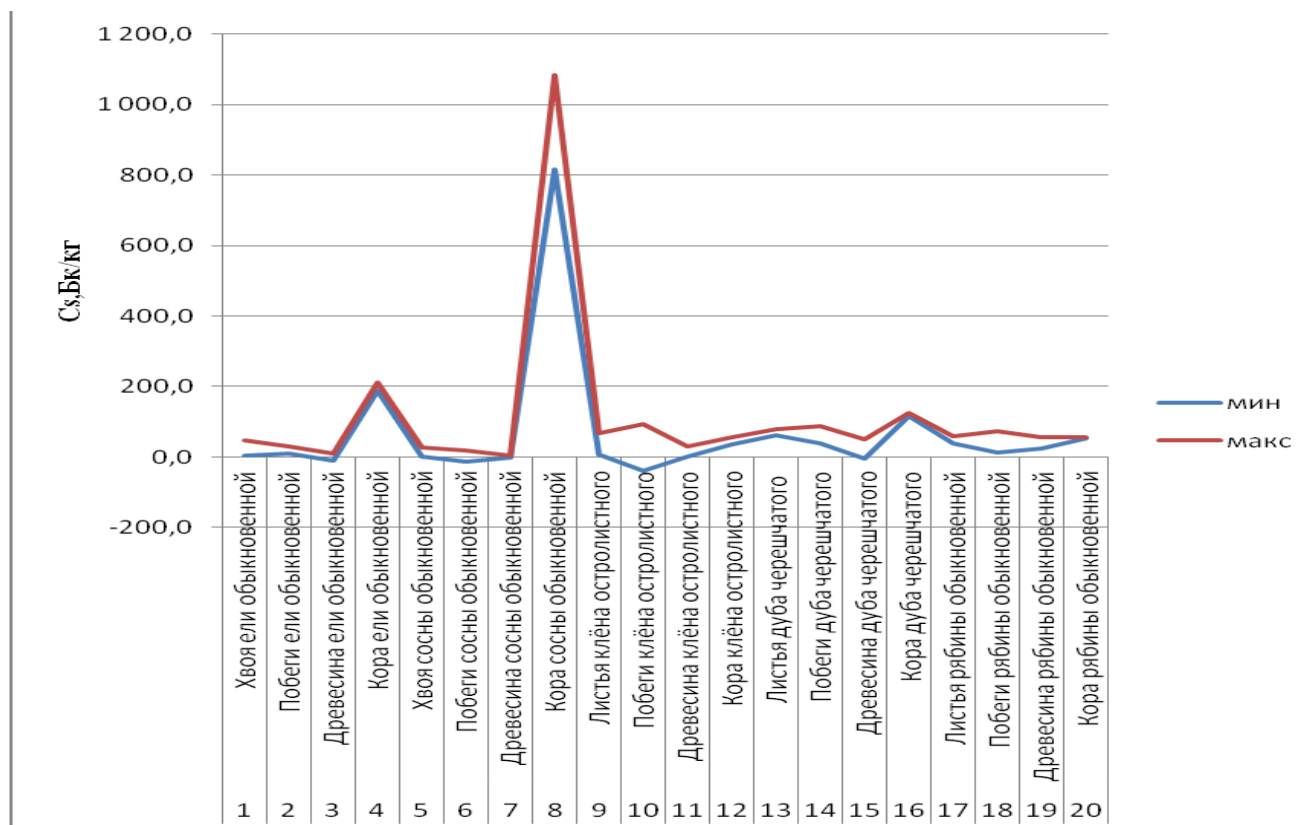


Рисунок 7 – Содержание ^{137}Cs в побегах, древесине, коре, хвое, листьях хвойных и лиственных видов деревьев

Закономерности радиоактивного загрязнения лесов заключаются в следующем. В данных по накоплению ^{137}Cs основными лесообразующими породами в целом просматриваются следующие тенденции. В большинстве случаев хвойные породы (сосна и ель) отнесены к менее накапливающим, лиственные породы (осина, берёза, дуб) – к более накапливающим. Ольха чёрная на гидроморфных почвах относится к сильно накапливающим, а в более сухих условиях – к слабо накапливающим.

Распределение ^{137}Cs в компонентах древостоев зависит от степени их пролиферации. Максимальную концентрацию ^{137}Cs имеют молодые, физиологически активные органы (хвоя и побеги текущего года), наименьшую – древесина. В последние годы по удельной активности ^{137}Cs элементы фитомассы располагаются в следующей последовательности: у хвойных – хвоя текущего года > побеги текущего года > хвоя прошлого года > окорённая древесина; у лиственных – листья > побеги текущего года > кора > сучья > древесина.

Таким образом, по результатам радиационного исследования установлено, что наибольшее количество ^{137}Cs аккумулируют кора, листья и хвоя древесных растений, наименее загрязнена древесина. В полученных данных по накоплению ^{137}Cs основными лесообразующими породами в целом просматриваются следующие тенденции. В большинстве случаев хвойные породы (сосна и ель) отнесены к менее накапливающим, лиственные породы (осина, берёза, дуб) – к более накапливающим.

В Новозыбковском лесничестве в сосняках зеленомошных на 3 ПП в зоне с плотностью загрязнения почвы от 15 до 40 Ки/км² не установлено прямой зависимости удельной радиоактивности всех компонентов древостоев от плотности загрязнения почвы ^{137}Cs . У компонентов побегов (хвои и побегов текущего и прошлого годов) наблюдается положительная корреляция их удельной активности с плотностью загрязнения почвы. У консервативных многолетних компонентов (древесины и коры)

такой зависимости не наблюдается – большее влияние оказывает возраст. Отмечена различная динамика удельной активности в зависимости от размеров деревьев. Загрязненность ^{137}Cs коры, побегов текущего года и шишек на обеих ПП закономерно возрастает с увеличением диаметра и высоты деревьев. У других компонентов (древесины, хвои, побегов текущего года) связь между их удельной активностью и размерами деревьев носит более сложный характер.

На ПП при меньшей плотности загрязнения почвы ($24,7 \text{ Ки/км}^2$) по сравнению с другими модельными деревьями кора, побеги, шишки наиболее загрязнены ^{137}Cs у крупных деревьев, древесина и хвоя – у деревьев средних размеров. Наименьшая удельная активность древесины, коры, хвои, побегов зафиксирована у самых мелких деревьев. На ПП с большей плотностью загрязнения почвы ($32,1 \text{ Ки/км}^2$) наибольшая удельная активность коры, хвои и побегов текущего года, шишек наблюдается у самых крупных деревьев, а древесины, хвои и побегов текущего года – у самых мелких деревьев. Наименее загрязнены ^{137}Cs , по сравнению с другими модельными деревьями, древесина и побеги прошлого года у самых крупных деревьев, хвоя и шишки – у деревьев средних размеров, кора и побеги текущего года – у самых мелких деревьев.

Наиболее загрязненными компонентами на всех ПП – хвоя и побеги текущего года у сосны лесной, наименее – древесина. Значительно загрязнены ^{137}Cs шишки. Меньше загрязнены радионуклидами кора, хвоя прошлого года, побеги прошлого года. Удельная активность ^{137}Cs в компонентах сосны значительно различается у разных деревьев даже в пределах одного участка.

Наибольшей вариабельностью на всех ПП характеризуется удельная активность хвои текущего года, побегов текущего года ($v = 44\%$) и хвои прошлого года ($v = 42,3\%$), что соответствует очень высокому уровню изменчивости ($v > 40\%$). Высокий уровень изменчивости ($v = 21 - 40\%$) отмечен на всех ПП у побегов прошлого года ($v = 38,2\%$), у коры ($v = 31,1\%$) у хвои прошлого года ($v = 29,9\%$). Наименьшей вариабельностью на всех ПП отличается удельная активность древесины ($v = 17,2\%$) и шишек ($v = 20,1\%$). Мало зависит от возраста вариабельность удельной активности древесины, шишек и хвои текущего года.

Для практического использования важно знать соотношение между максимальными и минимальными уровнями загрязнения различных компонентов древесного яруса сосновых фитоценозов в пределах одного участка. Соответственно уровню изменчивости, наибольшее соотношение между максимальным и минимальным значениями наблюдается у хвои текущего года, наименьшее – у древесины и у шишек.

Однако по отдельным ПП этот убывающий ряд выглядит несколько иначе: на ПП № 9 ($24,7 \text{ Ки/км}^2$, возраст сосны 60 лет) – побеги текущего года > хвоя текущего года > шишки > хвоя прошлого года > кора > побеги прошлого года > древесина. На ПП № 11 ($32,1 \text{ Ки/км}^2$, возраст 72 года) – хвоя текущего года > побеги текущего года > шишки > побеги прошлого года > хвоя прошлого года > кора > древесина. Как видно, во всех выше перечисленных рядах стабильное положение занимают шишки и древесина. Место других компонентов может незначительно меняться в зависимости от условий увлажненности и возраста деревьев. Ученые Института леса НАН РБ (194) элементы фитомассы у хвойных по удельной активности ^{137}Cs располагают в следующей последовательности: хвоя текущего года > побеги текущего года > хвоя прошлогодняя > кора > сучья окоренные > древесина, что согласуется с нашими данными для автоморфных почв (рис. 8).

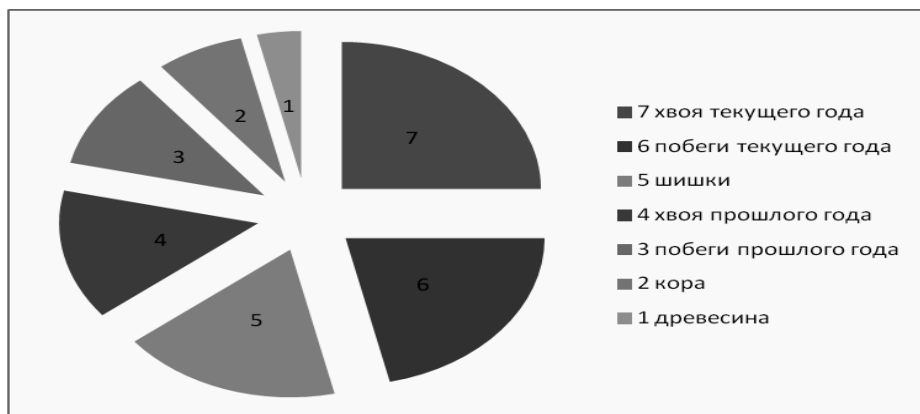


Рисунок 8 – Убывающая последовательность удельной активности ^{137}Cs

Соотношение удельной активности компонентов значительно варьирует в пределах одного участка у деревьев разных классов роста по Крафту. Самая высокая относительная загрязненность ^{137}Cs по отношению к удельной активности древесины (в 49,13 раза) отмечена у хвои текущего года деревьев I класса роста. В целом на всех ПП по сравнению с другими модельными деревьями наибольшую относительную загрязненность по большинству компонентов имеют деревья I класса роста. Таким образом, наибольшую радиоактивность имеют органы, состоящие из пролиферирующих тканей (меристем). Cs является аналогом калия, который особенно активно накапливается в клетках меристемных тканей, что повышает риск возникновения соматических и генеративных мутаций за счет внутреннего облучения, несмотря на снижение поглощенной дозы от внешнего облучения, т.е. возрастает вероятность проявления кумулятивного эффекта ионизирующей радиации.

Связь удельной активности компонентов древесного яруса с диаметром деревьев приведены на рисунках 9-10.



Рисунок 9 – Анализ связи удельной активности компонентов древесного яруса с диаметром деревьев у сосны обыкновенной

($A_2, 24,7 \text{ Ки/км}^2$) в Новозыбковском уч.лесничестве в сентябре 2014 г.

Корреляционный анализ связи удельной активности ^{137}Cs компонентов древесного яруса сосны с диаметром деревьев в целом подтвердил тенденции, выявленные при рассмотрении абсолютных и относительных показателей. В целом на автоморфных почвах преобладает положительная зависимость компонентов древесного яруса и диаметром деревьев.

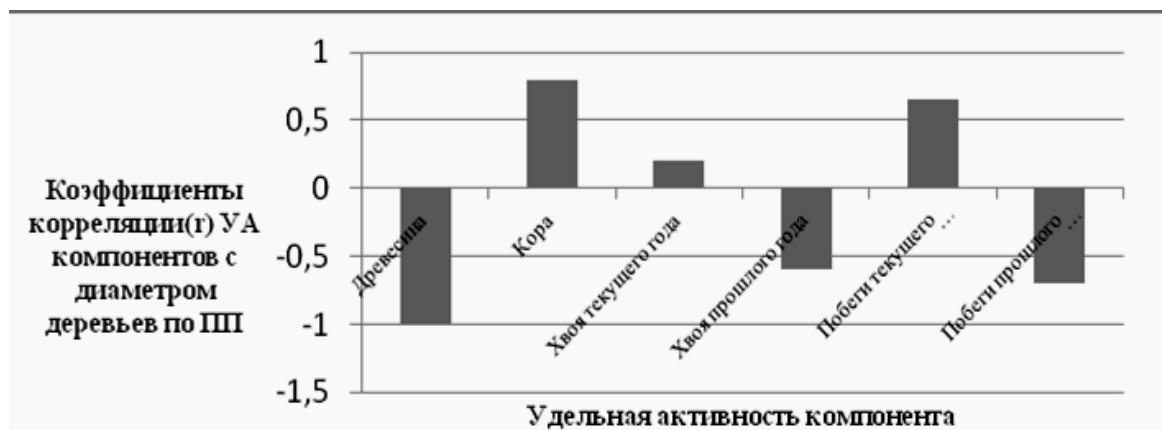


Рисунок 10 – Анализ связи удельной активности компонентов древесного яруса с диаметром деревьев у сосны обыкновенной (A_2 , 32,1 Ки/км²) в Новозыбковском уч.лесничестве в сентябре 2014 г.

Примечание: для $r > 0,934$ $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 95\%$, для $r > 0,986$ $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 99\%$.

Связь удельной активности компонентов древесного яруса сосновых фитоценозов с возрастом деревьев лишь в 2 случаях носит закономерный характер (рис.11-12): у коры на ПП № 9 $r = + 0,939$, $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 95\%$ и у древесины на ПП № 11 $r = - 0,995$, $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 99\%$. Лишь у коры и побегов текущего года связь имеет устойчивую направленность и значительную тесноту, хотя только на уровне тенденции у побегов на обеих ПП ($r = + 0,837$ на ПП № 9 и $r = + 0,659$ на ПП № 11, $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ даже при $P = 95\%$) и у коры на ПП № 11 ($r = + 0,797$, $t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$ при $P = 95\%$).

У остальных компонентов зафиксирована противоположная направленность связи с возрастом модельных деревьев. В целом на автоморфных почвах связь удельной активности компонентов древесного яруса сосняков с возрастом деревьев носит менее определенный и менее тесный характер, чем связь с диаметром.



Рисунок 11 – Анализ связи удельной активности компонентов древесного яруса с возрастом деревьев у сосны (A_2 , 24,7 Ки/км²) в Новозыбковском уч.лесничестве в сентябре 2014 г.

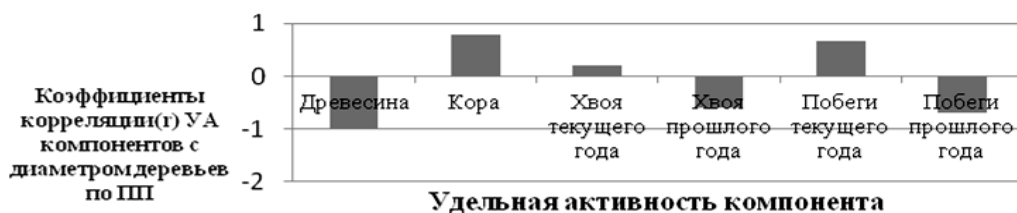


Рисунок 12 – Анализ связи удельной активности компонентов древесного яруса с возрастом деревьев у сосны (A_2 , 32,1 Ки/км²) в Новозыбковском уч.лесничестве в сентябре 2014 г.

Примечание: для $r > 0,934$ $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ при $P = 95\%$.

Результаты исследований (2014 г.) показали, что в соответствии с санитарными правилами СП 2.6.1.759-99 при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs от 15,1 до 40 Ки/км² не допустимо использование древесины сосны для строительства жилья (допустимый уровень содержания ^{137}Cs (ДУ) – 370 Бк/кг), однако возможна вывозка древесины в неокоренном виде (ДУ – 11100 Бк/кг в коре) и использование древесины для изделий из дерева, используемых в производственных целях и вне жилых помещений (ДУ – 3100 Бк/кг), в жилых и общественных помещениях (ДУ – 2200 Бк/кг), а также на дрова (ДУ – 1400 Бк/кг). Заготовка охвоенных побегов сосны для изготовления хвойно-витаминной муки (ДУ содержания ^{137}Cs – 3100 Бк/кг) категорически запрещается.

Более интенсивное накопление радионуклида наблюдается в насаждениях III класса возраста, чем IV класса, особенно древесиной, корой и шишками. В целом наиболее интенсивно накапливают ^{137}Cs хвоя текущего года в насаждении IV класса возраста (Кп ^{137}Cs – 25,382) и побеги текущего года в насаждении III класса возраста (Кп ^{137}Cs – 22,621), меньше всего – древесина (на ПП № 9 – 1,407 и на ПП № 11 – 0,872).

Анализ распределения ^{137}Cs в компонентах древесного яруса сосновых лесов в зоне с плотностью загрязнения от 15,1 до 40 Ки/км² выявил зависимость их уровня загрязненности от возраста насаждений. Наиболее интенсивно накапливают ^{137}Cs активно растущие органы – хвоя и побеги текущего года, причем у них наблюдается положительная корреляция с плотностью загрязнения почвы. Наименьшее содержание ^{137}Cs – в древесине. В целом накопление ^{137}Cs древесиной, корой, шишками в 1,5 раза интенсивнее в насаждениях III по сравнению с насаждениями IV класса. При разработке технологий лесозаготовок и деревообработки необходимо учитывать и неравномерное распределение удельной активности у деревьев различных классов роста в пределах одного участка.

4.3 Расчет величины интегрального показателя стабильности развития березы повислой (*Betula pendula* Roth.)

Корреляционный анализ между величиной интегрального показателя стабильности развития березы повислой и мощностью эквивалентной дозы показал прямую сильную связь между этими факторами ($r = 0,78$). Полученный в результате регрессионного анализа данных коэффициент детерминации R^2 , равный 0,61, является достаточно высоким для такого рода исследований, и показывает, что на 61 % вариации показателя стабильности развития для березы повислой объясняются влиянием уровня радиационного фона (рис. 13). Связь между признаками достоверна и уравнение регрессии в полной мере отражает ее. Уравнение регрессии значимо, поскольку фактическое значение F-критерия = 15,84 и превышает табличное $F_{\text{табл}} = 0,003$ при уровне значимости 0,05.

Линейная регрессионная модель процесса имеет следующий вид:

$$y = 0,32812 + 0,0131X_1.$$

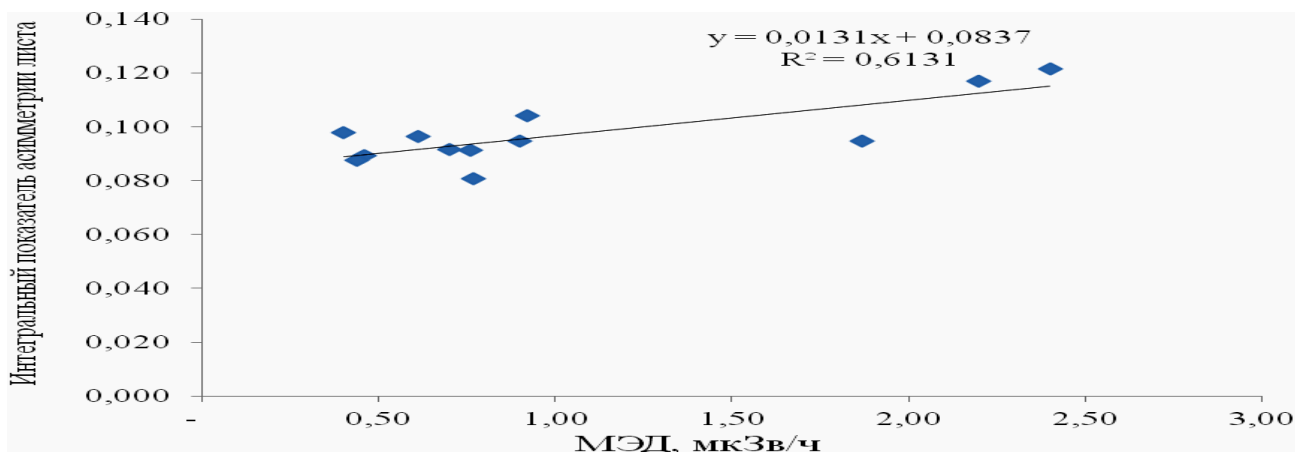


Рисунок 13 – Зависимость величины интегрального показателя стабильности развития березы повислой от мощности экспозиционной дозы

Таким образом, использование морфологических (флуктуирующая асимметрия) показателей уровня среднего стресса у березы повислой показало критическую оценку качества окружающей среды на всех контрольных площадках наблюдения. Сильная корреляционная связь между интегральным показателем стабильности развития березы повислой и уровнем радиационного фона свидетельствует о достаточно хорошей информативности данного метода биондикации и позволяет использовать его для оценки состояния среды на радиоактивно загрязненных территориях.

4.4 Оценка удельной активности ^{137}Cs и естественных радионуклидов в листьях березы повислой

Для установления влияния на величину флуктуирующей асимметрии листьев березы такого стрессового фактора, как инкорпорированные радионуклиды, была определена удельная активность ^{137}Cs и естественных радионуклидов в пробах листьев (табл.2).

Таблица 2 – Удельная активность ^{137}Cs и естественных радионуклидов в пробах листьев березы повислой на пробных площадках

№	Название точки	Удельная активность радионуклида (УА), Бк/кг ($M \pm m$)			
		^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
1	д. Барсуки	29,5±61,1	10,1±85,4	1,6±98,3	388,0±838
2	д. Заборье (окраина 1)	80,0±109	66±148	9,0±172	1181,0±533
3	д. Николаевка	41,9±67,8	88±101	10,0±108	108,0±875
4	д. Перелазы (окраина 1)	20,5±72,7	49±105	114,0±134	359,4±101,2
5	д. Перелазы (центр)	67,0±62,8	68,8±79	9,1±92,2	842,0±858
6	д. Перелазы (окраина 2)	136,0±115	157±141	21,0±167	1969,0±162,4
7	д. Летяхи (окраина 2)	15,1±68,1	11,4±99,9	10,0±117	186,0±945
8	д. Летяхи (окраина 1)	32,6±72,3	23,7±99,7	22,0±115	566,7±100,4
9	д. Летяхи (центр)	65,0±77,9	77±112	61,0±127	76,0±966
10	д. Кургановка (окраина 1)	62,4±72,7	27,8±95,4	25,0±111	173±902
11	д. Кургановка (центр)	72,1±82	114,0±107	64,0±131	554,4±106,2
12	д. Кургановка (окраина 2)	21,1±86,3	22,0±126	22,0±148	335,9±120,1

Удельная активность (УА) ^{137}Cs и естественных радионуклидов в пробах листьев березы повислой варьирует в достаточно широких пределах, причем наибольшая величина УА ^{137}Cs отмечается в пробе из д. Перелазы (окраина 2), расположенной в зоне невысокого радиоактивного загрязнения и сравнительно низкой мощности эквивалентной дозы.

Проведенный корреляционный анализ между величиной интегрального показателя стабильности развития березы повислой и удельной активностью радионуклидов в листьях показал практически отсутствие связи ($r = -0,18$) между этими показателями. В то же время уровень радиоактивных гамма-излучений в атмосфере менее зависимый от внешних условий фактор и после распада короткоживущих радионуклидов характеризуется относительной стабилизацией на радиоактивно загрязненных территориях. В связи с этим возможно успешное использование метода биоиндикации радиэкологического состояния атмосферного воздуха, основанного на определении величины флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой, как достаточно информативного признака.

4.5 Грибы как компоненты циклов миграций загрязнителей в лесных экосистемах

Удельная активность ^{137}Cs и ЕРН в исследуемых видах высших грибов, произрастающих на территории сочетанного радиационно-химического загрязнения в пределах Дятьковского района Брянской области, представлена в таблице 3.

Полученные значения УА ^{137}Cs в пробах грибов варьировали в широких пределах в зависимости от поверхностной активности радионуклида на почве, свойств почвы, погодных условий, биологического вида гриба и распределения грибного мицелия по почвенному профилю.

Таблица 3 – Удельная активность ^{137}Cs и ЕРН в исследуемых видах высших грибов (сухая масса) в 2012-2014 гг.

Вид грибов	УА, Бк/кг (M±m)			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
2012 г.				
<i>Lactarius pubescens</i>	5443±635	128,2±63,1	40,8±45,9	1068±502
<i>Lactarius necator</i>	1064±271	62,5±76,4	54,6±77,2	1291±777
<i>Suillus variegatu</i>	5558±666	127,4±77,6	31,4±57,3	1172±619
<i>Morchella conica</i>	4773±705	297±223	214±218	4102±1589
2014 г.				
<i>Lactarius necator</i>	2258±413	– *	–	2195±2076
<i>Russula sp.</i>	2540±422	126±179	–	746,3±1544
<i>Lactarius necator</i>	385±210	–	265±303	2483±2553
<i>Paxillus involutus</i>	5788±730	193±124	–	1056±941
<i>Paxillus involutus</i>	11310±1243	193,8±69,4	–	1360±513
<i>Suillus variegatu</i>	1558±988	21,0±66	773,2±1428	7372±11810
<i>Lactarius vellereus</i>	231,2±49,5	–	–	893±420
<i>Leccinum roseofractum</i>	428±137	96±133	34±145	1138±1301
<i>Boletus edulis</i>	281,7±85,7	23,2±76	43,0±89,3	932±827

Примечание. * – ниже предела обнаружения прибора

Все виды грибов не отвечают требованиям экологической безопасности, так как содержание ^{137}Cs в них превышает допустимые уровни СанПиН 2.3.2. 1078-01 (2500

Бк/кг сух. массы) в 1,02-4,5 раза. В исследуемых пробах грибов велика также удельная активность ^{40}K , особенно интенсивно данный радиоизотоп накапливает моховик желто-бурый, для которого характерна, в том числе, и высокая степень накопления ^{226}Ra и ^{232}Th . Таким образом, даже на территориях, плотность загрязнения которых ^{137}Cs составляет около 1-5 Ku/km^2 , уровни содержания радионуклида в плодовых телах макромицетов во многих случаях превышают допустимые уровни, в связи с чем необходим обязательный радиационный контроль дикорастущих грибов.

Варьирование УА ^{137}Cs в почвах на участках произрастания исследуемых видов грибов составляет 6,6 раза. Максимальным содержанием радионуклида характеризуется почва на участке произрастания моховика желто-бурого, сморчка конического и волнушки белой. Содержание ЕРН находится на уровне кларков исследуемых изотопов в данном регионе. Плотность загрязнения представлена на рисунке 14.

Коэффициенты накопления ^{137}Cs и ЕРН в плодовых телах исследуемых видов грибов представлены на рисунке 18. Максимальные коэффициенты накопления ^{137}Cs наблюдается в плодовых телах свинушки тонкой – 16 - 41, минимальные в плодовых телах белого гриба – 1,43, и груздя черного – 1,7-2,81. Высокой интенсивностью аккумуляции ^{137}Cs характеризуются также волнушка белая, сморчок конический и грибы рода *Russula*. Высокие коэффициенты накопления ЕРН наблюдаются в плодовых телах сморчка конического, моховика желто-бурого, волнушки белой и груздя черного.

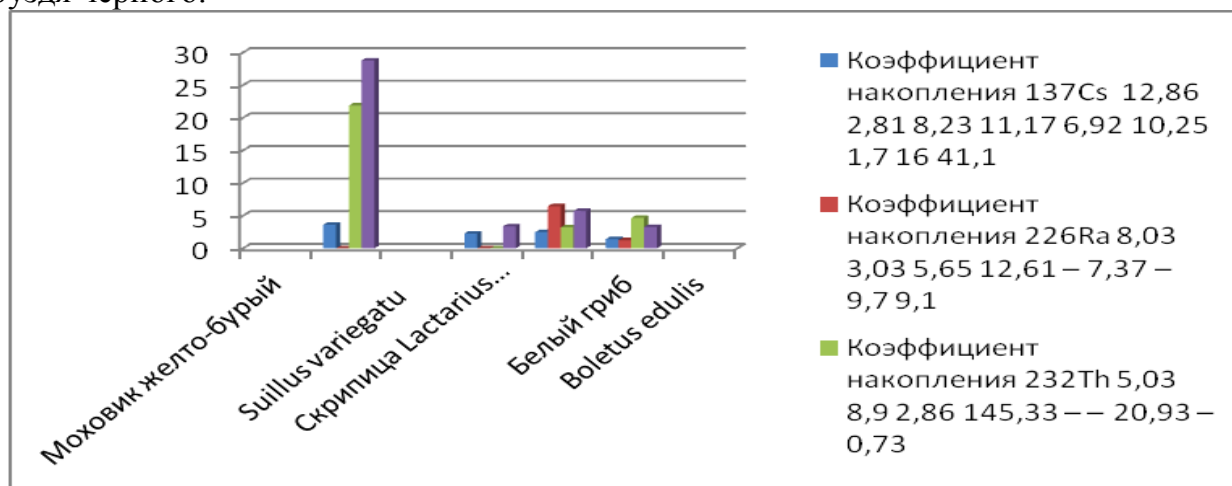


Рисунок 14 – Коэффициенты накопления ^{137}Cs и ЕРН в плодовых телах исследуемых видов высших грибов в 2012-2014 гг.

Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ЕРН в плодовые тела исследуемых видов грибов представлены на рисунке 15.

Наблюдается достаточно сильное варьирование K_p для ^{137}Cs . Максимальными K_p ^{137}Cs в плодовые тела характеризуются свинушка тонкая ($128-329 \text{ м}^2/\text{кг}\cdot 10^{-3}$), волнушка белая ($102,8 \text{ м}^2/\text{кг}\cdot 10^{-3}$) и сморчок конический ($89,4 \text{ м}^2/\text{кг}\cdot 10^{-3}$). Высокая интенсивность накопления радионуклида характерна также для грибов вида моховик желто-бурый ($29,1-65,8 \text{ м}^2/\text{кг}\cdot 10^{-3}$) и груздь черный ($13,6-55,3 \text{ м}^2/\text{кг}\cdot 10^{-3}$) [Ротарь, 2013; Ротарь, 2015].

Различия в значениях коэффициентов перехода из почвы в грибы обусловлены биологическими особенностями различных родов и семейств, степенью развитости и заглубления мицелия, микоризной приуроченностью к той или иной древесной породе, предрасположенностью к определённым местообитаниям, которые характеризуются различной степенью увлажненности, освещенности, разными агрохимическими свойствами почвы.

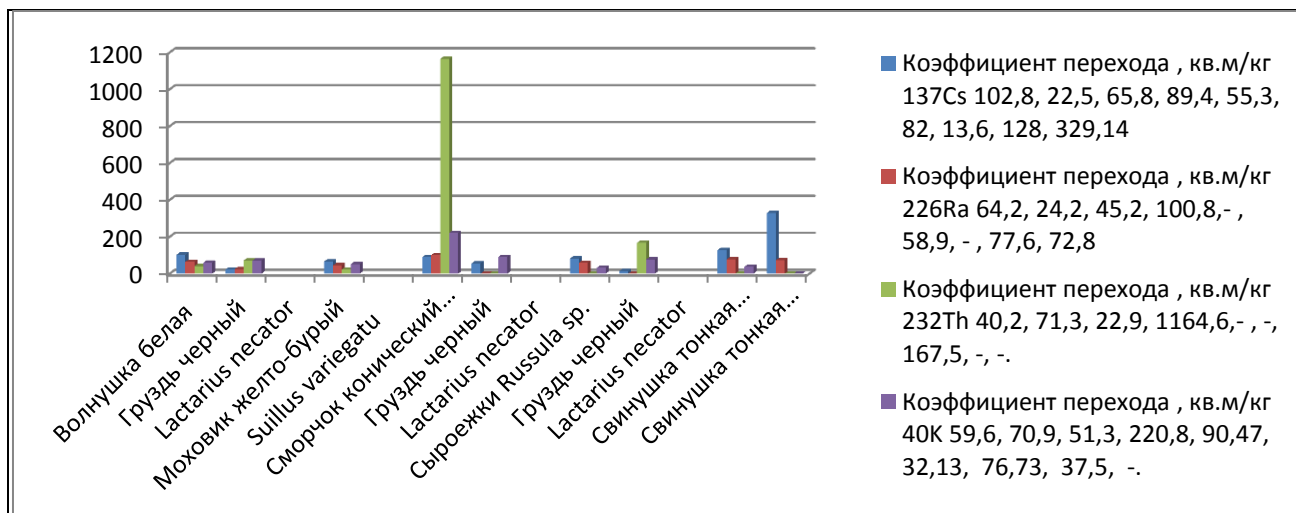


Рисунок 15 – Коэффициенты перехода ^{137}Cs ($\text{КП} \cdot 10^{-3}$, кв.м/кг) в плодовые тела грибов в 2012-2014 гг.

Микоризообразующие грибы характеризуются гораздо более высокими КП цезия-137 из почвы в грибы, чем сапротрофы. У микоризообразователей самые высокие КП были обнаружены у представителей рода *Paxillus*, которые растут как в сухих сосновых лесах на бедных песчаных почвах, так и на переувлажненных заболоченных почвах. Таким образом, в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения можно использовать грибы, наиболее интенсивно накапливающие радионуклиды – свинушку тонкую, волнушка белую, моховик желто-бурый, сморчок конический и грибы рода *Russula*.

Анализ радиоактивного загрязнения плодовых тел грибов показал, что максимальной удельной активностью ^{137}Cs характеризуются плодовые тела свинушки тонкой, моховика желто-бурого и волнушки белой – 11310, 5558 и 5443 Бк/кг соответственно. Минимальная удельная активность ^{137}Cs отмечена в белом грибе и скрипце. В исследуемых пробах грибов велика также удельная активность ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th , особенно интенсивно данные радионуклиды накапливает моховик желто-бурый. Максимальной плотностью загрязнения ^{137}Cs характеризуется почва на участке произрастания моховика желто-бурого, сморчка конического и волнушки белой – 84,4-53,6; 53,4 и 52,9 кБк/м^2 соответственно, однако четко выраженной связи между удельной активностью ^{137}Cs в грибах и почве не выявлено.

Максимальные $\text{Кн } ^{137}\text{Cs}$ наблюдаются в плодовых телах свинушки тонкой – 16 - 41, минимальные в плодовых телах белого гриба – 1,43 и груздя черного – 1,7-2,81. Высокой интенсивностью аккумуляции ^{137}Cs характеризуются также волнушка белая, сморчок конический и грибы рода *Russula*.

Максимальными $\text{Кп } ^{137}\text{Cs}$ в плодовые тела характеризуются свинушка тонкая ($128\text{-}329 \text{ м}^2/\text{кг} \cdot 10^{-3}$), волнушка белая ($102,8 \text{ м}^2/\text{кг} \cdot 10^{-3}$) и сморчок конический ($89,4 \text{ м}^2/\text{кг} \cdot 10^{-3}$). Данные виды относятся к аккумуляторам радиоактивного загрязнения. Высокая интенсивность накопления радионуклида характерна также для грибов вида моховик желто-бурый ($29,1\text{-}65,8 \text{ м}^2/\text{кг} \cdot 10^{-3}$) и груздь черный ($13,6\text{-}55,3 \text{ м}^2/\text{кг} \cdot 10^{-3}$). Следовательно, в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения можно использовать грибы, наиболее интенсивно накапливающие радионуклиды – свинушку тонкую, волнушка белую, моховик желто-бурый, сморчок конический и грибы рода *Russula*.

ВЫВОДЫ

1 Установлено, что в условиях радиоактивно-химического загрязнения максимальной удельной активностью ^{137}Cs характеризуются плодовые тела свинушки тонкой, моховика желто-бурого и волнушки белой; минимальная удельная активность ^{137}Cs отмечена в базидиомах белого гриба. В плодовых телах грибов велика также удельная активность ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th (базидиомы моховика желто-бурого). Выявлено отсутствие чётко выраженной связи между удельной активностью ^{137}Cs в базидиомах макромицетов.

2 Рассчитаны максимальные Кн для ^{137}Cs для плодовых тел свинушки тонкой, волнушки белой, сморчка конического как видов-аккумуляторов, минимальные – в плодовых телах белого гриба и груздя черного).

3 Установлено максимальное содержание ТМ: Pb – в плодовых телах подгруздка черного, белого гриба и рядовки майской, As – рядовки майской, белого гриба, подгруздка черного и моховика зеленого, Zn – сыроежки зеленой, моховика зеленого, рядовки зеленой, подгруздка черного и белого гриба, Cu и Ni – сыроежки Майра, подберезовика обыкновенного, дубовика крапчатого, белого гриба, рядовки майской и моховика зеленого. Биоиндикатор ТМ – Co, Cu, Zn и Sr – моховик зеленый.

4 Выяснено, что в моховом покрове территорий с сильной техногенной нагрузкой в максимальной степени накапливается Pb и Zn, в средней – Cu, Ni, Fe и Mn; показано взаимное влияние для таких элементов как Fe, Mn и Cu.

5 Показано, что в условиях техногенной нагрузки содержание свинца, цинка и меди в древесине мягколиственных видов значительно выше, чем у хвойных; древесные виды по уровню содержания Pb, As, Cu, Zn, Fe, Mn составляют ряд ряд: осина > берёза > сосна; Sr, Co, Cr – берёза > осина > сосна.

6 Исследовано, что валовая ТМ в компонентах древостоев зависит от вида и возраста, относительно содержания всех ТМ элементы фитомассы располагаются в последовательности: у хвойных (сосна обыкновенная и ель европейская) – хвоя текущего года > побеги текущего года > хвоя прошлого года; у лиственных – листья > побеги текущего года > кора > сучья > древесина.

7 Отмечено отсутствие прямой зависимости удельной радиоактивности всех компонентов древостоев от плотности загрязнения почвы ^{137}Cs ; у хвои и побегов текущего и прошлого годов наблюдается положительная корреляция их удельной активности с плотностью загрязнения почвы. Компоненты древесного яруса сосновых фитоценозов по удельной активности ^{137}Cs располагаются в последовательности: хвоя текущего года > побеги текущего года > шишки > хвоя прошлого года > побеги прошлого года > кора > древесина.

8 Выявлено, что наибольшее соотношение между максимальным и минимальным значениями концентрации радионуклидов наблюдается у хвои текущего года, наименьшее – у древесины и у шишек. более интенсивное накопление ^{137}Cs наблюдается в насаждениях III класса возраста, чем IV класса, особенно древесиной, корой и шишками.

9 Проведенный корреляционный анализ между величиной интегрального показателя стабильности развития березы повислой и удельной активностью радионуклидов в листьях показал практически отсутствие связи ($r = -0,18$) между этими показателями.

Практические рекомендации

1 В качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения рекомендовано использовать макромицеты: свинушка тонкую, волнушка белую, моховик желто-бурый, сморчок конический и грибы рода *Russula*, тяжёлыми металлами – моховик зелёный, сыроежка зеленая, свинушка тонкая, сыроежка Майра, подберезовик обыкновенный, дубовик крапчатый и подгруздок черный

2 Рассчитано, что интенсивно накапливают Fe и Mn сыроежка Майра, дубовик крапчатый и подберезовик обыкновенный. По интенсивности накопления ТМ выделено 3 группы: первую группу составляют грибы, наиболее интенсивно накапливающие тяжелые металлы – сыроежка Майра, подберезовик обыкновенный и дубовик крапчатый; вторую – грибы для которых характерна средняя интенсивность накопления ТМ – моховик зелёный, белый гриб и сыроежка зеленая; в третью группу включены грибы, для которых характерна невысокая степень накопления отдельных элементов группы ТМ – свинушка тонкая, подгруздок черный и рядовка майская.

3 Результаты проведенных исследований позволяют подбирать компоненты фиторемедиационных мероприятий в условиях сильного техногенного загрязнения.

4 В целом исследованные древесные виды по уровню загрязнения ^{137}Cs древесины составляют убывающий ряд: осина > берёза > сосна. Наибольшее количество ^{137}Cs аккумулируют кора, листья и хвоя древесных растений. Таким образом, эти данные рекомендовано учитывать при возможных лесозаготовительных работах.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК РФ

1 **Агапова (Брылова) А.А.**, Анищенко Л.Н. Накопление группы тяжёлых металлов в различных компонентах лесных экосистем территорий с различной техногенной нагрузкой // Вестник БГУ. Серия технические и естественные науки. № 4. 2013. Брянск, РИО БГУ, 2013. С. 54-57

2 **Агапова (Брылова) А.А.** Содержание элементов группы тяжелых металлов в компонентах лесных экосистем территорий с различной техногенной нагрузкой // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия «Естественные, технические и медицинские науки»: научный журнал. – Орёл: изд-во ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет». – 2013. – №6(56). С. 89-90.

3 Анищенко Л.Н., Сковородникова Н.А., Борздыко Е.В., **Агапова (Брылова) А.А.**, Ротарь Е.Ю. Особенности накопления макромицетами естественных радионуклидов в условиях сочетанного радиационно-химического загрязнения (на примере Брянской области) // В мире научных открытий. № 8.2 (68). 2015. С. 653- 673. [http: https://cloud.mail.ru/public/BHNm/5QMz6cont](http://cloud.mail.ru/public/BHNm/5QMz6cont)

Статьи в других научных изданиях

4 **Агапова (Брылова) А.А.** Роль лесных экосистем в поддержании материально-энергетического баланса биосферы (на примере лесных экосистем Брянской области) // Мониторинг биоразнообразия экосистем степной и лесостепной зон: материалы Всерос. науч.-практич. конференции (г. Балашов, 18—19 октября 2012 г.) / под ред. А. И. Золотухина. – Балашов: Николаев, 2012. – С. 7-10

5 **Агапова (Брылова) А.А.**, Анищенко Л.Н. Роль живого напочвенного покрова лесных экосистем в накоплении и поглощении элементов группы тяжелых металлов // Мониторинг биоразнообразия экосистем степной и лесостепной зон: материалы

Всерос. науч.-практич. конференции (г. Балашов, 18—19 октября 2012 г.) / под ред. А. И. Золотухина. — Балашов: Николаев, 2012. — С. 10-14

6 **Агапова (Брылова) А.А.**, Ротарь Е.Ю., Анищенко Л.Н. Консортивные связи грибов и высших растений // Сб. статей VI Междунар.научно-практ. конф. естественно-географического факультета (Россия, г. Брянск, 23 – 24 октября 2013 г.). – Брянск: Изд-во «РИО БГУ», 2013. С. 19-23

7 **Агапова (Брылова) А.А.** Миграция элементов группы тяжелых металлов в лесных сообществах (Брянская область) // Сборник статей VI Международной научно-практической конференции естественно-географического факультета (Россия, г. Брянск, 23 – 24 октября 2013 г.). – Брянск: изд-во «РИО БГУ», 2013. – С. 23-24

8 Агапова (Брылова) А.А., Анищенко Л.Н. Содержание элементов группы тяжёлых металлов в различных компонентах лесных экосистем территорий с различной техногенной нагрузкой // Матер. VI Междунар. научно-практич. конф. студентов и молодых ученых «Наука, образование, общество глазами молодых. Часть 2. Естественно-математический, общественно-гуманитарный и экономический направления, 14-15 мая 2013, г. Ровно. – С. 5-7.

9 **Агапова (Брылова) А.А.**, Ротарь Е.Ю. Консортивные связи грибов и высших растений // Экол.безоп. региона: Матер. V междунар. научн.-практ.конф. 24-25 окт. 2013. Брянск: РИО БГУ. – С. 19-23.

10 **Агапова (Брылова) А.А.** Исследования стрессоустойчивости лесов, индуцированной хроническим радиоактивным загрязнением в зоне отчуждения ЧАЭС // Биоразнообразии и антропогенная трансформация природных экосистем : матер. Всерос. науч.-практич. конф. (г. Балашов, 16—17 октября 2014 г.) / под ред. А. И. Золотухина. — Саратов: Саратовский источник, 2014. – С. 6-9.

11 **Агапова (Брылова) А.А.**, Емельяшина Е.В., Митрошина Н.Г. Радиоэкологическое состояние атмосферы (на примере Брянской области) // Проблемы и перспективы развития современной России: мнения нового поколения. Матер. 1-й научно-практич. конф. студентов (25 марта 2015 г. г. Брянск) Том 1/ Под ред. Коньшаковой С.А., Будановой М.В. – Брянск: БГИТА, 2015. – С. 71-76.

12 **Брылова А.А.**, Лёгкая В.В., Гайворонская А.А., Павловская Е.А. Макромицеты и их биоиндикационное значение как фоновых природных ресурсов // Комплексное использование природных ресурсов», республ. конф., сб. научных трудов (8 декабря 2016 г., Донецк) / ред. М.Н. Шафоростова, В.Н. Артамонов, Д.А. Козырь - Донецк, ДонНТУ, 2016. –С. 9-13.

13 **Брылова А.А.**, Анищенко Л.Н. К изучению накопительной способности компонентов лесных биоценозов по отношению к радионуклидам (на примере Брянской области) // Современные проблемы обеспечения экологической безопасности: Сб. матер. Всерос. очно-заочной научно-практич. конф. с междунар. – г. Орёл, 16 мая 2017 г. – Орёл: РИО ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2017. – С. 54-59.

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Подписано в печать . . . 2018 г. Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. – 1,0. Тираж – 100 экз. Заказ №. 37

РИО Брянского государственного университета

имени академика И. Г. Петровского

241036, Брянск, Бежицкая, 14

Отпечатано в цехе РИО БГУ