

На правах рукописи

Ю. Замятина

Замятина Юлия Леонидовна

**ИЗУЧЕНИЕ ИСТОРИИ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В
ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ОСНОВЕ F- РАДИОГРАФИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ДЕРЕВЬЕВ
(на примере Красноярского края и Центральной Европы)**

25.00.36 – Геоэкология

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Томск – 2008

Работа выполнена в Томском политехническом университете на кафедре геоэкологии и геохимии Института геологии и нефтегазового дела.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Рихванов Леонид Петрович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Мананков Анатолий Васильевич,
Томский государственный архитектурно-
строительный университет, г. Томск

доктор геолого-минералогических наук,
профессор Голева Рита Владимировна,
Всероссийский научно-исследовательский
институт минерального сырья
им. Н.М.Федоровского, г. Москва

Ведущая организация: Институт геологии и минералогии СО РАН,
г. Новосибирск

Защита диссертации состоится «23» декабря 2008 г. в 14.00 на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.07 при Томском политехническом университете по адресу: 634050, г. Томск, ул. Советская, 73, 1 корпус ТПУ, ауд. 111.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 53.

Автореферат разослан «21» ноября 2008 г.

Ученый секретарь совета по защите
докторских и кандидатских
диссертаций Д 212.269.07
д.г.-м.н, профессор



С.И. Арбузов

Общая характеристика работы

Актуальность темы. В настоящее время, в связи с возрастающей потребностью общества в наращивании энергетических мощностей, в том числе за счет увеличения доли атомной энергетики и сопутствующим этому процессу поступлением радионуклидов в окружающую среду, не теряют своей значимости радиоэкологические исследования, как составляющая часть эколого-геохимического мониторинга. Для оценки динамики накопления радионуклидов в окружающей среде необходимым условием является достоверная информация об их поступлении не только в настоящем, но и в прошлом. Для получения данных о поступлении радионуклидов в природные объекты в прошлом необходимо проводить ретроспективный анализ изменения радиогеохимической обстановки, то есть восстановить историю поступления радионуклидов в окружающую среду за длительные интервалы времени на конкретных территориях.

При проведении ретроспективных исследований особый интерес представляют стратифицированные объекты, под которыми понимаются последовательно образующиеся во времени регистрирующие структуры. Классическим и наиболее широко распространенным примером таких структур служат годовые кольца деревьев. Анализируя элементный состав годовых колец деревьев можно восстановить историю различных изменений окружающей среды, в том числе и динамику радиогеохимической обстановки (Tout R.E. et al., 1977; Negemeyer, 2000; Рихванов и др., 1997, 2002, 2007; Архангельская, 2004). Элементный состав годовых колец можно изучать с использованием различных методов. Достаточно полную информацию о распределении радионуклидов в исследуемых объектах дают методы радиографии, среди которых особое место занимает метод осколочной радиографии (*f*-радиографии), являющийся уникальным методом определения группы делящихся радионуклидов (радионуклиды, делящиеся при воздействии тепловых нейтронов – $^{233,235}\text{U}$, $^{239,241}\text{Pu}$, $^{241,242}\text{Am}$) в самых различных объектах.

Применение метода *f*-радиографии для исследования годовых колец деревьев открывает новые возможности для изучения многолетней динамики радиогеохимической обстановки на территориях, которые характеризуются различными источниками и историями поступления радионуклидов в окружающую среду (зоны влияния радиационно-опасных объектов; территории, загрязненные радионуклидами глобальных выпадений, а также локальными аварийными выбросами). При этом индикаторным показателем радиогеохимической обстановки будут являться делящиеся радионуклиды, аккумулярованные в годовых кольцах.

Разнообразное по виду и характеру радиационное воздействие на окружающую среду (с точки зрения источников воздействия) можно наблюдать в различных регионах, в том числе на территории Красноярского края и одной из стран Центральной Европы – Чешской республики (Чехии).

Цель работы. Оценка радиогеохимической обстановки на территориях, характеризующихся различными источниками техногенного и естественного

радиационного воздействия, с использованием f -радиографического анализа годовых колец хвойных деревьев.

В соответствии с этой целью были поставлены и решены следующие **основные задачи**:

1. Изучены биогеохимические особенности хвойных деревьев с точки зрения их использования для оценки поступления радионуклидов в окружающую среду.
2. Усовершенствована технология f -радиографического анализа древесины.
3. Оценён методом f -радиографии фоновый уровень содержания делящихся радионуклидов в древесине Красноярского края и Чехии.
4. Восстановлена динамика накопления делящихся радионуклидов в годовых кольцах хвойных деревьев на выбранных для обследования территориях с использованием f -радиографического анализа.

Научная новизна работы:

1. На основе f -радиографического анализа годовых колец получена сравнительная информация о содержании делящихся радионуклидов и динамике их накопления в древесине хвойных деревьев в течение длительного времени для следующих территорий: а) условно фоновых в Красноярском крае и Чехии, б) район выпадения чернобыльских радиоактивных осадков в Чехии, в) зона влияния Красноярского Горно-химического комбината, г) район подземных ядерных взрывов в Красноярском крае, д) районы урановых месторождений в Красноярском крае и Чехии.
2. Установлены закономерности пространственного распределения делящихся радионуклидов в годовых кольцах и определены средние уровни их содержания в «до ядерный» период, в период проведения испытаний ядерного оружия в атмосфере, а также современный средний уровень накопления радионуклидов в древесине хвойных деревьев для каждой изучаемой территории.
3. Предложена и опробована методика пробоотбора и пробоподготовки образцов древесины для f -радиографического анализа на основе использования ядерной древесины.
4. Показано, что в годовых кольцах деревьев находит отражение специфика геохимической обстановки над урановыми месторождениями и временные периоды их обработки.

Положения работы, выносимые на защиту:

1. Значения регионального фонового уровня содержания делящихся радионуклидов в древесине хвойных деревьев (с учетом глобальной составляющей от испытаний ядерного оружия) для территории Красноярского края и Чехии сопоставимы, и оцениваются в 0,06 мг/кг и 0,05 мг/кг соответственно.
2. По результатам f -радиографического анализа годовых колец хвойных деревьев зарегистрировано поступление делящихся радионуклидов в окружающую среду в зоне наблюдения Красноярского Горно-химического комбината, на территории проведения камуфлетных подземных ядерных взрывов (в Красноярском крае) и в районе выпадения чернобыльских осадков (в Центральной Европе).

3. Древесина хвойных деревьев, произрастающих на территории урановых месторождений, характеризуется общим повышенным содержанием делящихся радионуклидов, прежде всего урана, относительно регионального фонового уровня. В годичных кольцах, соответствующих периоду разработки и добычи урановой руды, а также «пост эксплуатационному» периоду, отмечается увеличение содержания делящихся радионуклидов, прежде всего урана, относительно «до эксплуатационного» периода.

Практическая значимость работы. По результатам проведенных исследований установлено, что f -радиографический анализ годичных колец деревьев позволяет:

1. Оценивать многолетнюю динамику радиогеохимической обстановки на территориях воздействия радиационно-опасных объектов, и, тем самым, осуществлять реконструкцию радиационного воздействия этих объектов на окружающую среду.
2. Выявлять поступление делящихся радионуклидов в природную среду при испытаниях ядерных зарядов.
3. Устанавливать закономерности пространственного распределения делящихся радионуклидов в древесине.

В комплексе с другими методами оценки радиогеохимической обстановки территории использование f -радиографического анализа древесины позволяет решать задачи эколого-геохимического мониторинга на любой территории, где произрастают деревья.

Результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе при чтении курсов «Радиоактивные элементы в окружающей среде», «Геохимический мониторинг», «Методы исследования природных сред» и др.

Подана заявка на получение патента на полезную модель «Образец для f -радиографического анализа древесины», заявка № 2008134210 с приоритетом от 20.08.08.

Апробация работы и публикации. Материалы диссертационной работы представлялись и обсуждались на Международной научной школе – конференции "Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (Абакан, 2004); VI окружной конференции молодых ученых «Наука и инновации XXI века» (Сургут, 2005); Международном форуме по проблемам науки, техники и образования «III тысячелетие – новый мир» (г. Москва, 2005); Всероссийской конференции молодых ученых «Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-ем тысячелетии» в рамках Российского Научного Форума с международным участием Демидовские чтения (Томск, 2006); Международной конференции «Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий» (Москва, 2005); Международной конференции «Чернобыль 20 лет спустя. Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов» (Гомель, 2006); Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» (Томск, 2006, 2007); молодежной научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования (Экогеология – 2006)» (Санкт-Петербург, 2006); Международ-

ном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых (2006, 2007); Всероссийской конференции с иностранным участием «Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах» (Улан-Удэ, 2007); Всероссийской научной конференции (с участием иностранных ученых) «Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды» (Иркутск, 2007).

По материалам диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 3 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Фактическим материалом диссертации являются результаты исследования спилов древесины хвойных деревьев, отобранных в 2003-2006 гг. в сотрудничестве с ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае», Сибирским государственным технологическим университетом, а также при прохождении стажировки в Чешском техническом университете в г. Прага в рамках международного сотрудничества между кафедрой биофизики Красноярского государственного университета и кафедрой дозиметрии и применения ионизирующих излучений Чешского технического университета.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений, изложенных на 165 страницах печатного текста; содержит 62 рисунка и 12 таблиц. Список литературы содержит 158 наименований.

Выполнение диссертационной работы было начато в Красноярском государственном университете под руководством к.г.-м.н. В.В. Коваленко при научном консультировании д.г.-м.н., профессора Л.П. Рихванова. В связи с переездом автора работы в г. Томск, выполнение диссертационной работы продолжилось и завершилось в Томском политехническом университете под руководством д.г.-м.н., профессора Л.П. Рихванова и при участии к.г.-м.н. В.В. Коваленко.

Содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна полученных результатов, защищаемые положения, практическая значимость и приведена структура работы.

В первой главе **«Древесные растения как объект для изучения истории поступления радионуклидов в окружающую среду и делящиеся радионуклиды как индикатор радиогеохимической обстановки»** проведен обзор и анализ представленной в литературе информации об эколого-биологических особенностях древесных растений с точки зрения их применения для оценки радиоактивности окружающей среды. В главе приводятся общие представления о делящихся радионуклидах и источниках их поступления в окружающую среду, а также рассматривается возможность их использования в качестве индикатора радиогеохимической ситуации окружающей среды. Особое внимание уделено особенностям накопления делящихся радионуклидов в древесных растениях.

Во второй главе «Использование *f*-радиографического метода анализа при изучении поступления радионуклидов в окружающую среду» приводится характеристика используемого в работе метода *f*-радиографии, описываются принципы и методические особенности *f*-радиографического анализа древесины, а также алгоритм статистической обработки экспериментальных данных.

Метод *f*-радиографии является ядерно-физическим методом анализа и позволяет с высокой чувствительностью выявлять пространственное распределение делящихся радионуклидов, определять их локальные и общие концентрации в исследуемом объекте. В основу используемого в работе метода положена реакция вынужденного деления ядер атомов тяжелых элементов ($^{233,235}\text{U}$, $^{239,241}\text{Pu}$, $^{241,242}\text{Am}$) под действием тепловых нейтронов и регистрация осколков деления на детекторе. В качестве детектора используется лавсановая пленка, на которой фиксируются следы от осколков деления – треки. Количество треков, зафиксированных на детекторе, пропорционально содержанию делящихся радионуклидов в изучаемом объекте. На основании характера распределения треков по площади детектора можно судить о форме нахождения делящихся радионуклидов (атомарно-рассеянная, микровключения) в изучаемом объекте (Флеров и др., 1979; Флейшер и др., 1981; Берзина и др., 1993).

F-радиографическое исследование древесины подразделяется на несколько этапов, которые включают отбор и подготовку образцов древесины для облучения в канале реактора, изучение экспонированных с древесиной детекторов для определения уровня накопления и пространственного распределения делящихся радионуклидов в годичных кольцах. Для исследований отбирались образцы хвойных пород деревьев (сосны и лиственницы), в виде поперечных круговых спилов на высоте 1,3 м от уровня земли. Из спилов по двум радиальным направлениям (R1 и R2) с учетом направления ветров выпиливались образцы необходимых размеров. Подготовка отобранных образцов древесины для последующего *f*-радиографического анализа осуществлялась по оригинальной методике, разработанной на кафедре геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (ТПУ). Методика пробоотбора и пробоподготовки образцов древесины при выполнении диссертационной работы была оптимизирована. В качестве образцов для *f*-радиографического анализа было опробовано использование кернов древесины. Использование кернов позволяет не только значительно увеличить объемы проводимых исследований, сократив необходимые для этого затраты, но и исключить рубку деревьев, выбранных для исследования.

Для получения информации об уровне накопления и пространственном распределении делящихся радионуклидов в годичных кольцах, каждый подготовленный образец древесины облучался с урановым эталоном, в котором известно содержание ^{235}U , в потоке тепловых нейтронов на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т НИИ Ядерной физики ТПУ. После облучения образцов и химической обработки детектора осуществлялось изучение детектора с использованием оптического микроскопа при различных увеличениях. При

этом подсчитывались зафиксированные на детекторе треки от осколков деления по 30 случайно выбранным элементарным площадкам в каждом годичном кольце с последующим определением средней плотности треков в каждом кольце. После статистической обработки результатов по каждому кольцу, проводилось построение гистограмм распределения плотности треков по годам. Для определения концентрации делящихся радионуклидов проводился пересчет плотности треков в соответствующее ей количественное содержание, для чего использовались данные по урановому эталону (плотность треков от осколков деления, зафиксированная от эталона с известным содержанием ^{235}U). При этом определялась общая концентрация всей совокупности делящихся радионуклидов (используемая технология не позволяет выделять каждый делящийся радионуклид отдельно), которая условно принимается за эквивалент урана. Следует отметить, что в годичных кольцах, соответствующих «до ядерному» периоду (до 1945 г.), из делящихся радионуклидов присутствует только ^{235}U , т.к. трансурановые элементы ($^{239,241}\text{Pu}$, $^{241,242}\text{Am}$) в окружающей среде появились с началом первых испытаний ядерного оружия в 1945 г.

При изучении детектора оценивалось также пространственное распределение треков в каждом годичном кольце, что позволило судить о формах нахождения делящихся радионуклидов в изучаемых образцах древесины. Некоторые примеры распределения треков от осколков деления на лавсановых детекторах, экспонированных с образцами древесины, приведены на рис. 1-4.

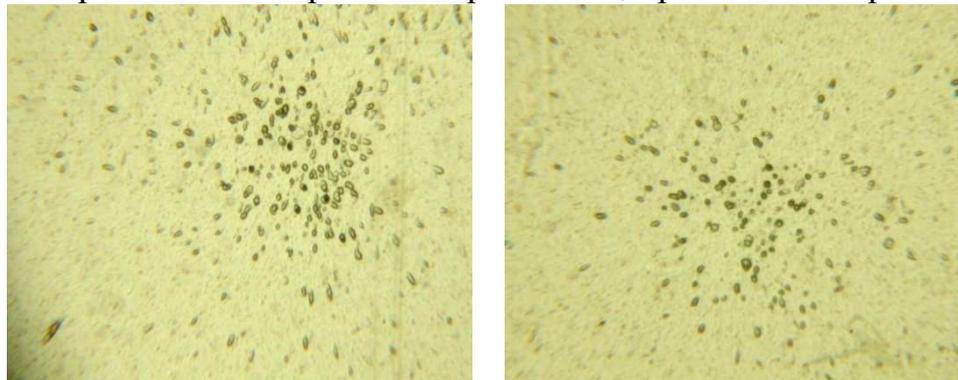


Рис. 1. Скопление треков от осколков деления с невысокой плотностью на лавсановом детекторе, экспонированном с образцом древесины; увеличение $\times 100$

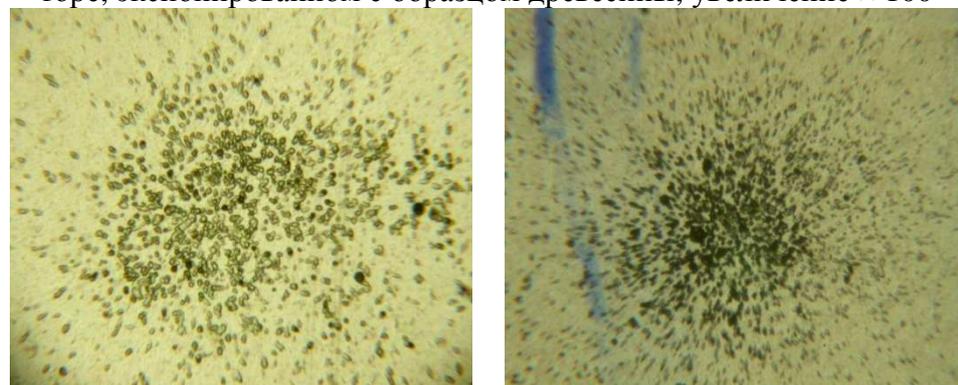


Рис. 2. Скопление треков от осколков деления с высокой плотностью на лавсановом детекторе, экспонированном с образцом древесины; увеличение $\times 100$

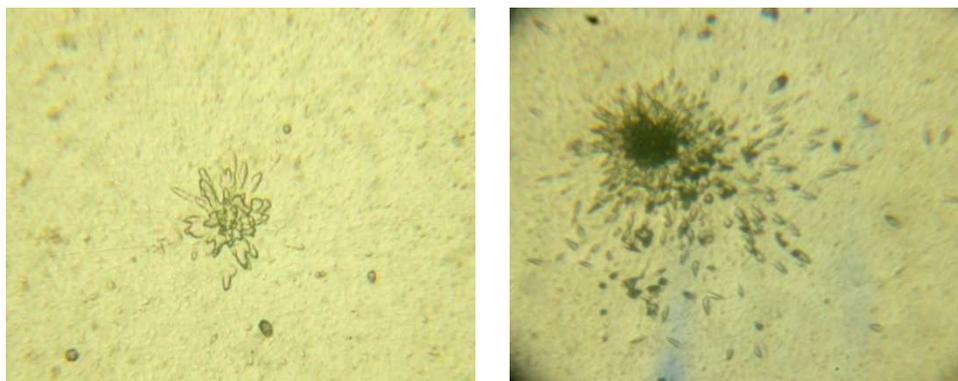


Рис. 3. Скопление треков от осколков деления «звезда» на лавсановом детекторе, экспонированном с образцом древесины; увеличение $\times 200$

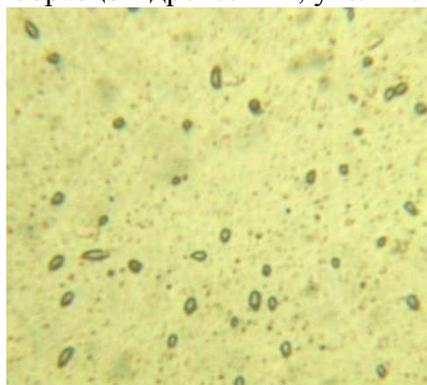


Рис. 4. Равномерное распределение треков от осколков деления на лавсановом детекторе, экспонированном с образцом древесины; увеличение $\times 200$

Наличие разных по плотности, размеру и форме скоплений треков свидетельствует о том, что делящиеся радионуклиды в древесине находятся в виде микровключений собственных минеральных образований (оксидов и т.д.). Равномерный характер распределения (рис. 4) вероятнее всего свидетельствует о атомарно-рассеянной форме нахождения изучаемых элементов в древесине.

Статистическая обработка экспериментальных данных в работе проводилась с использованием программ Microsoft Excel и STATISTICA 6.0.

В третьей главе **«Оценка фонового уровня содержания делящихся радионуклидов в древесине хвойных деревьев для территории Красноярского края и Чехии по данным f -радиографического анализа годичных колец»** обоснованы выбор районов для исследований и первое защищаемое положение.

В работе вводится понятие – региональный фоновый уровень содержания делящихся радионуклидов в древесине, под которым подразумевается средний уровень накопления этих радионуклидов в древесине деревьев, произрастающих на территории, которая является условно фоновой, т.е. эта территория является свободной от влияния локальных источников техногенного радиационного воздействия (или их влиянием можно пренебречь) и характеризуются как территория с благополучной радиогеохимической обстановкой. В качестве таких условно фоновых районов были выбраны Емельяновский район (п. Емельяново) для Красноярского края и г. Ческа Липа для Чехии (Государственный доклад..., 2007; Zprava o vysledcich cinnosti..., 2006).

Красноярский край. Для исследований было отобрано по одному спилу с двух рядом стоящих сосен (спил №1Е и №2Е) в 10 км на север от п. Емельяно-

во. *F*-радиографический анализ проводился по двум радиусам (R1 и R2) спиля №1Е (образцы №1 и 2) и спиля №2Е (образцы № 3 и 4). Результаты по изучению характера распределения треков от осколков деления радионуклидов, накопленных в годичных кольцах отобранных образцов, представлены на рис. 5 и 6. Для спиля № 2Е динамика накопления делящихся радионуклидов была проанализирована только по одному радиусу (образец № 3), так как после облучения детектор с образца №4 оказался поврежденным.

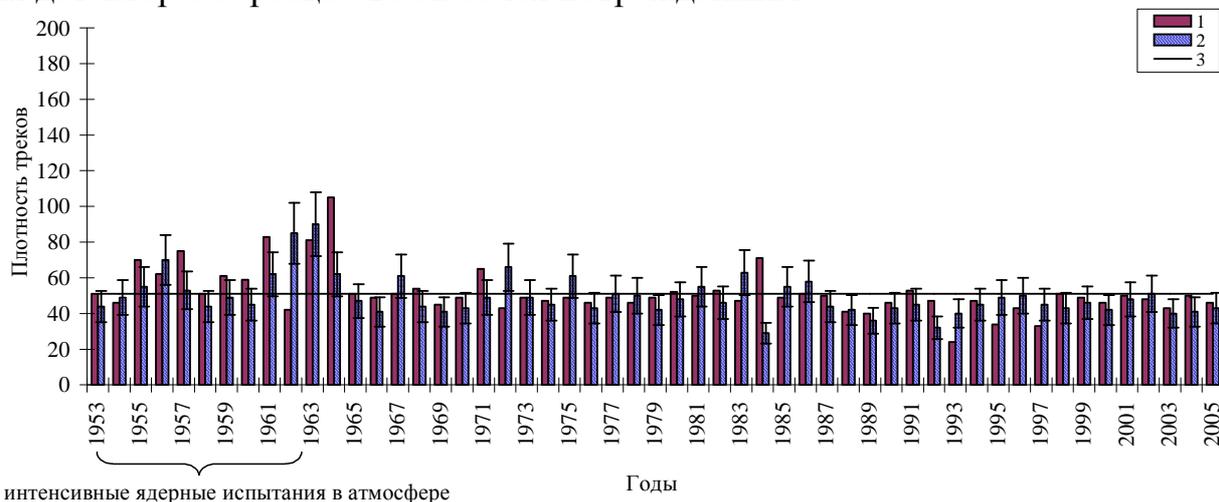


Рис. 5. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, спил № 1Е; п. Емельяново, Красноярский край.

1 – образец № 1 (R1 спиля); 2 – образец № 2 (R2 спиля); 3 – среднее содержание по всем годичным кольцам образцов № 1 и 2 (51 ± 7 треков/мм²)

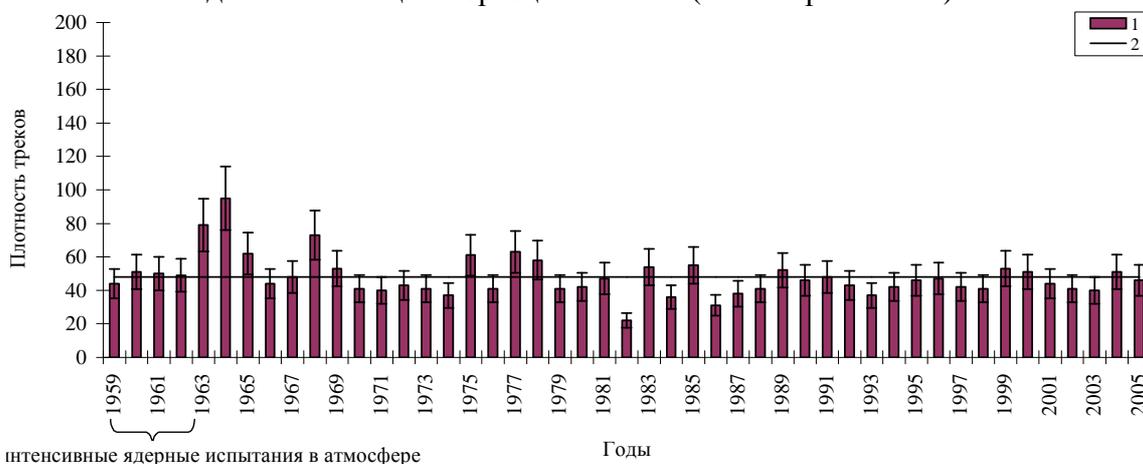


Рис. 6. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, спил № 2Е; п. Емельяново, Красноярский край.

1 – образец № 3 (R1 спиля); 2 – среднее содержание по всем годичным кольцам образца № 3 (48 ± 6 треков/мм²)

На основании приведенных данных можно отметить следующее:

1. Для всех образцов характерно превышение плотности треков на фоне общей динамики в периоды проведения испытаний ядерного оружия в атмосфере (с 1945 г. по 1981 г.; наиболее интенсивные испытания проводились в 50-е и начале 60-х гг.), сопровождавшихся выбросом огромного количества радиоактивных продуктов, в том числе значительного количества неразделившихся урана и плутония, которые рассеялись в стратосфере в глобальном масштабе и в дальнейшем выпали на земную поверхность.

2. На основе полученной совокупности данных был вычислен средний уровень содержания делящихся радионуклидов в древесине, который отражает глобальные радиоактивные выпадения на изучаемой территории. По плотности треков это значение находится на уровне 50 ± 7 треков/мм², что в пересчете на содержание урана (по изотопу ²³⁵U) составляет $0,06 \pm 0,008$ мг/кг. Полученное значение рассматривается в работе как региональный фоновый уровень содержания делящихся радионуклидов в древесине хвойных деревьев для территории юга Красноярского края.

Чехия. Для исследований был отобран спил сосны (спил № 1ЧЛ) в 10 км в юго-западном направлении от г. Ческа Липа. Результаты по распределению треков от осколков деления радионуклидов, накопленных в годичных кольцах двух радиусов отобранного спила (образцы № 5 и 6), показаны на рис. 7.

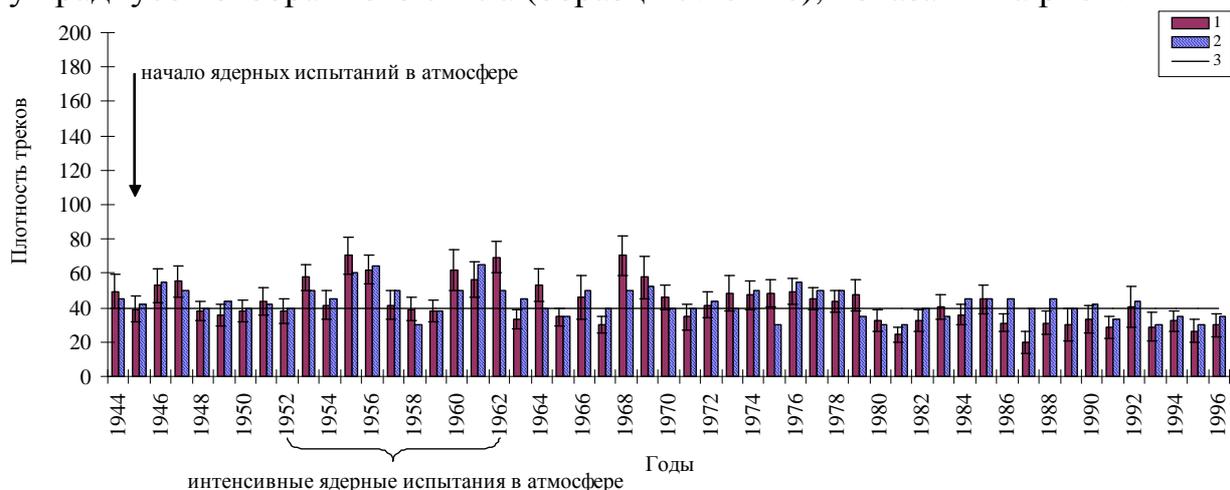


Рис. 7. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны; г. Ческа Липа, Чехия.

1 – образец № 5 (R1 спила); 2 – образец № 6 (R2 спила); 3 – среднее содержание по всем годичным кольцам образцов № 5 и 6 (40 ± 6 треков/мм²)

Анализ полученных данных приводит к следующим выводам:

1. Основные превышения плотности треков, которые свидетельствуют о повышенном накоплении делящихся радионуклидов, зафиксированы для периода испытаний ядерного оружия.

2. Средняя плотность треков по всем годичным кольцам образцов № 5 и № 6 составляет 40 ± 6 треков/мм², что соответствует среднему содержанию урана (по изотопу ²³⁵U) $0,05 \pm 0,007$ мг/кг. Полученное значение будет принято за региональный фоновый уровень накопления делящихся радионуклидов в древесине на территории Чехии.

Таким образом, установлено, что значение регионального фонового уровня содержания делящихся радионуклидов в древесине для территории Красноярского края ($0,06$ мг/кг) сопоставимо со значением регионального уровня фона, которое зафиксировано для территории Чехии ($0,05$ мг/кг).

В четвертой главе «Изучение истории поступления делящихся радионуклидов в зоне воздействия Красноярского Горно-химического комбината, в районе проведения подземных ядерных взрывов в Красноярском крае и на территории Чехии, подвергшейся воздействию Чернобыльской ава-

рии» обоснованы выбор территории обследования и второе защищаемое положение.

Зона воздействия Красноярского Горно-химического комбината. Для проведения исследований в зоне воздействия ФГУП «Горно-химический комбинат» (ГХК), многолетняя деятельность которого сопровождалась поступлением в окружающую среду техногенных радионуклидов, были отобраны спилы в зоне влияния газо-аэрозольных радиоактивных выбросов ГХК – на незатапливаемом участке правого берега р. Енисей, в окрестностях с. Большой Балчуг (Сухобузимский район). Спилы были отобраны с двух сосен, произрастающих на расстоянии 20...25 м друг от друга, на различной высоте от уровня земли. Основные сведения об отобранных спилах отражены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика образцов древесины, отобранных для *f*-радиографических исследований

№ спиля	№ образца	Высота отбора спиля, м	Точка отбора
1Б-Б	№ 7 (R1 спиля) и № 8 (R2 спиля)	1,30...1,40	правый берег р. Енисей, напротив головы о. Березовый, в 14...15 км от места сброса вод ГХК
2Б-Б	№ 9 (R1 спиля) и № 10 (R2 спиля)	6,00...6,10 (на уровне кроны)	правый берег р. Енисей, напротив головы о. Березовый, в 14...15 км от места сброса вод ГХК
3Б-Б	№ 11 (R1 спиля) и № 12 (R2 спиля)	1,30...1,40	правый берег р. Енисей, напротив головы о. Березовый, в 14...15 км от места сброса вод ГХК, в 20...25 м от дерева № 1
4Б-Б	№ 13 (R1 спиля) и № 14 (R2 спиля)	6,00...6,10 (на уровне кроны)	правый берег р. Енисей, напротив головы о. Березовый, в 14...15 км от места сброса вод ГХК, в 20...25 м от дерева № 1

Полученная совокупность данных по распределению треков от осколков деления в годичных кольцах отобранных образцов позволила выявить следующие особенности:

1. Для образцов древесины, отобранных на высоте 1,30...1,40 м (спиля №1Б-Б и № 3Б-Б, рис. 8 и 9) наблюдается сравнительно одинаковое накопление делящихся радионуклидов в годичных кольцах (образец № 8 удалось изучить лишь частично с 1951 по 2005 гг., т.к. из-за высокой смолистости древесины детектор после облучения оказался частично поврежденным). Для каждого образца выделяются периоды повышенного, накопления радионуклидов, относительно регионального фонового уровня, которые приходятся на временные промежутки, когда производились ядерные испытания в атмосфере, а также одновременно осуществлялась деятельность ГХК (с 1958 г.). Известные по литературным данным (Источники и эффекты ионизирующего излучения..., 2002) года проведения самых активных ядерных испытаний 1952, 1954, 1958, 1961, 1962, 1976 зарегистрированы в виде повышенной концентрации треков в годичных кольцах со смещением на 1÷4 года вправо или влево по временной оси, что объясняется биологическими особенностями жизнедеятельности древесных растений и сложным комбинированным путем поступления радионуклидов в древесину (в совокупности аэральный и корневой).

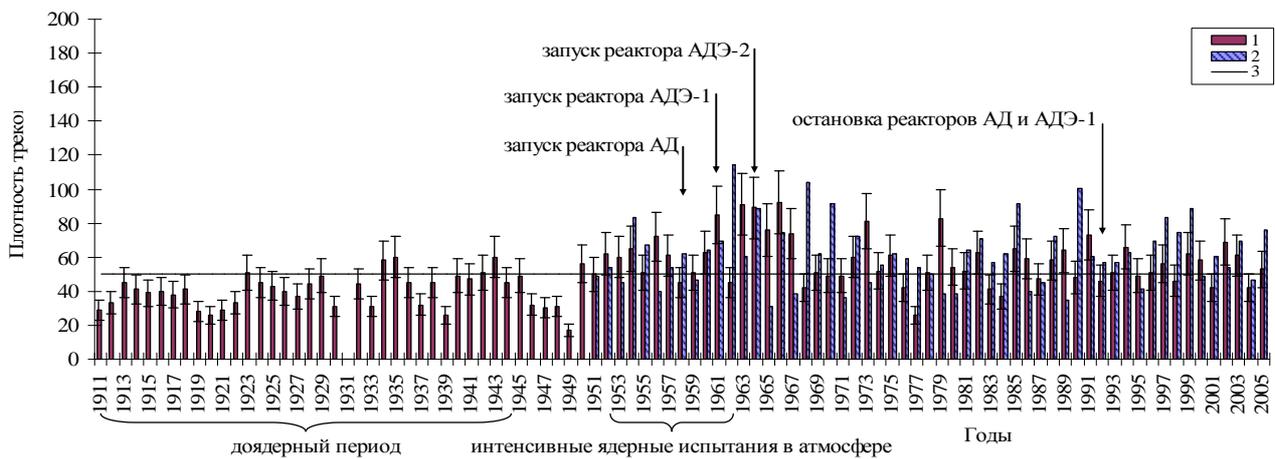


Рис. 8. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, спил № 1Б-Б (высота отбора 1,30...1,40 м); д. Большой Балчуг, Красноярский край.
1 – образец № 7 (R1 спила); 2 – образец № 8 (R2 спила); 3 – региональный уровень фона (50 ± 7 треков/мм²)

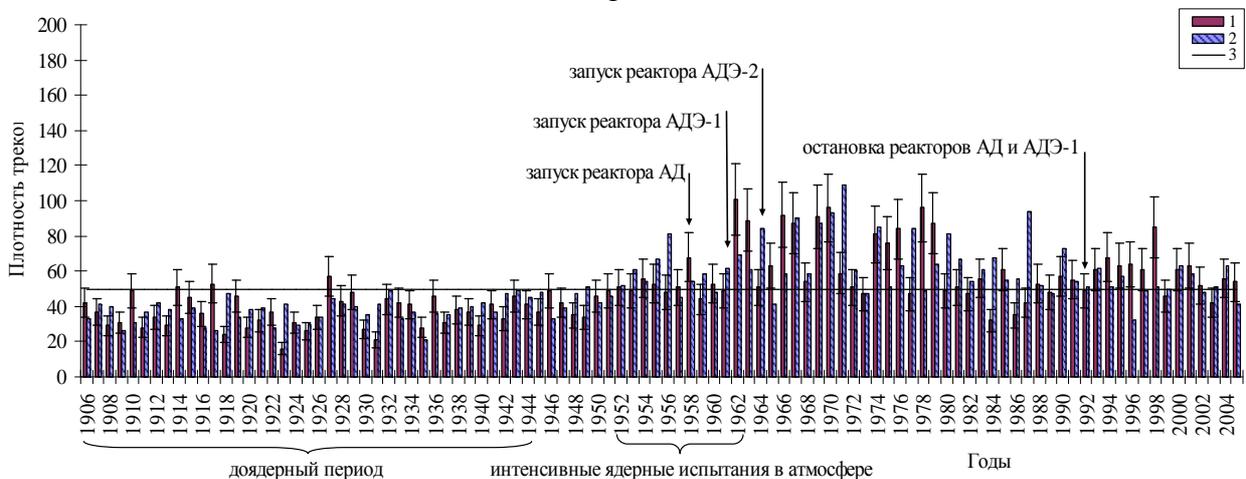


Рис. 9. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, спил № 3Б-Б (высота отбора 1,30...1,40 м); д. Большой Балчуг, Красноярский край.
1 – образец № 11 (R1 спила); 2 – образец № 12 (R2 спила); 3 – региональный уровень фона (50 ± 7 треков/мм²)

В изучаемых образцах не зафиксировано каких-либо значительных превышений по концентрации треков в годичных кольцах, которые бы позволяли однозначно выделить дополнительный вклад ГХК в период с 1958 по 1981 гг., когда одновременно в окружающую среду поступали радионуклиды от испытаний ядерного оружия и деятельность ГХК сопровождалась выбросами и сбросами в окружающую среду значительных количеств техногенных радионуклидов.

2. При сравнительном анализе результатов, полученных для спилов древесины, отобранных на высоте 6,00...6,10 м (спилов № 2Б-Б и № 4Б-Б, рис. 10 и 11) наблюдается схожая картина по динамике накопления делящихся радионуклидов в годичных кольцах (изучение образца № 10 оказалось невозможным из-за повреждения детектора в результате облучения). Согласно полученным данным, древесина спилов № 2Б-Б и № 4Б-Б характеризуется более интенсивным накоплением радионуклидов (в 1,2...2,7 раза), чем древесина спилов № 1Б-Б и № 3Б-Б (высота отбора – 1,30...1,40 м). Максимальные концентрации треков от осколков деления зарегистрированы именно в тех годичных кольцах, ко-

торые соответствуют перечисленным выше годам проведения самых интенсивных испытаний ядерного оружия, что, по-видимому, свидетельствует об активном усвоении радионуклидов в этот же год через крону из атмосферы, и отсутствии миграции радионуклидов между годичными кольцами.

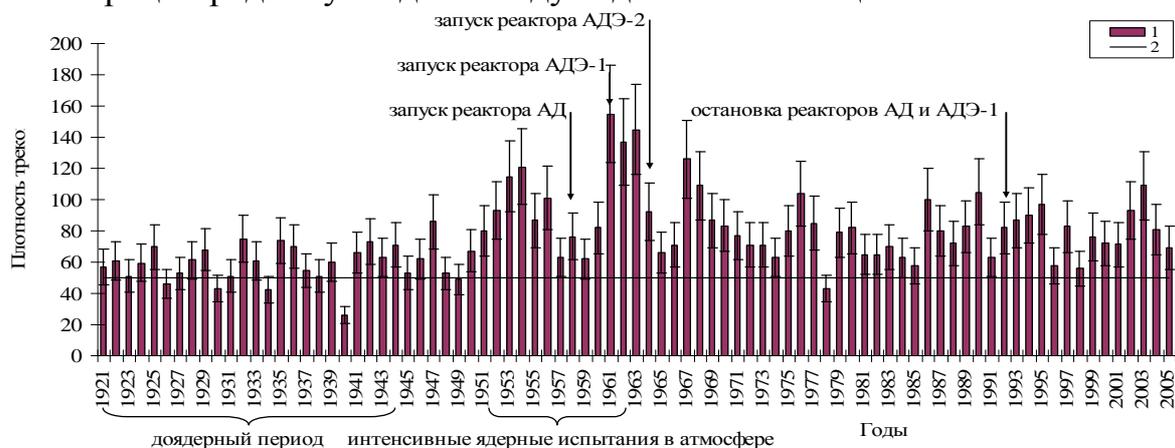


Рис. 10. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, спил № 2Б-Б (высота отбора 6,00...6,10 м); д. Большой Балчуг, Красноярский край.

1 – образец № 9 (R1 спила); 2 – региональный уровень фона (50 ± 7 треков/мм²)

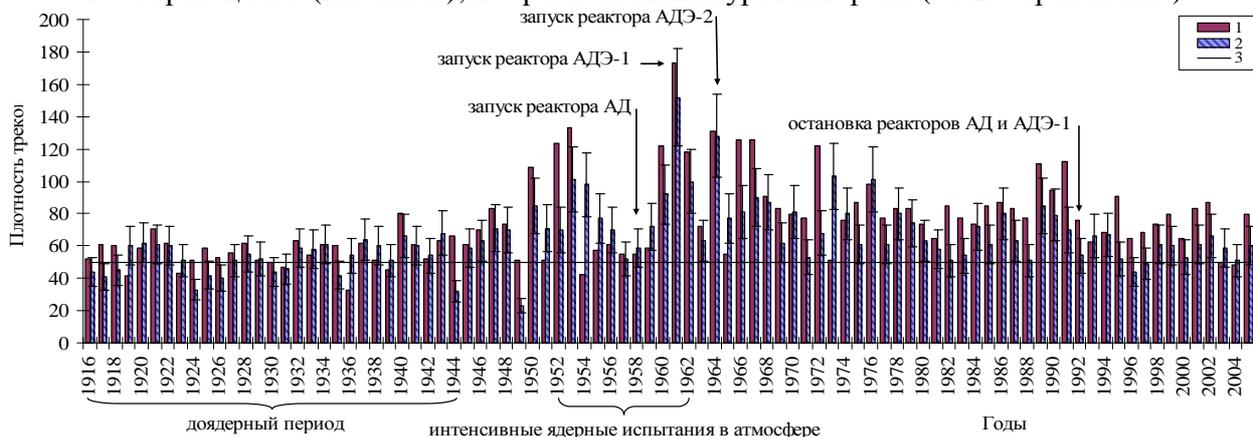


Рис. 11. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, спил № 4Б-Б (высота отбора 6,00...6,10 м); д. Большой Балчуг, Красноярский край.

1 – образец № 13 (R1 спила); 2 – образец № 14 (R2 спила); 3 – региональный уровень фона (50 ± 7 треков/мм²)

Наблюдаемые различия в динамике накопления радионуклидов между образцами, отобранными на уровне земли (1,30...1,40 м) и кроны (6,00...6,10 м), позволяют предположить, что более достоверную регистрацию атмосферного загрязнения в хронологическом аспекте обеспечивает древесина на уровне кроны.

3. Возраст изучаемых деревьев позволяет определить «до ядерный» уровень (с 1906 г. и до 1945 г.) накопления делящихся радионуклидов в древесине деревьев, произрастающих на изучаемой территории. Его среднее значение по плотности треков составляет 37 ± 7 треков/мм², что соответствует содержанию урана (по изотопу ²³⁵U) $0,04 \pm 0,01$ мг/кг. В период, после окончания всех испытаний ядерного оружия (с 1982 г.) и до наших дней наблюдается отчетливое увеличение среднего уровня накопления радионуклидов в древесине по сравнению с «до ядерным» периодом, в среднем в 1,8 раз (по плотности треков в

среднем до 63 ± 7 треков/мм², что соответствует содержанию урана (по изотопу ²³⁵U) $0,07 \pm 0,02$ мг/кг).

4. Все зафиксированные в изучаемых образцах превышения концентрации треков над региональным фоновым значением в период после окончания всех испытаний ядерного оружия могут быть связаны с деятельностью ГХК. Происхождение пиков, зарегистрированных во временном интервале с 1982 г. и до 1992 г., изучить крайне сложно, так как значительная часть материалов, характеризующих радиационную обстановку в зоне наблюдения ГХК в период, предшествовавший остановке проточных реакторов в 1992 г., либо недоступна, либо приведена в различных труднодоступных источниках. Отдельные случаи превышения содержания радионуклидов после 1992 г. могут являться результатом вторичного радиоактивного загрязнения приземной атмосферы, которое сформировалось в результате ветрового подъема и разноса почвенной пыли, насыщенной радионуклидами, с загрязненных участков поймы р. Енисей.

Подземные ядерные взрывы в Красноярском крае. Наличие участков подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на территории Красноярского края рассматривается как фактор, который отягощает радиогеохимическую обстановку в крае. Всего, по официальным данным, было проведено девять камуфлетных ПЯВ (Государственный доклад..., 2007; Мажаров и др., 2006).

Для исследовательских работ было отобрано 3 спила лиственницы на участке проведения ПЯВ «Метеорит-3» и «Кимберлит-3» (35-40 км от п. Тура – столица Эвенкийского административного района Красноярского края) и 1 спил лиственницы, используемый в качестве контрольного образца на расстоянии 5 км от участка проведения взрывов. Взрыв «Метеорит-3» был проведен 21 августа 1977 г., а взрыв «Кимберлит-3» 6 сентября 1979 г. Скважины, в которые были заложены ядерные заряды, находятся на расстоянии 300 м друг от друга. Основные сведения об отобранных спилах приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика образцов древесины, отобранных для *f*-радиографических исследований

№ спила	№ образца	Точка отбора
1Т	№ 15 (R1 спила) и № 16 (R2 спила)	5 км от устья скважины ПЯВ «Метеорит-3»
2Т	№ 17 (R1 спила)	350...400 м от устья скважины ПЯВ «Метеорит-3»
3Т	№ 18 (R1 спила)	350...400 м от устья скважины ПЯВ «Метеорит-3», в 30...50 м от дерева № 2
4Т	№ 19 (R1 спила) и № 20 (R2 спила)	вблизи скважины ПЯВ «Метеорит-3»

Контрольный (фоновый) уровень для изучаемой территории был определен на основе образцов № 15 и 16 (рис. 12). Наблюдаемая картина распределения треков от осколков деления свидетельствует о их равномерном распределении в годовых кольцах в течение всего периода роста дерева, каких-либо аномальных превышений не выявлено. На основании полученных данных вычислено среднее содержание делящихся радионуклидов, которое по плотности треков находится на уровне 51 ± 7 треков/мм², что в пересчете на содержание урана (по изотопу ²³⁵U) составляет $0,06$ мг/кг. Полученное значение совпадает

со значением регионального уровня фона, которое было вычислено для фоновой территории Красноярского края (50 ± 7 треков/мм²).

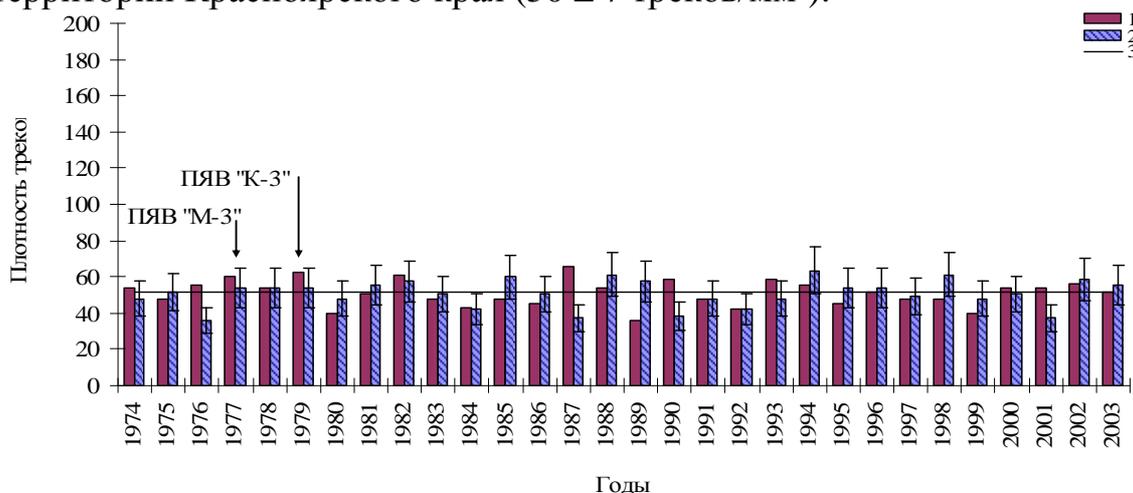


Рис. 12. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах лиственницы, спил № 1Т; 1 – образец № 15 (R1 спила); 2 – образец № 16 (R2 спила); 3 – среднее содержание по всем годичным кольцам образцов № 15 и № 16 (51 ± 7 треков/мм²)

Для деревьев, произрастающих на удалении от устья скважины (образцы № 17 и 18) наблюдается схожая картина накопления делящихся радионуклидов (рис. 13 и 14).

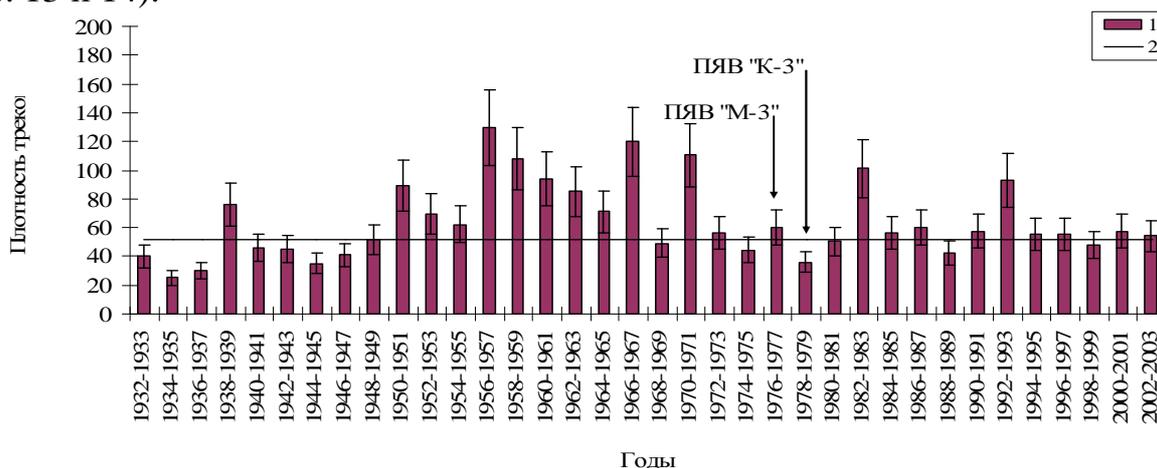


Рис. 13. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах лиственницы, спил № 2Т; 1 – образец № 17 (R1 спила); 2 – контроль (51 ± 7 треков/мм²)

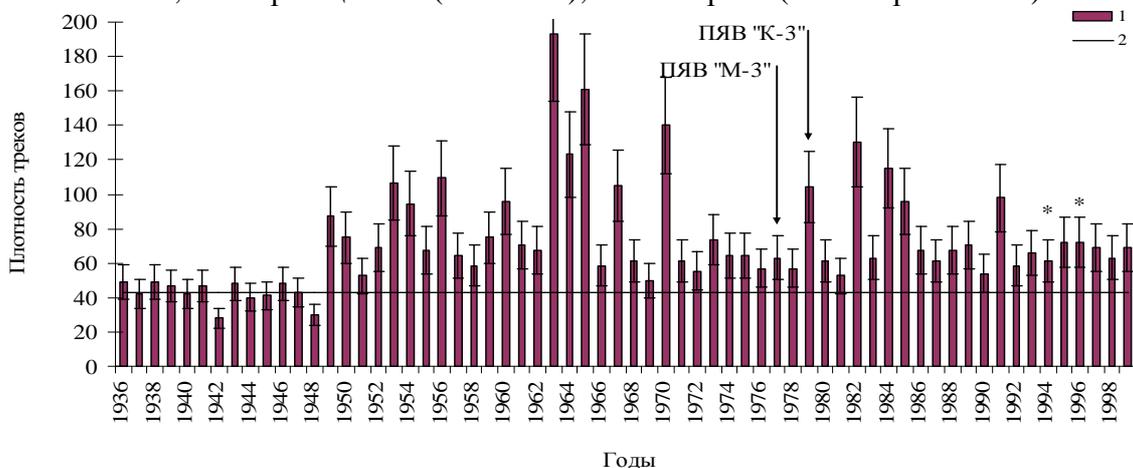


Рис. 14. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах лиственницы, спил № 3Т; 1 – образец № 18 (R1 спила); 2 – контроль (51 ± 7 треков/мм²); * – наличие в годичном кольце скопления треков в виде «звезда»

С небольшим смещением по годичным кольцам (на 2-4 года) каждое из деревьев зафиксировало максимальное поступление этих радионуклидов в периоды наиболее активных испытаний ядерного оружия в атмосфере. Согласно полученным данным, также были зафиксированы повышенные плотности треков, относительно контрольного уровня, в период с 1979 г. по 2003 г., которые, с высокой степенью вероятности, могут быть связаны с проведенными в 1977 и 1979 гг. ПЯВ «Метеорит-3» и «Кимберлит-3» и позволяют предположить, что из полости ПЯВ с течением времени в окружающую среду поступают делящиеся радионуклиды.

О выходе делящихся радионуклидов из полости ПЯВ также может свидетельствовать уровень их накопления в спиле дерева (образцы № 19 и 20), отобранного в непосредственной близости от устья скважины (рис. 15). Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что практически весь период развития данного дерева, который начался уже после проведения взрывов, характеризуется общим повышенным содержанием делящихся радионуклидов по всем годичным кольцам относительно контрольного уровня.

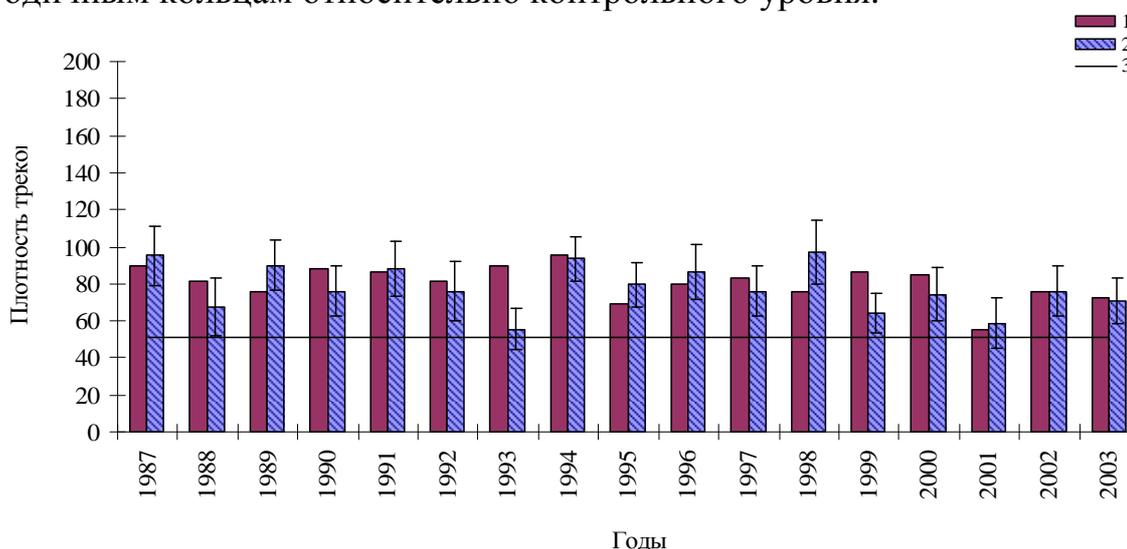


Рис. 15. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах лиственницы, спил № 4Т; 1 – образец № 19 (R1 спила); 2 – образец № 20 (R2 спила); 3 – контроль (51 ± 7 треков/мм²)

Таким образом, в результате выполненных исследований были получены данные, свидетельствующие о дополнительном поступлении в окружающую среду делящихся радионуклидов после проведения камуфлетных ПЯВ («Метеорит-3», «Кимберлит-3») на территории Красноярского края.

Территория воздействия Чернобыльской аварии, Чехия. При проведении исследований на территории выпадения чернобыльских осадков в Центральной Европе, на примере Чехии, были отобраны спилы сосен вблизи г. Часлав (спил № 1Ч, образцы № 21 и 22) и д. Чейковице (спил № 2Ч, образцы № 23 и 24), которые расположены в районах, где отмечается повышенная, относительно глобального уровня, плотность загрязнения цезием после Чернобыльской аварии и находятся на расстоянии, в среднем, 1100 км от Чернобыльской АЭС (Атлас загрязнения Европы цезием..., 1998).

Возраст деревьев, с которых были взяты спилы для исследования, позволяет изучать распределение зафиксированных в древесине делящихся радионуклидов в древесине с 1930 по 2003 гг. (образцы № 21 и 22, рис. 16) и с 1942 по 2003 гг. (образец № 23, рис. 17; детектор с образца № 24 по техническим причинам изучить не удалось).

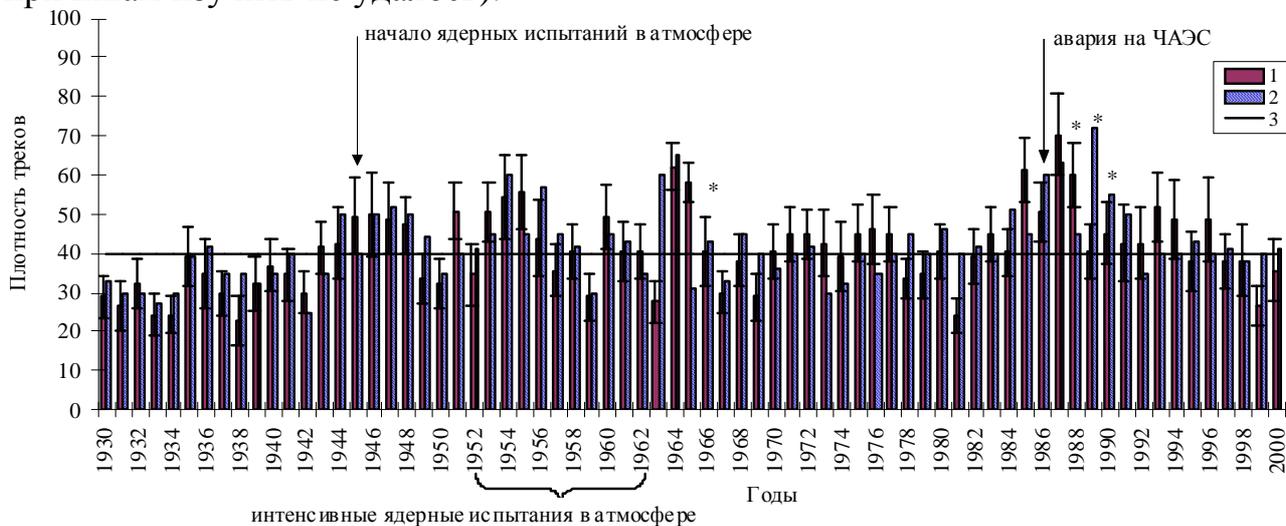


Рис. 16. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, спил № 1С; г. Часлав, Чехия.

1 – образец № 21 (R1 спиля); 2 – образец № 22 (R2 спиля); 3 – региональный уровень фона 40 ± 6 треков/мм²; * – наличие в годичном кольце скопления треков в виде «звезда»



Рис. 17. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, спил № 2С; д. Чейковице, Чехия.

1 – образец № 23 (R1 спиля); 2 – региональный уровень фона 40 ± 6 треков/мм²

Результаты сравнительного анализа полученных данных для двух спилов приводят к следующим выводам:

1. Динамика треков от осколков деления в годичных кольцах всех образцов, свидетельствующая о накоплении делящихся радионуклидов, отражает увеличение их содержания в периоды испытания ядерного оружия в атмосфере.
2. Дополнительное поступление делящихся радионуклидов в древесину изучаемых деревьев в период, когда произошла авария на ЧАЭС, зарегистрировано только в образцах, отобранных вблизи г. Часлав. Об этом свидетельствует увеличение средней плотности треков в период с 1985 по 1989 гг., в среднем до 65 ± 8 треков/мм², что превышает региональный уровень фона в 1,5 раза. Кроме

того, в годовых кольцах, соответствующих 1966, 1988, 1989, 1990 гг., наблюдаются одиночные участки скопления треков в виде «звезда», что свидетельствует о присутствии в этих кольцах высокоактивных микровключений делящихся радионуклидов («горячих частиц»). Для образца № 15, отобранного вблизи д. Чейковице, каких-либо заметных превышений по плотности треков в годовых кольцах соответствующих аварийному периоду не зафиксировано. Проявление «чернобыльского вклада» в аварийный период лишь в одном из образцов можно объяснить, главным образом, сложным процессом выпадения радиоактивного загрязнения чернобыльского происхождения, которое имело пятнистый характер (выпадения были весьма неравномерны, поскольку подверглись большому влиянию метеорологических условий в период выброса).

Следует отметить, что присутствие чернобыльского радиоактивного загрязнения в Европе, на больших расстояниях от ЧАЭС, не так характерно для Чехии, как, например, для Германии, Австрии, Финляндии, Швеции и др. (Атлас загрязнения Европы цезием..., 1998). При этом по результатам проведенных *f*-радиографических исследований древесины установлено, что проявление Чернобыльской аварии фиксируется на территории Чехии в виде повышения концентрации делящихся радионуклидов в годовых кольцах деревьев. Данный факт еще раз подтверждает чувствительность используемого метода для выявления даже незначительных радиоактивных загрязнений.

В пятой главе **«Особенности накопления делящихся радионуклидов в древесине хвойных деревьев, произрастающих на территории урановых месторождений Красноярского края и Чехии по данным *f*-радиографического анализа годовых колец деревьев»** обоснованы выбор территории уранового месторождения для изучения и третье защищаемое положение.

Усть-Ангарское урановое месторождение в Красноярском крае. Месторождение расположено на правом берегу р. Ангара вблизи места её впадения в р. Енисей. В период с 1948 по 1952 гг. на месторождении проводились геологоразведочные и добычные работы (Минеральные ресурсы..., 2002). Для исследований были отобраны спилы двух сосен (спил № 1У-А, образцы № 25 и 26; спил № 2У-А, образцы № 27 и 28), произраставших на площадке рудного отвала, которая находится в 150...170 м от окраины п. Усть-Ангарск. Характер распределения треков от осколков деления в годовых кольцах образцов № 25 и 26 показан на рис. 18.

Рост дерева, с которого были отобраны образцы № 25 и 26, начался после окончания периода, известного как период проведения геологоразведочных и добычных работ на Усть-Ангарском месторождении, и происходил уже на техногенно-нарушенном участке месторождения. Средний уровень накопления делящихся радионуклидов по всем годовым кольцам, по плотности треков, составляет 114 ± 2 треков/мм², что соответствует содержанию урана (по изотопу ²³⁵U) $0,13 \pm 0,03$ мг/кг. Первые годы развития дерева (1957-1960 гг.) характеризуются повышенным накоплением радионуклидов, в среднем, по плотности треков, до 135 ± 21 треков/мм². Далее динамика распределения треков по го-

дичным кольцам имеет равномерный характер с превышением плотности треков в 1977 г. и в 1979 г.

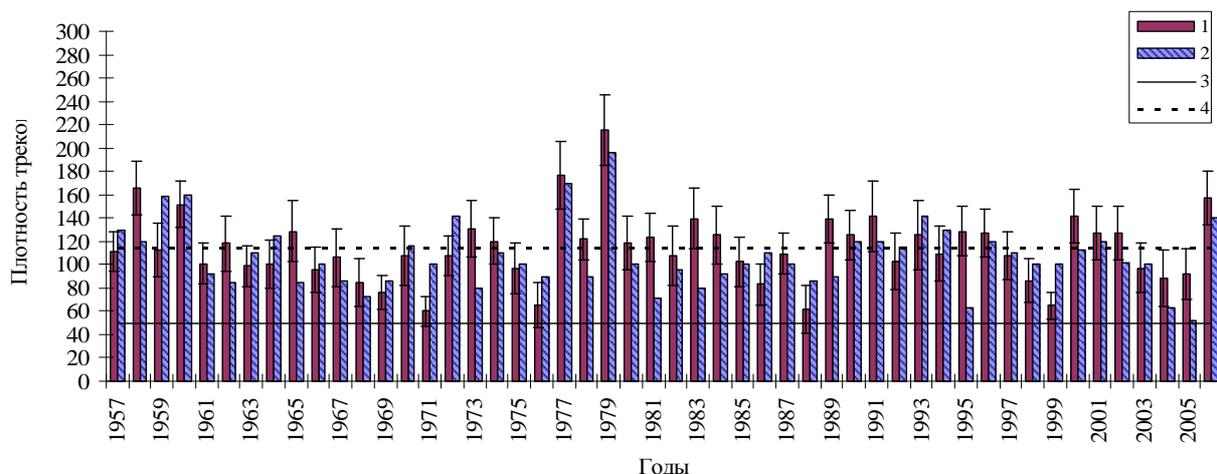


Рис. 18. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, спил № 1У-А; Усть-Ангарское урановое месторождение, Красноярский край.

1 – образец № 25 (R1 спила); 2 – образец № 26 (R2 спила); 3 – региональный уровень фона (50 ± 7 треков/мм²); 4 – среднее содержание по всем годичным кольцам образцов № 25 и 26 (114 ± 22 треков/мм²)

При изучении образцов № 27 и 28 (рис. 19) был получен ряд наблюдений, который охватывает и период проведения геологоразведочных и добычных работ на месторождении.

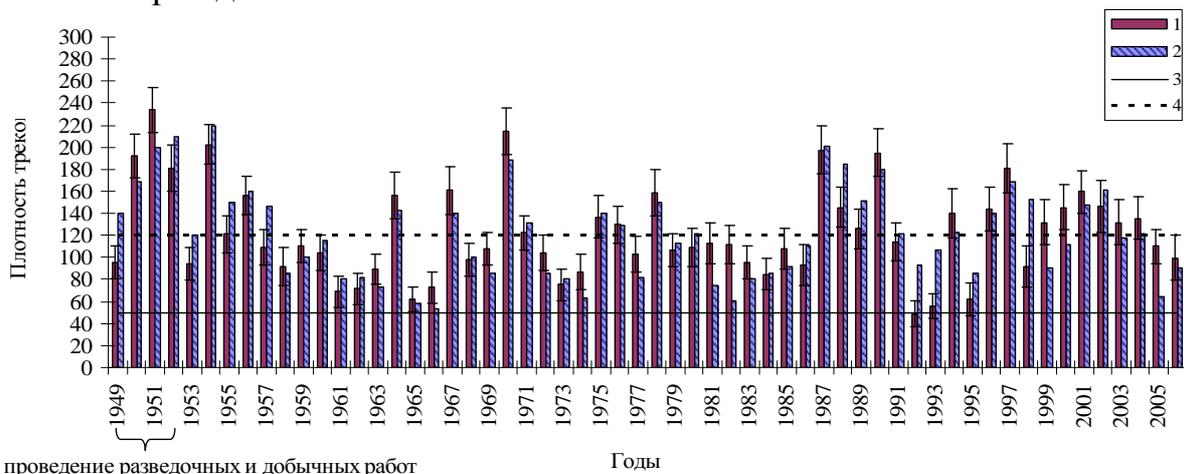


Рис. 19. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны, спил № 2У-А; Усть-Ангарское урановое месторождение, Красноярский край.

1 – образец № 27 (R1 спила); 2 – образец № 28 (R2 спила); 3 – региональный уровень фона (50 ± 7 треков/мм²); 4 – среднее содержание по всем годичным кольцам образцов № 27 и 28 (120 ± 17 треков/мм²)

Средняя плотность треков по всем годичным кольцам дерева составляет 120 ± 17 треков/мм², что в пересчете на содержание урана (по изотопу ²³⁵U) соответствует $0,14 \pm 0,02$ мг/кг. Временной интервал с 1950 г. по 1954 г. выделяется наибольшей плотностью треков за весь период роста дерева, с максимумом в 1951 г. Далее повышенная плотность треков наблюдается в 1956, 1964, 1970, 1978 гг. Период с 1987 г. по 2006 г. на фоне общей динамики отмечается также повышенной плотностью треков.

При анализе характера пространственного распределения треков по годичным кольцам в изучаемых образцах выявлено, что в большинстве годичных колец образцов № 25 и 26 треки распределены неравномерно на просматриваемой площади кольца, часто встречаются скопления треков с различной плотностью. Для образцов № 27 и 28, напротив, отмечается достаточно равномерный характер пространственного распределения треков во всех годичных кольцах.

Пришибрамское урановое месторождение в Чехии. Месторождение принадлежит к крупным гидротермальным жильным месторождениям урана и имеет длительную историю эксплуатации (1949-1991 гг.) (Dahlkamp, 1993). Расположено месторождение в 60 км на юго-запад от Праги, вблизи г. Пришибрам. Для исследований был отобран спил сосны (спил № 1П, образцы № 29 и 30), которая произрастала вблизи одной из стволовых шахт месторождения. На рис. 20 показаны результаты определения плотности треков от осколков деления в годичных кольцах отобранных образцов.

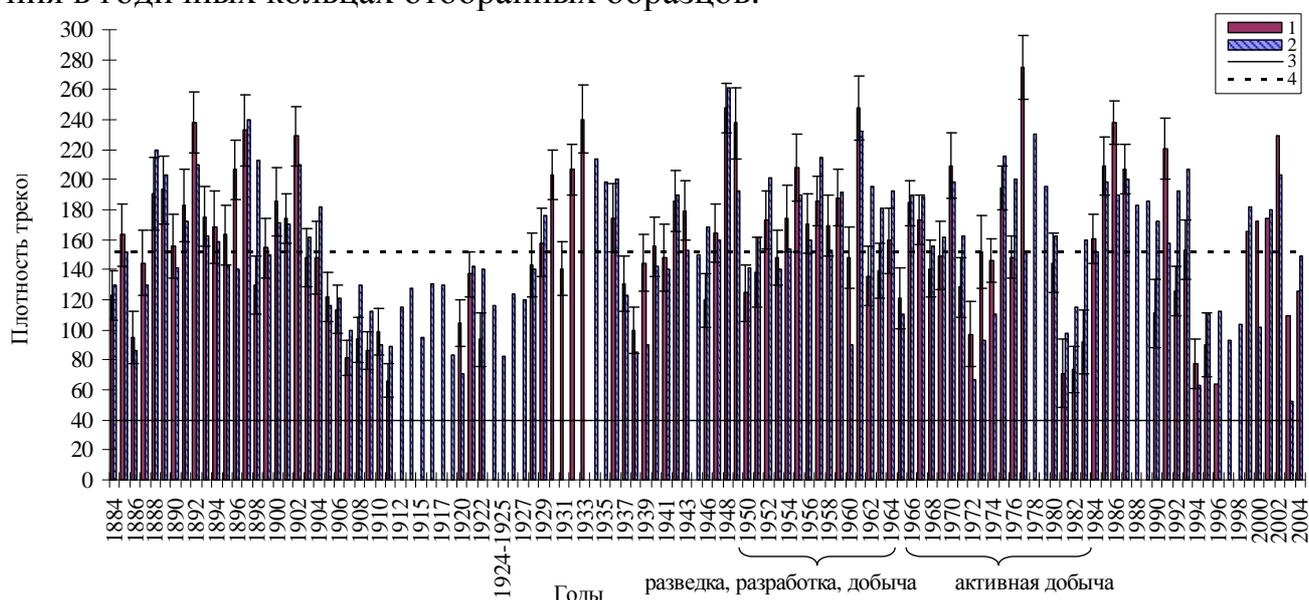


Рис. 20. Распределение треков от осколков деления в годичных кольцах сосны; Пришибрамское урановое месторождение, Чехия.

1 – образец № 29 (R1 спила); 2 – образец № 30 (R2 спила); 3 – региональный уровень фона (40 ± 6 треков/мм²); 4 – среднее содержание по всем годичным кольцам образцов № 29 и 30 (152 ± 19 треков/мм²)

Средняя плотность треков по всем годичным кольцам составляет 152 ± 19 треков/мм², что соответствует среднему содержанию урана (по изотопу ²³⁵U) $0,18 \pm 0,02$ мг/кг. Согласно полученным данным, еще до начала освоения месторождения с целью добычи урановой руды в 1949 г. отмечаются периоды повышенной плотности треков относительно средней плотности по всем годичным кольцам, что может быть обусловлено дополнительным выносом урана на земную поверхность и его внекорневым усвоением (посредством кроны, коры дерева) в результате добычи других полезных ископаемых (полиметаллов, серебра, золота и др.), которая осуществлялась на этом месторождении еще до того, как стало известно об урановой минерализации слагающих эту местность пород. В период разведки, разработки и начала добычи урановой руды на месторождении (1949-1965 гг.) заметное увеличение уровня накопления делящих-

ся радионуклидов фиксируется в годовых кольцах, соответствующих 1949, 1952, 1957, 1961 гг. (в данном случае более корректно говорить уже о делящихся радионуклидах, т.к. с началом испытаний ядерного оружия в 1945 г. в окружающую среду начали поступать трансураниевые элементы). В период активной добычи урановой руды на месторождении (1966-1985 гг.) зафиксированы максимальные концентрации треков в годовых кольцах изучаемых образцов. Активное поступление в древесину делящихся радионуклидов происходило также в следующие периоды: 1985-1993 гг. и 1999-2002 гг.

В целом, при анализе характера распределения треков по годовым кольцам было выявлено, что треки распределены достаточно равномерно по площади каждого кольца, скопления треков встречаются редко и имеют невысокую плотность.

На основании полученной совокупности данных установлена общая динамика радиогеохимической обстановки на территориях Усть-Ангарского и Пршибрамского месторождений, которая показана в сравнении с динамикой радиогеохимической обстановки на территориях за пределами урановых месторождений (рис. 21 и 22).

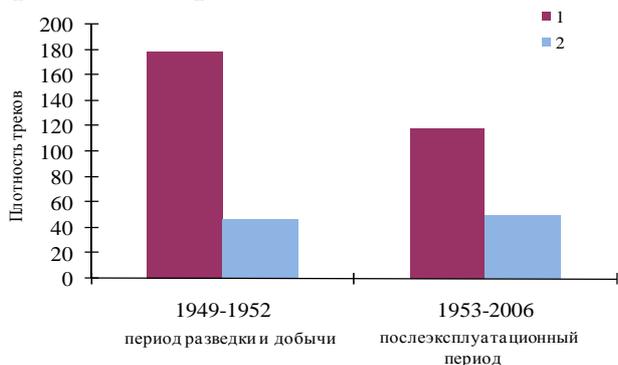


Рис. 21. Динамика радиогеохимической обстановки по данным f -радиографического анализа: 1 – на территории Усть-Ангарского месторождения, 2 – за пределами месторождения

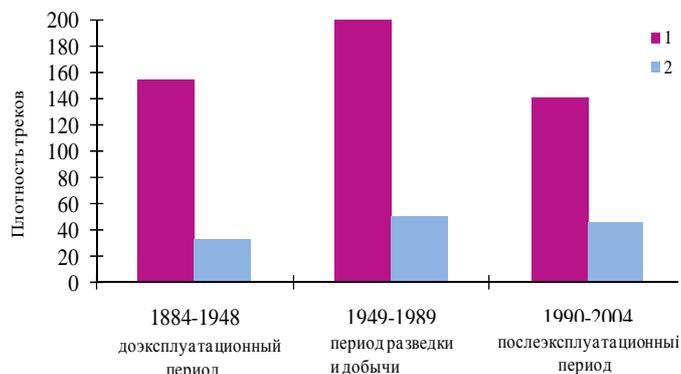


Рис. 22. Динамика радиогеохимической обстановки по данным f -радиографического анализа: 1 – на территории Пршибрамского месторождения, 2 – за пределами месторождения

Общий сравнительный анализ полученных результатов для двух месторождений позволяет сделать несколько заключений:

1. Древесина деревьев, произрастающих в пределах рассматриваемых месторождений, концентрирует значительные количества делящихся радионуклидов (в основном урана), превышающие региональный уровень фона в 2...4,5 раза на Усть-Ангарском месторождении и в 3,8...6 раз на Пршибрамском месторождении.

2. В годы разработки и добычи урановой руды на месторождениях в годовых кольцах наблюдаются повышенные содержания делящихся радионуклидов (в основном урана) в древесине по сравнению с «до эксплуатационным» периодом. Это отражает, по-видимому, сложный характер поступления урана в дерево в период эксплуатации месторождений одновременно по корневому и внекорневому пути (посредством кроны и коры), в то время как в «до эксплуатационный» период основной путь поступления урана – корневой.

3. В «пост эксплуатационный» период также выделяются периоды повышенного накопления радионуклидов (урана) в деревьях, что вероятно обусловлено наличием на дневной поверхности отвалов вскрышных пород, обогащенных ураном. Длительное существование этих отвалов сопровождается выветриванием слагающих отвалы горных пород и рассеиванием содержащихся в этих породах радионуклидов, и как следствие, происходит дополнительное их поступление в окружающую атмосферу. В этом случае включается также внекорневой путь усвоения радионуклидов деревом, что приводит к увеличению их содержания в древесине.

4. Повышение уровня содержания урана в отдельные временные периоды может быть связано с изменением климатических факторов (температуры, влажности и др.), которые обуславливают окисление урановых минералов, их растворение и последующую активную миграцию урана в водной среде.

5. Различие в уровнях накопления радионуклидов на двух урановых месторождениях, может быть обусловлено различиями в масштабах уранового оруденения, урановой минерализации и объеме добычных работ, а также различиями в формах нахождения урановых минералов в корнеобитаемом слое деревьев. Более низкое содержание урана в древесине деревьев, произрастающих на Усть-Ангарском месторождении по сравнению с деревом Пршибрамского месторождения может объясняться большей крупностью зерен урановых минералов, которые могут быть недоступны корням растений, либо преобладанием прочно-связанных форм радионуклидов, которые также обладают меньшей доступностью растениям.

В **заключении** по диссертационной работе подведены итоги проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Основные результаты и выводы

1. Анализ эколого-биологических особенностей древесных растений показывает, что годовые кольца хвойных являются хорошим объектом для осуществления исторической оценки динамики поступления радионуклидов в окружающую среду, а делящиеся радионуклиды, накопленные в годовых кольцах, могут выступать в качестве индикаторов радиогеохимической ситуации окружающей среды.

2. Метод *f*-радиографии позволяет с высокой чувствительностью выявлять пространственное распределение делящихся радионуклидов и, одновременно, определять их локальные и общие концентрации в любом исследуемом объекте. Применение метода *f*-радиографии для исследования годовых колец деревьев позволяет изучить уровень и характер накопления делящихся радионуклидов в различные периоды времени, и, тем самым, восстановить динамику поступления этих радионуклидов в окружающую среду за длительный период времени.

3. Установлен региональный фоновый уровень содержания делящихся радионуклидов в годовых кольцах сосен, произраставших на территориях, выбранных в качестве условно фоновых в Красноярском крае и Чехии.

4. Зафиксировано дополнительное поступление делящихся радионуклидов в окружающую среду после проведения камуфлетных подземных ядерных взрывов («Метеорит-3», «Кимберлит-3») на территории Красноярского края.
5. Установлено, что проявление Чернобыльской аварии фиксируется в Центральной Европе (на территории Чехии) в виде повышения концентрации делящихся радионуклидов в годовых кольцах деревьев относительно регионального фонового уровня, характерного для Чехии.
6. Выделены основные временные периоды поступления делящихся радионуклидов в окружающую среду в зоне воздействия Красноярского ГХК. Максимальные концентрации делящихся радионуклидов зарегистрированы в период с 1952 по 1981 гг., когда производились интенсивные испытания ядерного оружия в атмосфере, а также одновременно осуществлялась деятельность ГХК (с 1958 г.). Также установлены повышенные, относительно регионального фонового уровня, содержания делящихся радионуклидов в отдельные годы после прекращения атмосферных испытаний ядерного оружия, которые могут быть обусловлены газо-аэрозольными выбросами ГХК.
7. *F*-радиографический анализ годовых колец показывает, что древесина сосен, произрастающих на изученных месторождениях урана в Красноярском крае и Чехии, концентрирует значительные количества урана (превышающие региональный уровень фона в 2...6 раз) и является их специфическим геохимическим индикатором. В разные периоды эксплуатации месторождений наблюдаются различия в динамике накопления урана в годовых кольцах деревьев. В годы разработки и добычи урановой руды на месторождениях, а также в «пост эксплуатационный» период отмечаются повышенные, относительно «до эксплуатационного» периода, содержания урана в годовых кольцах деревьев.
8. Сравнительный статистический анализ экспериментальных данных, проводимый с целью оценки степени сопоставимости результатов (либо значимости их различия), полученных для двух радиусов одного спила дерева, показал, что, для большинства образцов характерно незначимое отличие сравниваемых средних показателей (плотности треков от осколков деления в годовых кольцах, соответствующих одному и тому же году), что позволяет говорить о достоверной сопоставимости временных динамик накопления радионуклидов, полученных для каждого радиуса. Таким образом, результаты, полученные лишь по одному из радиусов спила дерева достоверно отражают динамику накопления делящихся радионуклидов в изучаемом дереве.

Автор выражает благодарность за руководство диссертационной работой д.г.-м.н., профессору Л.П. Рихванову и зав. отделом радиационно-гигиенического мониторинга ФГУП «Центр эпидемиологии и здравоохранения в Красноярском крае», к.г.-м.н. В.В. Коваленко.

За консультации по различным вопросам, связанным с диссертацией, и моральную поддержку автор благодарен сотрудникам кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ: д.г.-м.н., профессору С.И. Арбузову; к.г.-м.н. Т.А. Архангельской; к.г.-м.н., доценту Волостнову; к.б.н, доценту. Н.В. Барановской; А.Ф. Судыко; Л.В. Жорняк; Г.А. Бабченко; В.С. Барановскому и другим. Искреннюю

признательность автор выражает сотрудникам кафедры биофизики Красноярского государственного университета: д.б.н., профессору В.А. Кратасюк; З.Г. Холостовой; В.В. Фишову. Благодарность за содействие в отборе проб и подготовке их для исследований автор выражает доценту А.Г. Ковалеву (Сибирский технологический университет, г. Красноярск), В.Д. Несветайло (Институт мониторинга климатических и экологических систем, г. Томск), профессору Томашу Чехаку и доценту Ленке Тиновой (Чешский технический университет, г. Прага), В.А. Чечеткину (ФГУП «Центр эпидемиологии и здравоохранения в Красноярском крае», г. Красноярск).

На разных этапах работа была поддержана грантом Красноярского краевого фонда науки для молодых ученых (шифр: 8Т33) и грантом для поддержки научно-исследовательской работы аспирантов государственных образовательных учреждений высшего профессионального образования, находящихся в ведении Федерального агентства по образованию (шифр: А03-2.12-260).

Опубликованные работы по теме диссертации

1. Хекало А.А., Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.) Перспективы и трудности применения дендрогеохимических методов исследования // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий: Материалы IX Международной научной школы – конференции студентов и молодых ученых, Абакан, 15-18 марта, 2005 г. – Абакан, 2005. – С. 112.
2. Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.), Архангельская Т.А., Коваленко В.В., Рихванов Л.П. Применение метода осколочной радиографии для реконструкции радиационной обстановки на территории Красноярского края // Вестник КрасГУ. Естественные науки. – Красноярск: Изд-во КГУ, 2005. – С. 182-187.
3. Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.), Коваленко В.В., Рихванов Л.П. Определение делящихся элементов в годичных кольцах деревьев методом осколочной радиографии // Успехи современного естествознания, 2005, №2. – С. 68-69.
4. Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.), Хекало А.А. Определение уровня накопления урана и трансурановых элементов в объектах окружающей среды // III тысячелетие – новый мир: Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования, Москва, 5-9 декабря 2005 г. – Москва: Академия наук о Земле, 2005. – С. 67-68.
5. Рихванов Л.П., Архангельская Т.А., Беляева А.М., Жорняк Л.В., Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.), Шатилов А.Ю. Ретроспективная оценка поступлений радиоактивных веществ в природную среду // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: Материалы Международной конференции, Москва, 5-6 декабря 2005 г. – Москва, 2005. – С. 325-332.
6. Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.), Хекало А.А. Изучение радиоактивного загрязнения окружающей среды по годичным кольцам деревьев радиографическим методом // Наука и инновации XXI века: Материалы VI Открытой окружной конференции молодых ученых, Сургут, 24-25 ноября 2005 г. – Сургут: Изд-во СурГУ, 2006. – С. 214-216.
7. Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.) Изучение динамики поступления делящихся радионуклидов в хвойные деревья Чехии по результатам радиографических исследований // Фундаментальные проблемы новых технологий в 3-ем тысячелетии: Материалы III Всероссийской конференции молодых ученых, Томск, 3-6 марта 2006 г. – Томск: Институт оптики атмосферы СО РАН, 2006. – С. 508-512.
8. Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.), Рихванов Л.П., Коваленко В.В. Отражение чернобыльской аварии в уровне накопления делящихся радионуклидов в хвойных деревьях Чехии // Чернобыль 20 лет спустя. Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших

- регионов: Материалы международной конференции, Гомель, 19-21 апреля 2006 г. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. – С. 217-218.
9. **Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.)** Оценка выпадения урана и трансураниевых радионуклидов на территории Центральной Европы с использованием метода f-радиографии // Современные техника и технологии: Труды XII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 27-31 марта 2006. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 263-265.
 10. **Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.)** Возможности радиографического метода для оценки радиационной обстановки на различных территориях // Школа экологической геологии и рационального недропользования (Экогеология – 2006): Материалы Седьмой межвузовской молодежной научной конференции, Санкт-Петербург, 29 мая - 2 июня 2006 г. – Санкт-Петербург, 2006. – С. 287-288.
 11. **Фетисова Ю.Л. (Замятина Ю.Л.)** Ретроспективный анализ поступления делящихся радионуклидов в древесные растения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды X Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, Том 3, Томск, 3-7 апреля 2006 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – С. 81-83.
 12. **Замятина Ю.Л., Рихванов Л.П.** Осколочная радиография для изучения делящихся радионуклидов в объектах окружающей среды // Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах: Материалы всероссийской конференции (с иностранным участием), Улан-Удэ, 16-18 апреля 2007 г. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2007. – С. 131-134.
 13. **Замятина Ю.Л.** Оценка радиационного воздействия подземного ядерного взрыва «Метеорит-3» (Красноярский край) на окружающую среду // Современные техника и технологии: Труды XII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Том 3, Томск, 26-30 марта, 2000 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – С. 50-52.
 14. **Рихванов Л.П., Архангельская Т.А., Замятина Ю.Л., Несветайло В.Д.** Дендрогеохимический метод оценки динамики поступления химических элементов в окружающую среду // Новые методы в дендрэкологии: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Иркутск, 10-13 сентября 2007 г. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. – С. 70-72.
 15. **Рихванов Л.П., Архангельская Т.А., Замятина Ю.Л., Межибор А.М., Жорняк Л.В., Иванов А.В., Берчук В.Ю., Робертус Ю.В., Таловская А.В.** Исследование изменения геохимических свойств биосферы с использованием последовательно образующихся природных образований // Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды: Материалы Всероссийской научной конференции (с участием иностранных ученых), Иркутск, 24-30 сентября 2007 г. – Иркутск, 2007. – С. 223-227.
 16. **Замятина Ю.Л.** Изучение урана и трансураниевых элементов в древесных растениях (краткий обзор существующих работ) // Проблемы геологии и освоения недр: Сборник научных трудов XI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 9-13 апреля 2007 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – С. 575-577.
 17. **Рихванов Л.П., Замятина Ю.Л., Коваленко В.В.** История формирования радиоактивного загрязнения окружающей среды в районе проведения подземных ядерных взрывов (на примере Красноярского края) // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии, 2007, № 2 (4). – С. 25-33.
 18. **Рихванов Л.П., Замятина Ю.Л., Архангельская Т.А.** Радиографические исследования в радиоэкологическом мониторинге // Известия Томского политехнического университета, 2007, Том 311, № 1. – С. 123-127.
 19. **Рихванов Л.П., Арбузов С.И., Барановская Н.В., Волостнов А.В., Архангельская Т.А., Межибор А.М., Берчук В.В., Жорняк Л.В., Замятина Ю.Л., Иванов А.Ю., Таловская А.В., Шатилова С.С., Язиков Е.Г.** Радиоактивные элементы в окружающей среде // Известия Томского политехнического университета, 2007, Том 311, № 1. – С. 128-136.