

*Лекция*

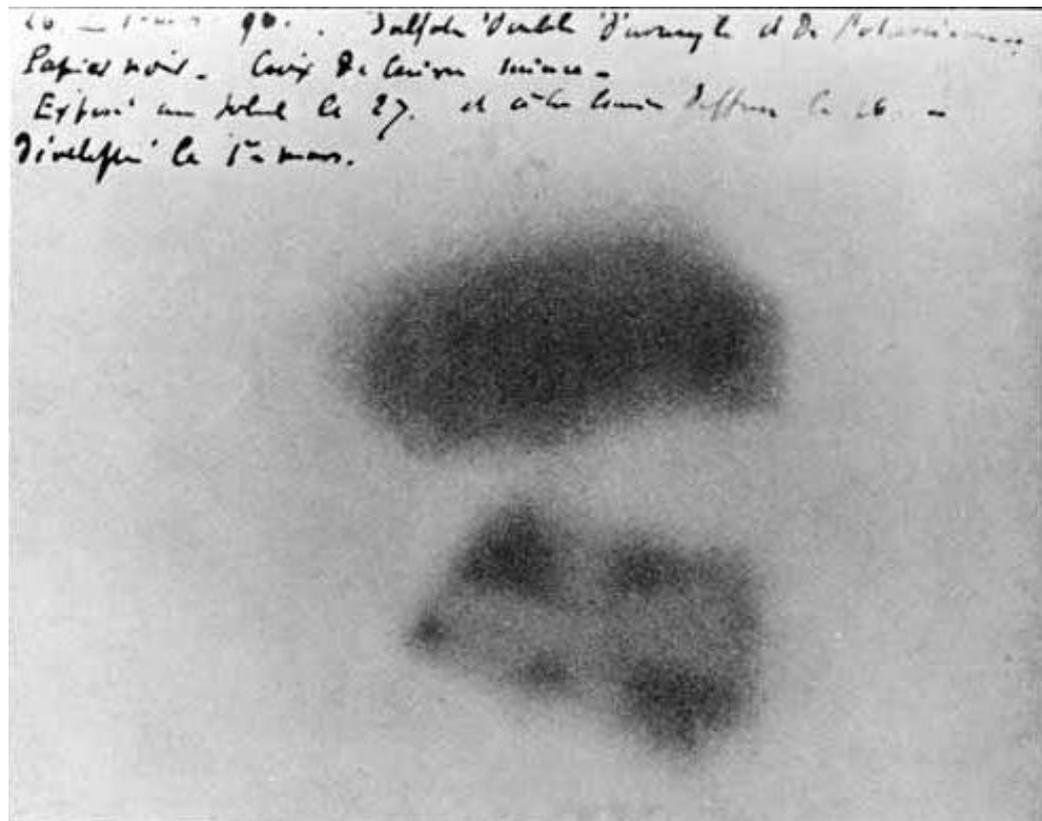
# Радиографические методы

- Методы анализа, позволяющие определять пространственное распределение элементов, называют радиографическими.
- Термин **«радиография»** дословно означает «запись излучения» (*radio* (лат.) – излучаю, *grafo* (греч.) – пишу). Вначале этот термин применялся при описании действия радиоактивных или рентгеновских излучателей на чувствительный слой фотографической пластинки или эмульсии.

**Беккерель, Антуан Анри** ( 15 декабря 1852 - 25 августа 1908 )  
**Antoine Henri Becquerel**  
Выдающийся ученый-физик, Место рождения - Париж.



Лауреат Нобелевской премии по физике (1903 г.). «В знак признания его выдающихся заслуг, выразившихся в открытии самопроизвольной радиоактивности».



Изображение фотопластинки Беккереля, засвеченной излучением солей урана (1896 г.). Видна тень металлического мальтийского креста, помещённого между пластинкой и солью урана.

# Ключевые этапы и открытия

- Л.В. Мысовский, в 1919 г. разработал метод выявления следов заряженных частиц в толстослойных эмульсиях.
- С. Гудмэн, Д. Пиктон, Г. Томпсон – **1941-1943 гг.**, первые исследования по нейтронно-активационной автордиографии
- Р.Л. Флейшер, П.Б.Прайс, Р.М.Уокер – **1959 г., 1962 г.** обнаружение следов осколков спонтанного деления урана в слюде и эффекта химического травления треков.
- **Прогресс в развитии радиографических методов связан с именами П. Кюри, И. Складовская-Кюри, Г. Хевеши, Ф. Панета, С.З. Рогинского, В.Г. Хлопина, а также Игода, С. Бовье, В.И. Баранова, Ю.А. Шуколюкова, С.Р. Пелка, В.И. Коробкова, Б.И. Брука, Э.Роджерса, Г.Н. Флерова, И.Г. Берзиной, Ю.Ф. Бабиковой, Ф. Поттса, А.Г. Миронова, Л.П. Рихванова, Е. С. Флициян и других.**

Радиографические методы выявления пространственного распределения элементов при одновременном определении их локальных и общих концентраций позволяют решать в комплексе с другими методами конкретные геологические, геохимические, минералогические, **геоэкологические задачи**. В частности, радиографические методы позволяют изучать:

- **поведение различных элементов в гидротермальных, инфильтрационных, магматических, метаморфических и осадочных процессах** (результаты исследований могут быть использованы для определения критериев поиска рудопроявлений, изучения генезиса месторождений и создания теории рудообразования);
- **процессы переотложения элементов**, которые могут фиксироваться как в виде самостоятельных минералов, выделяющихся по зонам роста или трещинам минералов, так и в виде равномерно распределенной примеси по всему объему вмещающего минерала;
- **явление сорбции минералами различных элементов**, что важно для решения генетических и технологических задач;
- **закономерности процессов перераспределения элементов** и их миграции за время существования минералов, горных пород и руд;

- потенциальные источники оруденения в экзогенно-эпигенетических месторождениях;
- особенности распределения и нахождения элементов в бедных рудах с целью увеличения эффективности технологических процессов;
- ореолы окolorудных изменений;
- пространственное и временное смещение равновесия в минералах между материнским и дочерним элементами в рядах радиоактивных распадов;
- соотношения измененных и неизмененных пород с одновременным выявлением в них наложенных процессов;
- перераспределение элементов в метасоматических процессах при образовании одних минералов по другим;
- закономерности, связанные с тепловой историей горных пород, с выявлением времени термометаморфизма;
- **пространственное распределение в биологических объектах (древесине, костях, биолитах, крови, волосах и т.д.).**

# Классификация радиографических методов

(Флеров Г.Н., Берзина И.Г., 1979)

1. Радиография, основанная на регистрации многозарядных ионов и заряженных частиц (электроны, протоны и  $\alpha$ -частицы).
  - а. Радиография, основанная на регистрации осколков **спонтанного ( $\alpha$ -авторадиография)** и **вынужденного (f-радиография)** деления тяжелых элементов.
  - б. Радиография, основанная на регистрации  $\alpha$ -частиц, образовавшихся в результате ядерных реакции.
  - в. Радиография, основанная на регистрации природного  $\alpha$ -излучения ( $\alpha$ -авторадиография).
  - г. Радиография, основанная на регистрации протонов и электронов.

*2. Рентгенорадиография и  $\gamma$ -радиография.*

*а. Рентгенорадиография.*

*б.  $\gamma$ -радиография*

*в. Локальный рентгеноспектральный метод*

*3. Активационная радиография*

*4. Нейтронная радиография.*

*а. Просвечивающая нейтронная радиография*

*б. Нейтронно-спектральная радиография*

# Радиографические методы применяющиеся на кафедре ГЭГХ

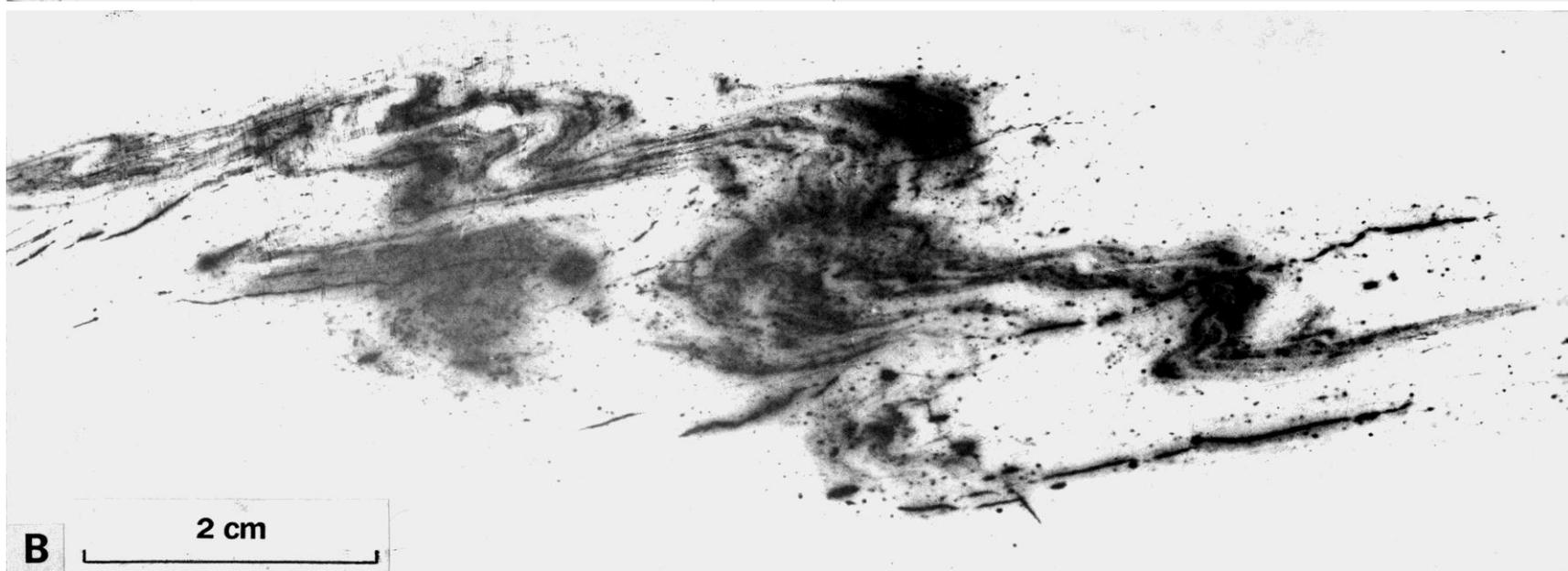
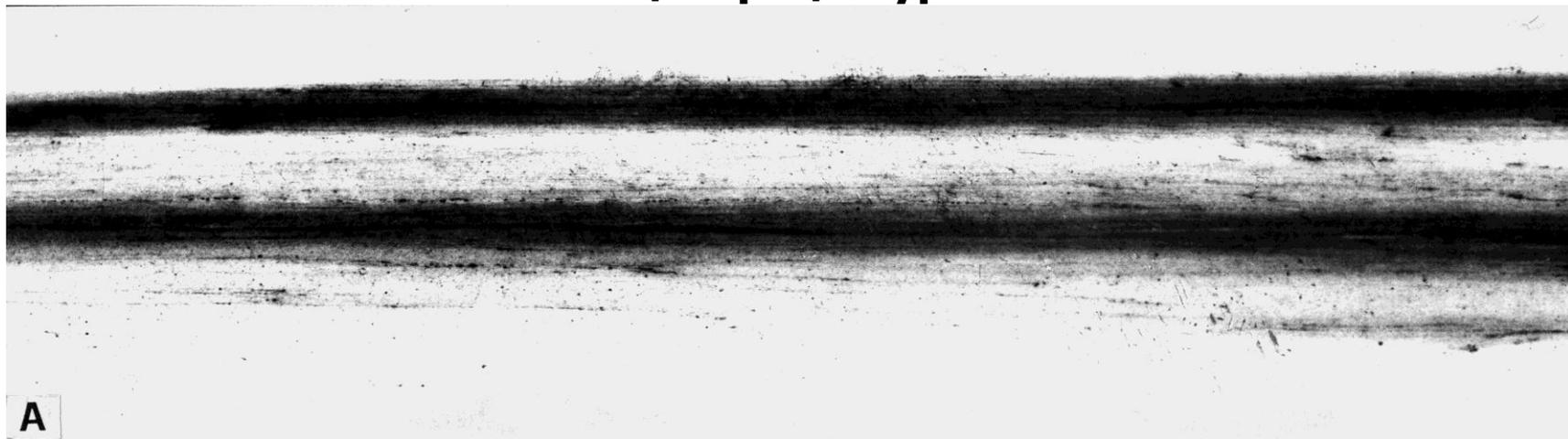
- Макрорадиография
- Микрорадиография
- Осколочная радиография (f-радиография)

# Макрорадиография

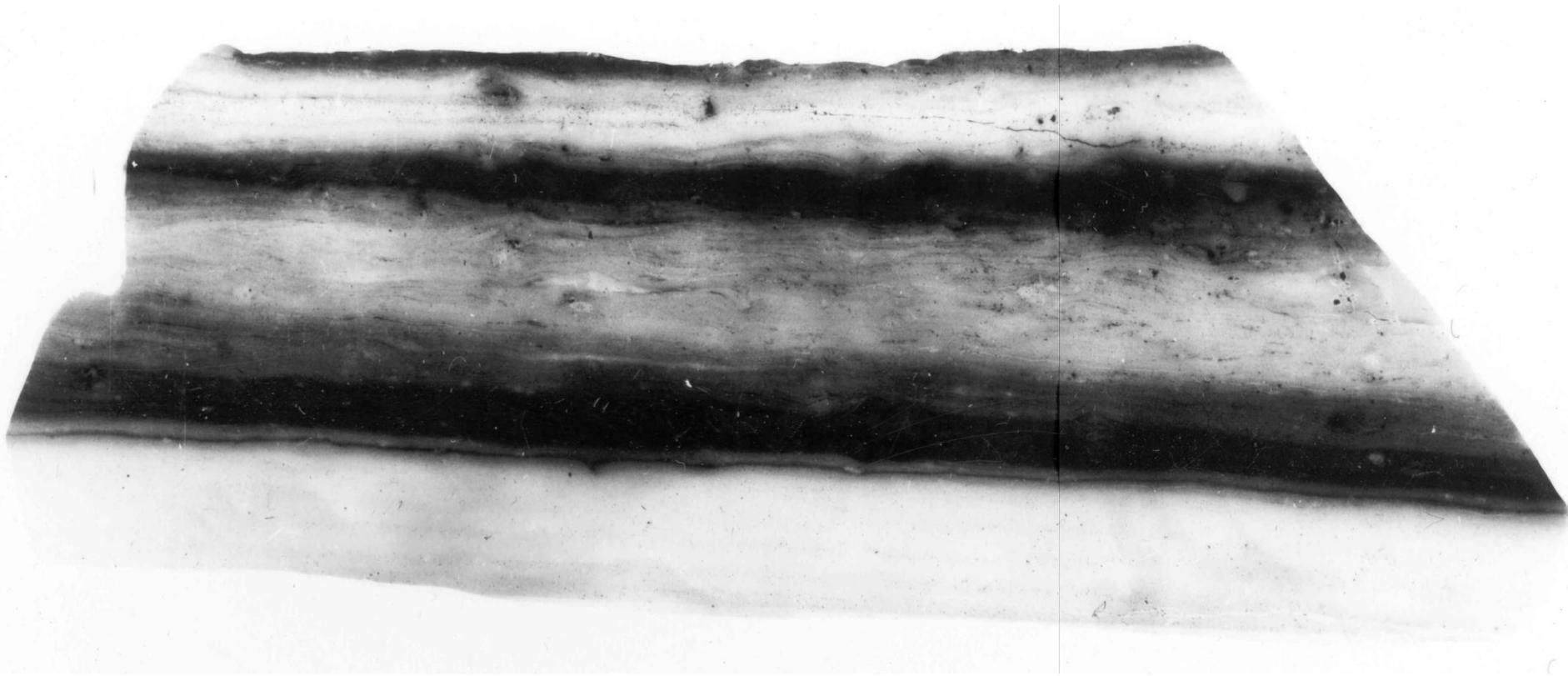
- Макрорадиография является одним из широко распространенных методов изучения характера распределения и формы выделения радиоактивных минералов в исследуемых образцах горных пород и руд.
- Он основан на способности радиоактивных веществ оказывать влияние на эмульсионный слой фотографической пластинки, фотопленки или рентгеновской пленки.
- Это выражается в почернении после проявления тех участков негатива, которые контактировали с радиоактивным минералом.

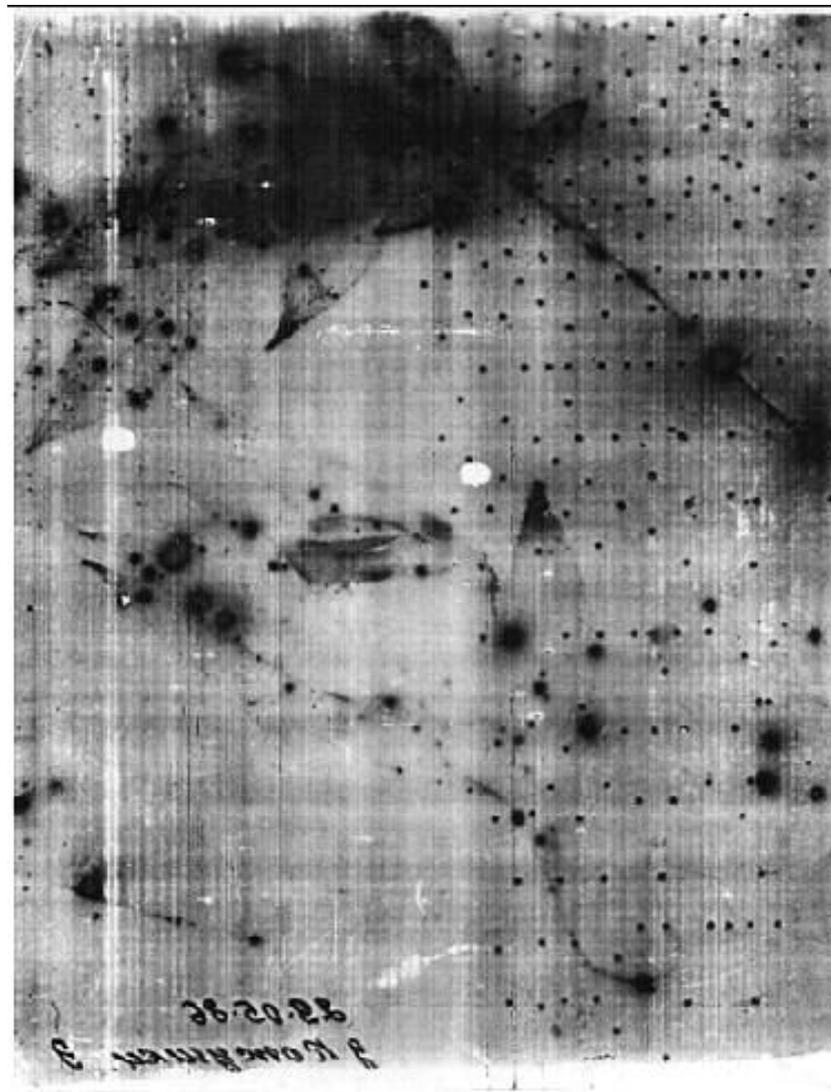
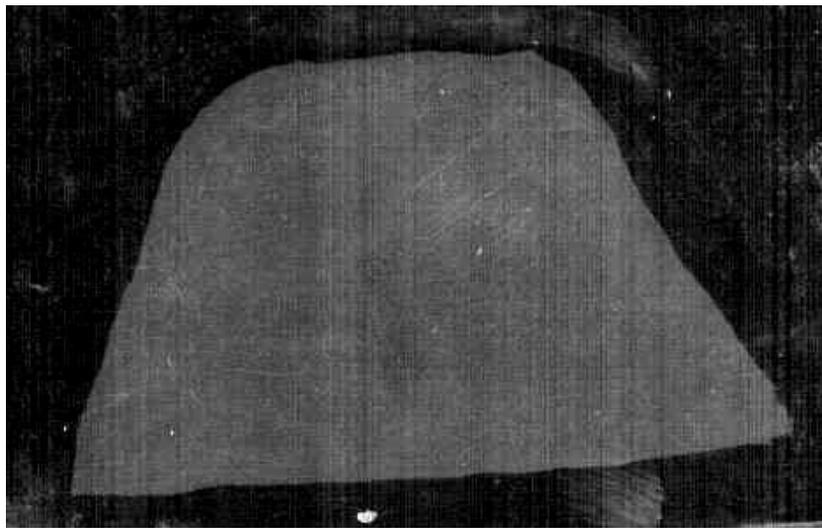
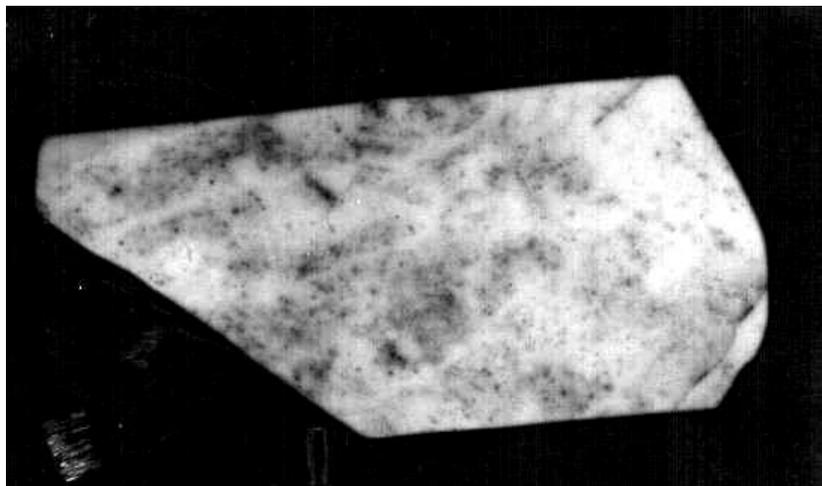
- Для макрорадиографических исследований используются фотографические пластинки и некоторые сорта фотобумаги, выпускаемые промышленностью для обычной фотографии.
- Основным критерием, определяющим пригодность фотоматериалов для целей радиографии, являются высокая разрешающая способность эмульсий, их мелкозернистость и малая вуалирующая способность.
- Наиболее удачным материалом для получения радиографических снимков могут быть рентген-безэкранный пленка, рентген-пленки «Agfa», «Codak» и др.

**Контрастные альфа-авторадиограммы ураноносных черных сланцев В.Саяна. Максимальная плотность почернения, соответствует тах концентрации урана.**



Контрастная бета-авторадиограмма ураноносного черного сланца В.Саяна. Максимальная плотность почернения, соответствует  $\max$  концентрации урана



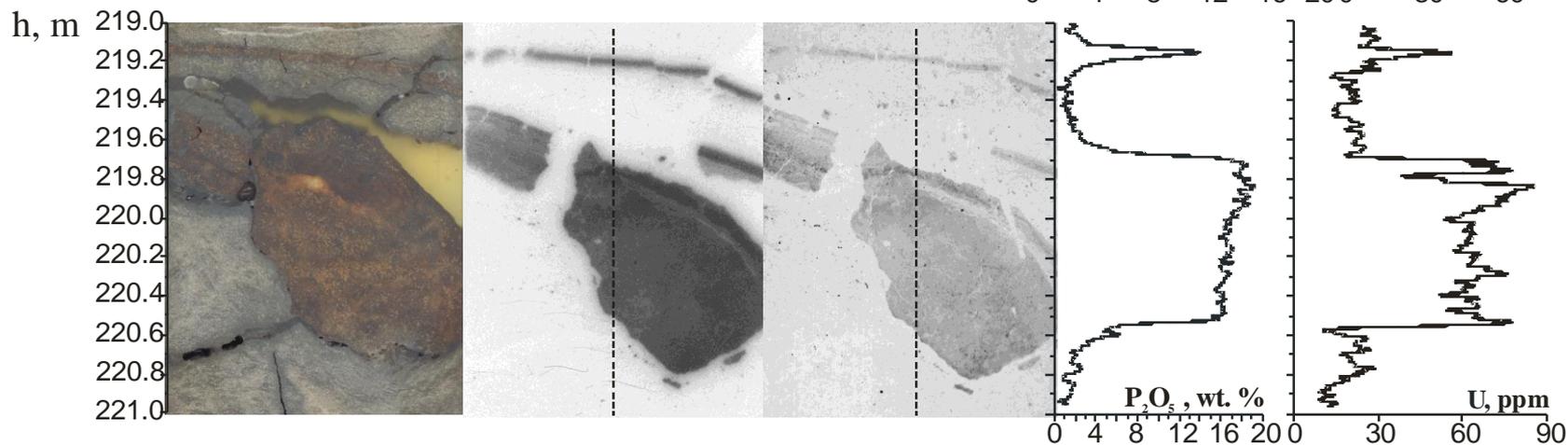
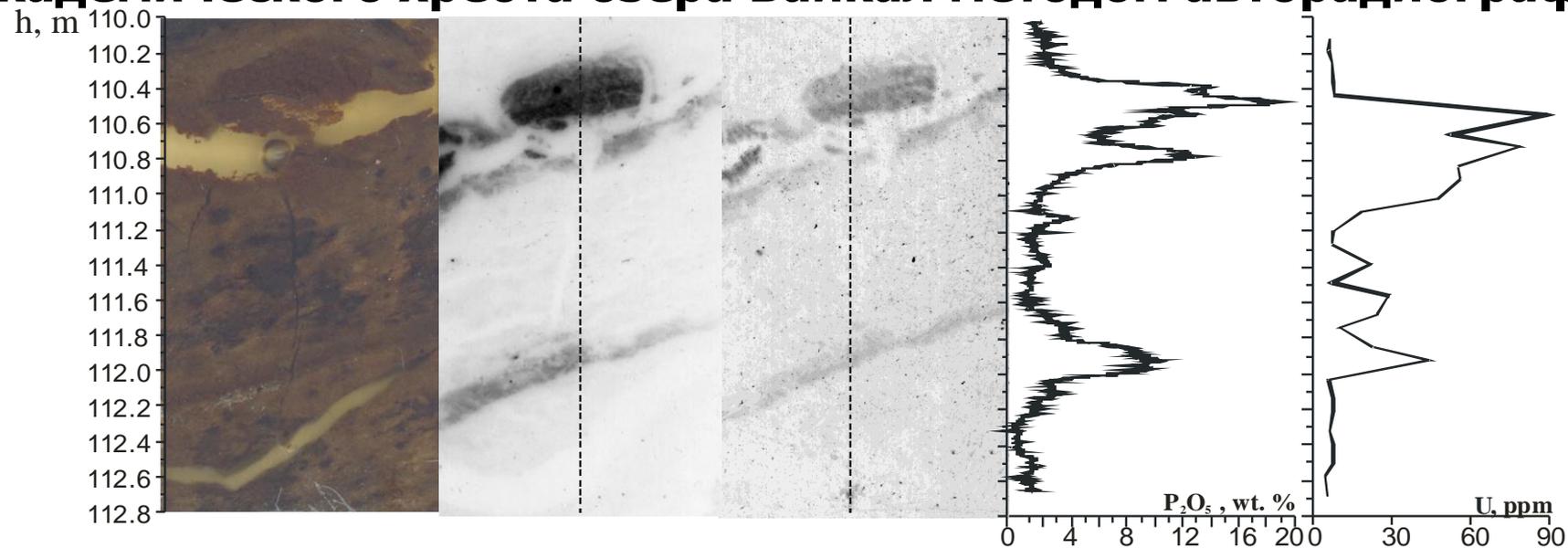


## **Методика макрорадиографических исследований достаточно проста и заключается в следующем:**

- В полной темноте лист рентгеновской пленки кладется на совершенно гладкую поверхность.
- На нее накладываются шлифы и пришлифовки так, чтобы их полированные стороны плотно прилегали к пленке.
- После того как все предназначенные для работы объекты уложены на лист рентгеновской пленки, необходимо отметить на пленке номера шлифов и обвести их контур для последующего сопоставления радиографии и шлифов, с которых они получены.
- Лучше всего это сделать методом «засвечивания».

- После «засвечивания» пленку с наложенными шлифами убирают в светонепроницаемый ящик для экспозиции. **Время экспозиции** зависит от радиоактивности минералов.
- Оно колеблется **от нескольких часов до нескольких суток**. По истечении этого срока шлифы аккуратно снимают с пленки, которую затем (в полной темноте) проявляют и фиксируют обычным порядком

# Результаты изучения колонок донных отложений с Академического хребта озера Байкал методом автораддиографии



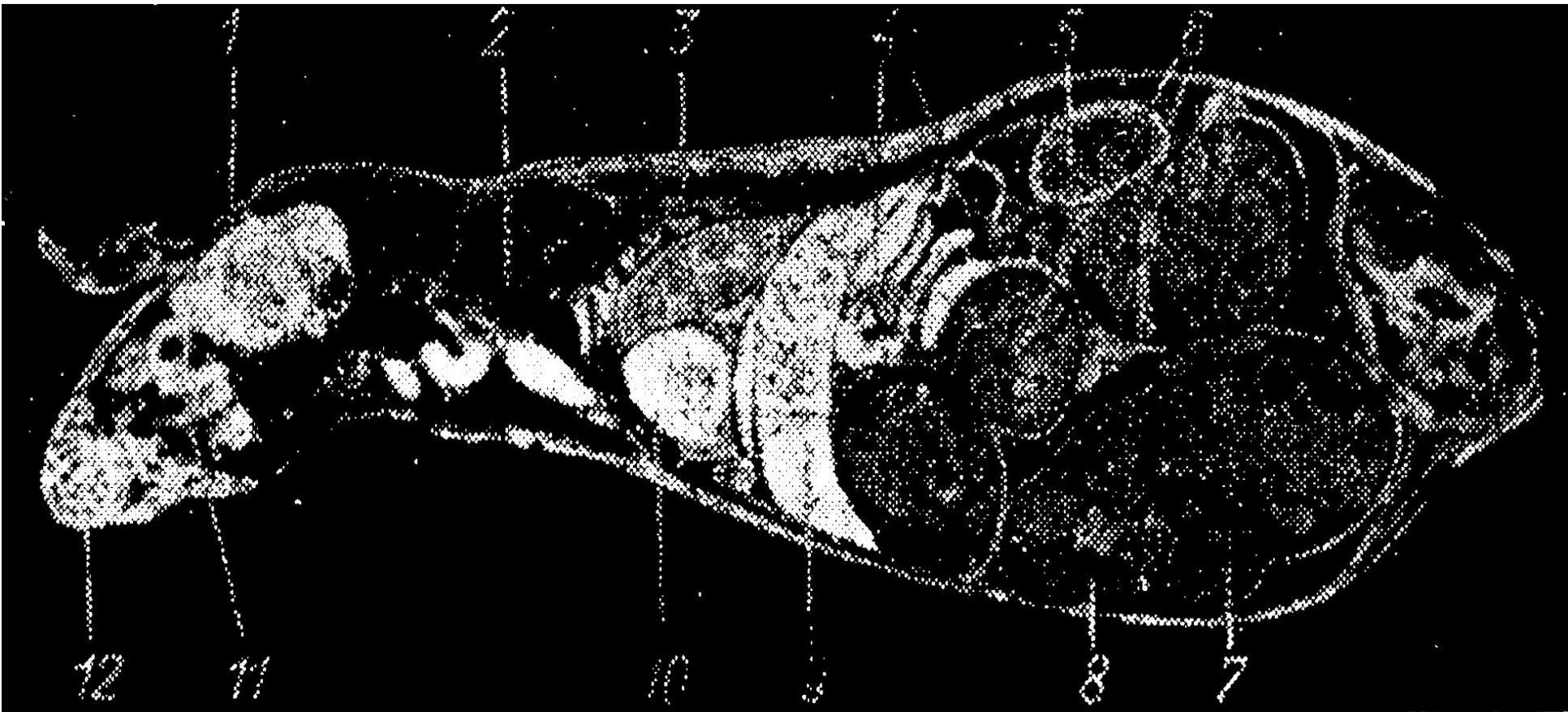
a – образец; b – (n, $\beta$ )-автораддиограмма; c – (n,f)-автораддиограмма; d – распределение фосфора, e – распределение урана.

- У некоторых животных и растений, обитающих на территориях с высокой природной радиоактивностью, в различных их органах происходит накопление естественных радионуклидов.

- Так, доктор Войс на совещании в г. Гомель (1990 г.) сообщал, что от крыс и растений района Пасус-де-Кальдос (Бразилия), получают контрастные радиографические отпечатки на фоточувствительных материалах.



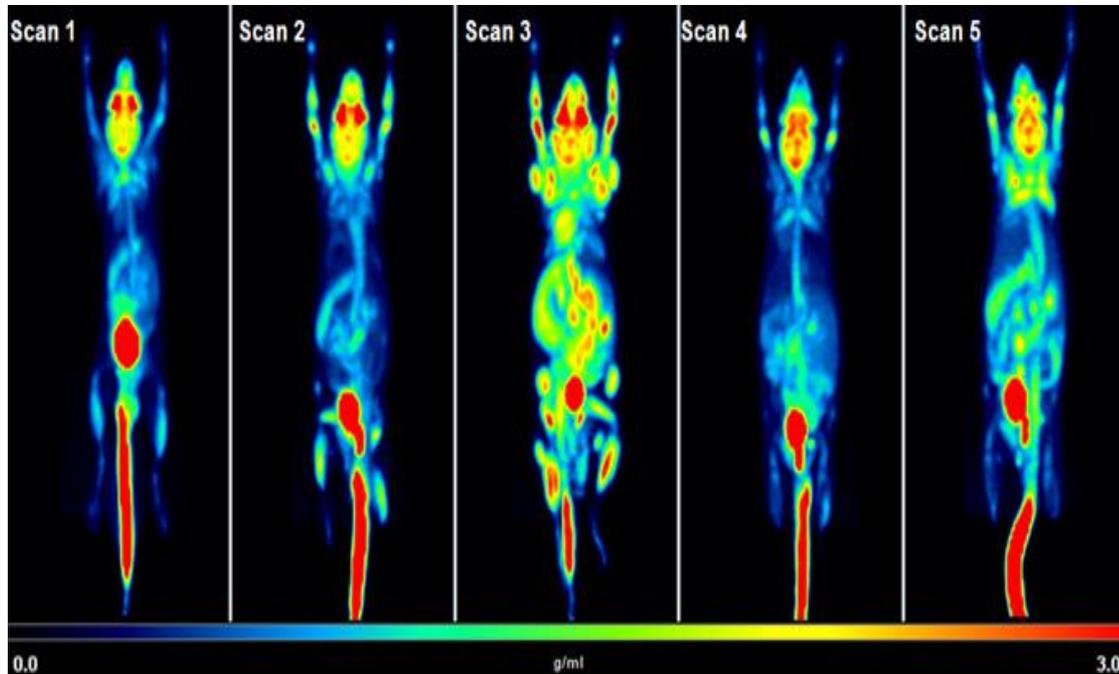
**Авторадиография** растения *Adiantum* из района Паус-де-Кальдос, штат Минас-Жейрас (Бразилия).



## **Авторадиография мышцы**

**Рентгеновская плёнка. Негатив. Светлое - места концентрации радионуклида**

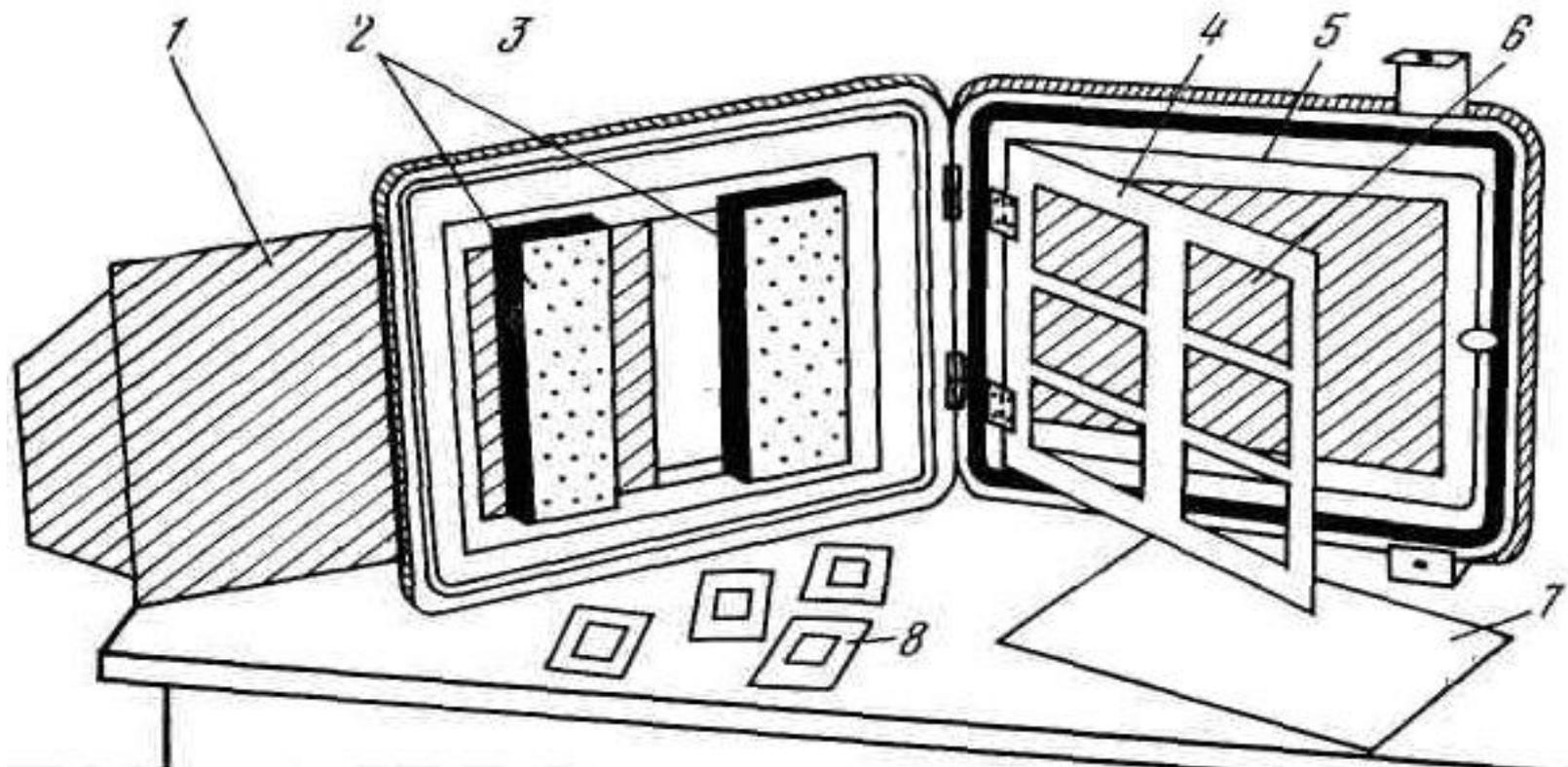
- **Цифровая автордиография** (информацию о качественном распределении радиации в различных образцах)



## Микрорадиография

- Микрорадиографии аншлифов и непокрытых шлифов выполняются на специальных толстослойных пластинках (или пленках) с мелкозернистой эмульсией светочувствительного слоя. Они позволяют воспроизводить мельчайшие детали размещения рудного вещества. Толстослойные фотоматериалы бывают разных видов, чувствительные как к  $\alpha$ -, так и к  $\beta$ -излучениям.
- Метод микрорадиографий с помощью толстослойных пластинок с высокой чувствительностью к  $\alpha$ -частицам позволяет: **выявить количественную сторону радиоактивности путем подсчета  $\alpha$ -треков на единицу площади в единицу времени излучения;** установить источник и природу радиоактивного излучения на основе разницы между максимальными длинами пробегов  $\alpha$ -частиц для элементов ряда урана – актиния и тория.

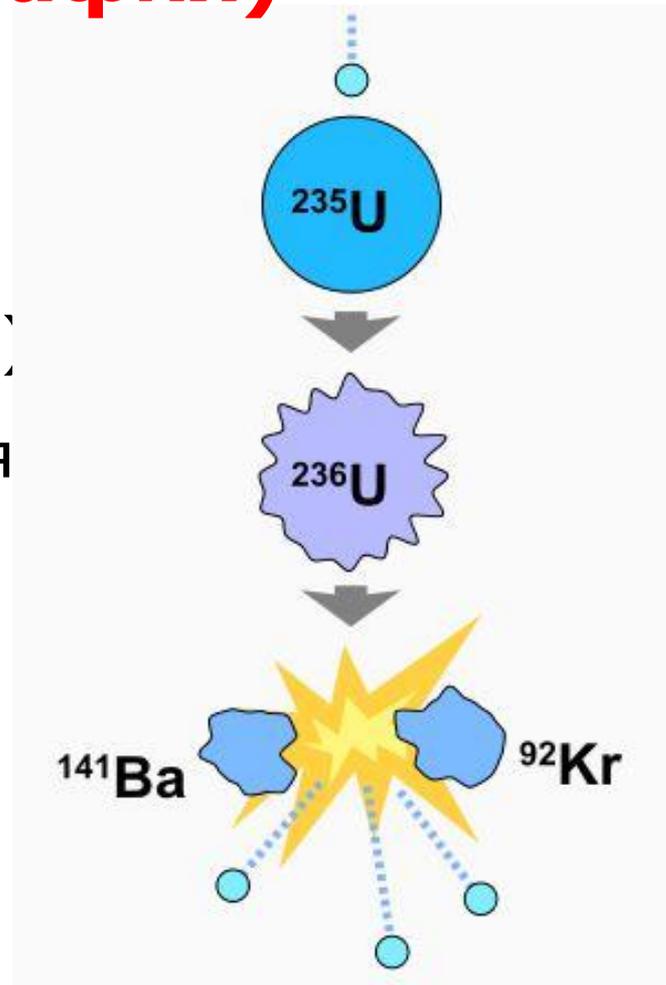
- Для получения микрорадиографий используются обычные (толщиной 0,03 мм) непокрытые шлифы. Они размещаются на чувствительной к  $\alpha$ -лучам толстослойной пластинке размером, 9x12.
- Удобны в работе специальные кассеты, в которых обеспечивается плотное, равномерное прилегание шлифа к фотоэмульсионному слою и исключается возможность скольжения шлифа по эмульсии во время экспонирования. С помощью открывающейся шторки этой кассеты можно высветить номер шлифа для последующей идентификации с радиографией.



*Кассета для экспонирования микрорадиографий шлифов:  
 1 – шторка, позволяющая высвечивать номера шлифов на фотопластинке; 2 –  
 полоски пористой резины, равномерно прижимающие экспонирующую часть шлифа;  
 3 – крышка кассеты; 4 – рамка; 5 – основание кассеты с углублением для  
 фотопластинки; 6 – окна для шлифов; 7 – фотопластинка; 8 – шлифы*

# Осколочная радиография (f- радиография)

Метод осколочной радиографии (f-радиография) основан на процессе деления ядер урана и тория под воздействием тепловых нейтронов в ядерном реакторе.



- Метод f-радиографии позволяет с высокой чувствительностью и точностью выявлять пространственное распределение урана и тория при одновременном определении локальных и общих концентрациях.
- **Метод обладает повышенной чувствительностью (порог чувствительности порядка  $n \cdot 10^{-10}$  г/г) и** применяется как для качественных, так и для количественных определений радиоактивных элементов в образцах пород и минералов с кларковыми и закларковыми их содержаниями

- Принципиальная возможность определения содержаний урана в различных материалах основана на том, что **осколки спонтанного или вынужденного деления ядер тяжелых элементов оставляют в окружающей среде дефектные области (треки)**, которые могут быть обнаружены под микроскопом после химического травления исследуемой поверхности.
- **Для образования осколков от вынужденного деления ядер урана необходимо исследуемый образец облучить потоком тепловых нейтронов** (интегральный поток порядок  $10^{12}$ – $10^{16}$  част./см<sup>2</sup> в зависимости от содержания урана в образце). Вынужденное деление при этом испытывают только **ядра атомов урана-235**, относительное число актов деления других элементов весьма незначительно.



**Свечение Вавилова-Черенкова**



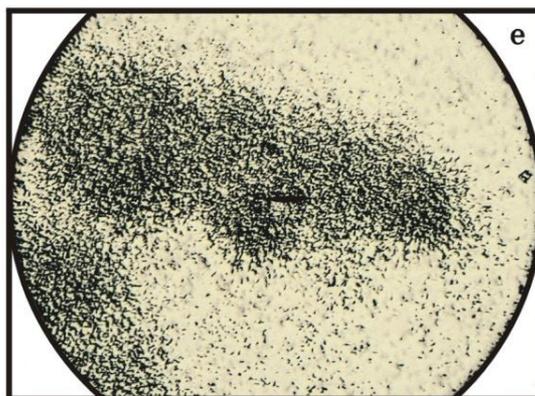
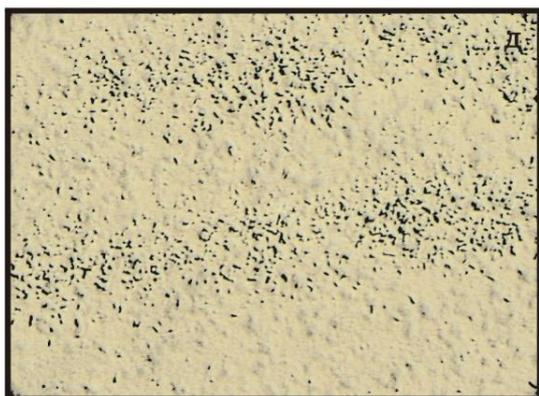
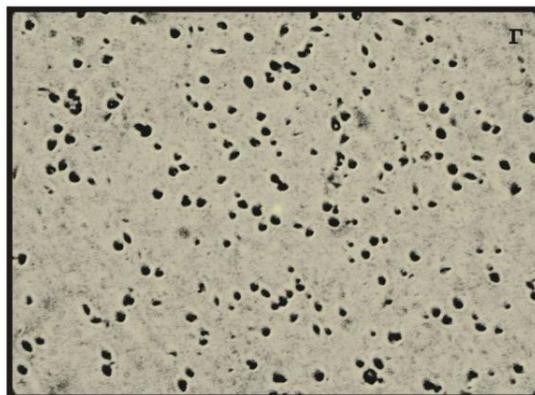
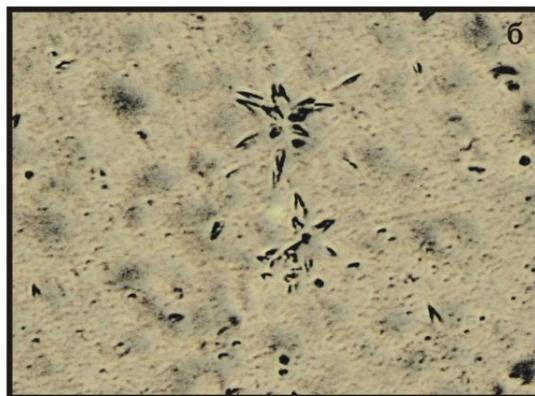
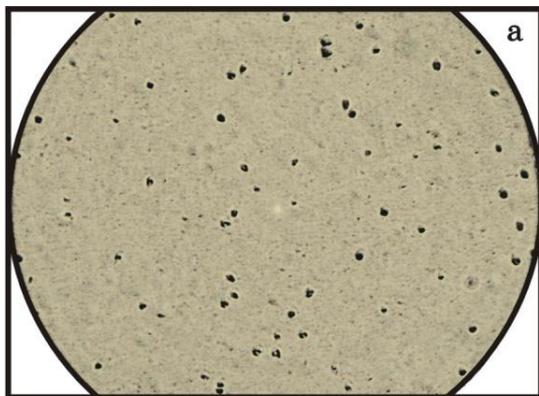
**Общий вид исследовательского  
ядерного реактора ТПУ**

- Регистрация следов от осколков вынужденного деления урана осуществляется с помощью соответствующих детекторов.
- При содержании урана не меньше  $10^{-10}$  г/г в качестве детектора **применяется лавсановая пленка толщиной 15–40 мкм, при более низких содержаниях – синтетическая слюда**, содержание урана в которой меньше, чем в исследуемом образце или стекло.
- **Плотность следов, полученная на лавсане, пропорциональна содержанию урана в образце,** величине нейтронного потока и некоторым постоянным, характеризующим детектор и образец.



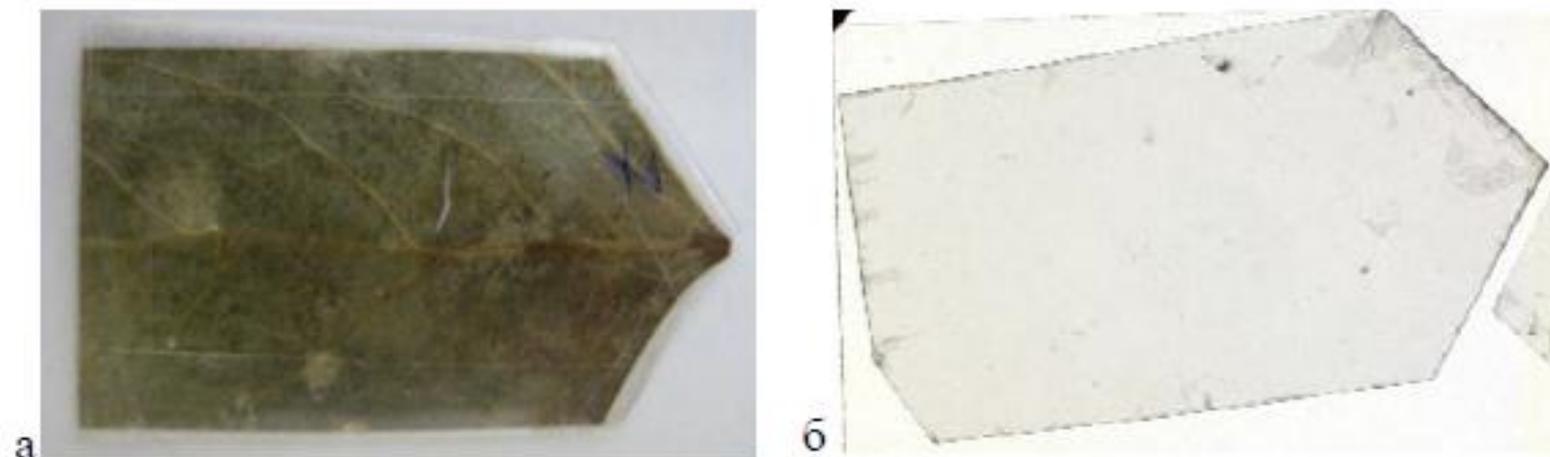
Лавсан

Синтетическая слюда



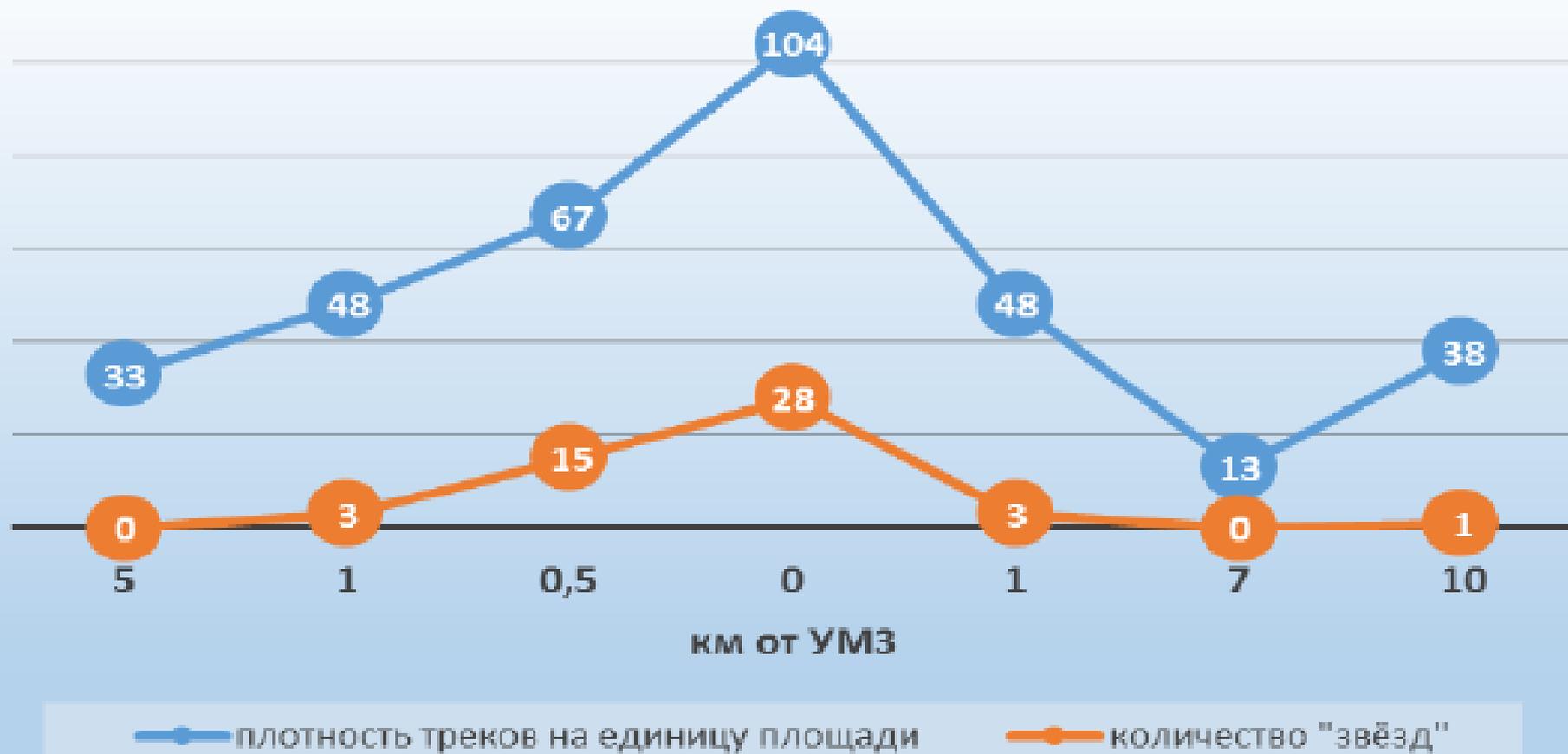
*Характер распределения урана в углях по данным f-радиографии.  
Лавсановый детектор:  
а – Равномерное распределение.  
Увеличение 150Х.; б – Включения урансодержащих акцессориев ("звезды").  
Увеличение 300Х.; в – Включения урансодержащих акцессориев ("звезды") с зоной обогащения ураном. Увеличение 300Х.; г – Сетчатое распределение урана. Увеличение 250Х.; д – Линейные зоны обогащения ураном. Увеличение 100Х.; е – Скопление треков субизометричной формы. Увеличение 100Х*

# F-радиография растений



(Ялалтдинова А.Р., 2015)

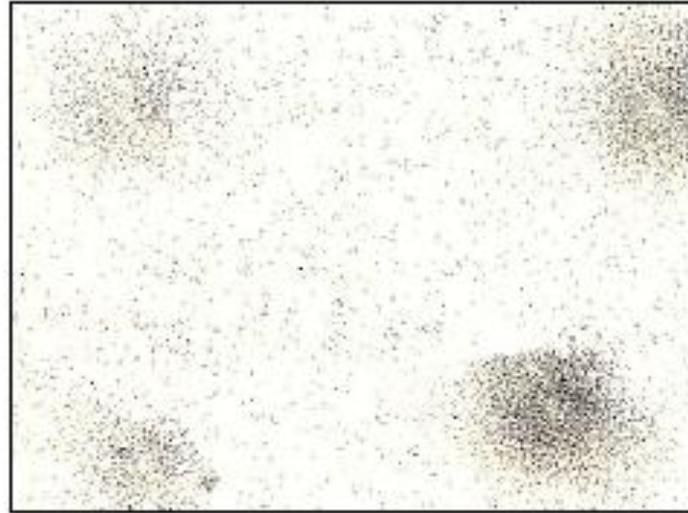
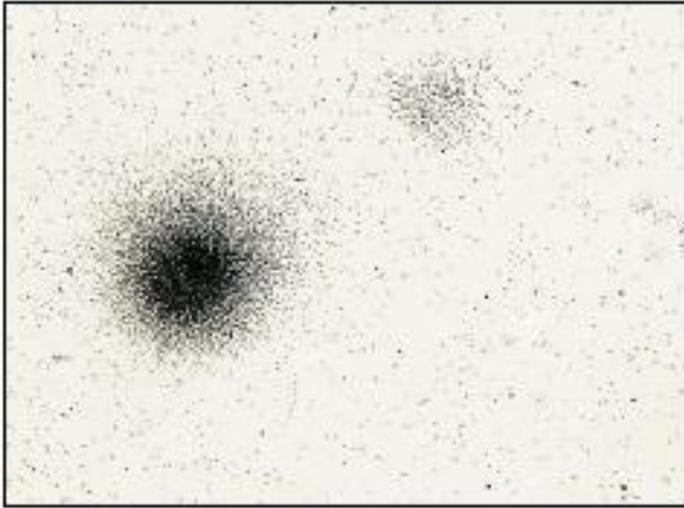
Подготовка пробы к f-радиографии: а – прямоугольный участок **листа тополя** с закрепленными детекторами; б – детектор после облучения и травления



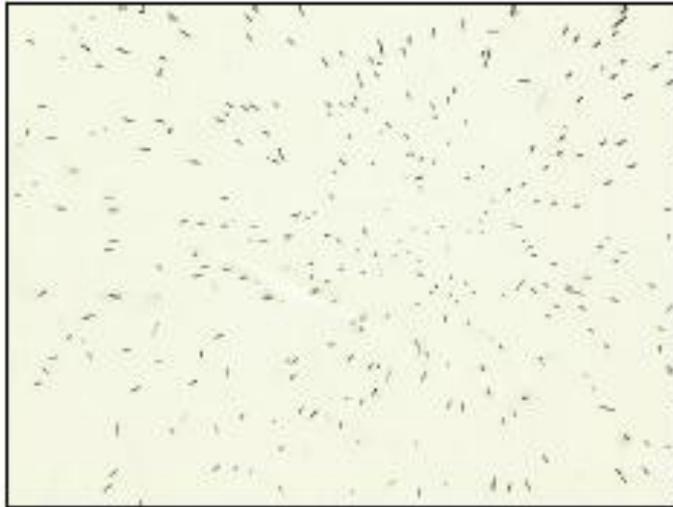
(Ялалтдинова А.Р., 2015)

Изменение формы нахождения урана (плотности треков, количества неоднородностей) по мере удаления от Ульбинского металлургического завода

а)



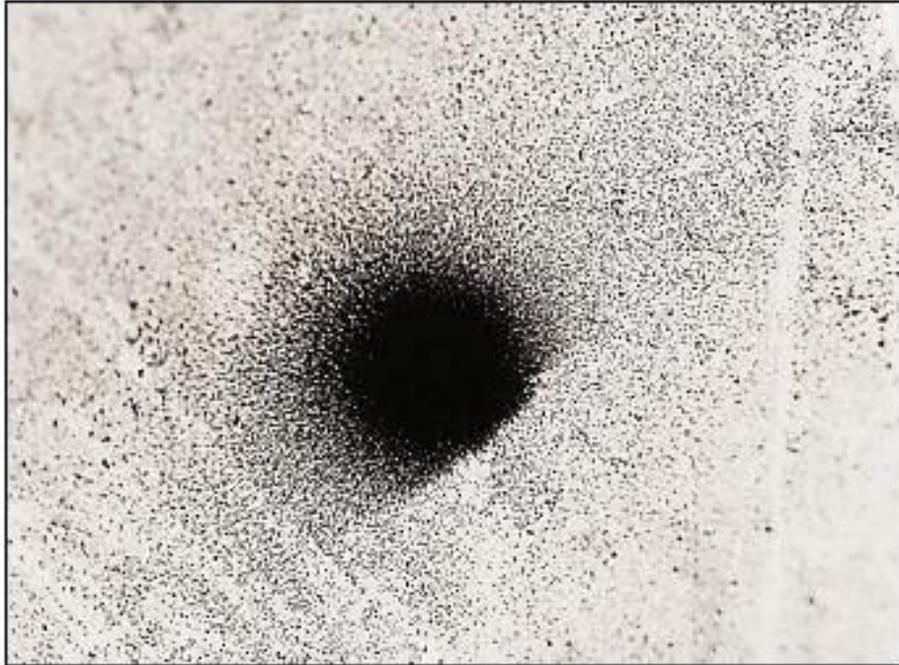
б)



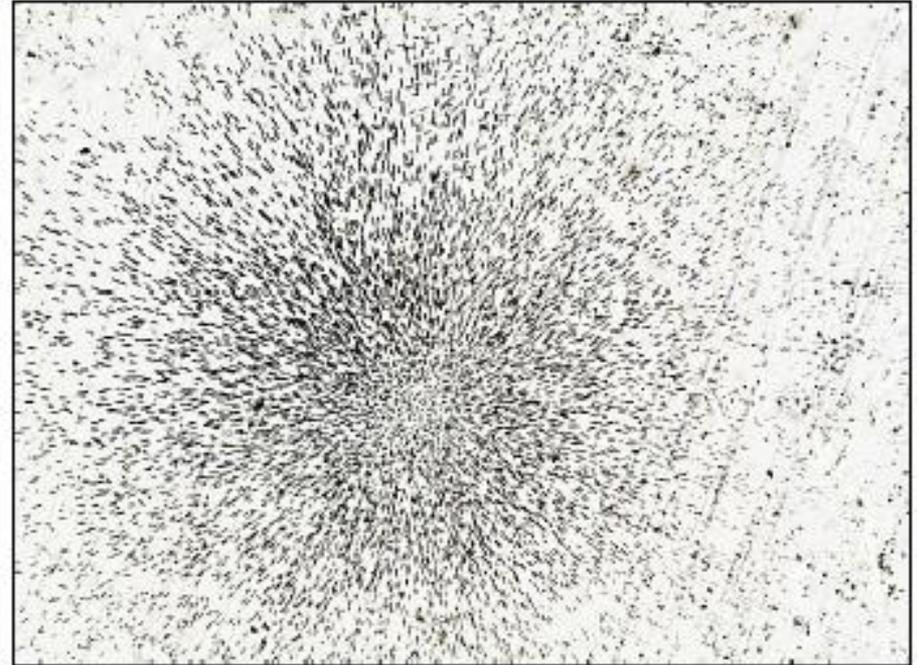
(Ялалтдинова А.Р., 2015)

**Формы нахождения  
делящихся радионуклидов  
(U) в листе тополя,**  
произраставшего вблизи  
Ульбинского металлургического  
завода по данным  
f-радиографии : а –  
микровключения собственных  
минералов урана, увел. 50;  
б – молекулярная форма  
неструктурного рассеяния, увел.  
200

а)



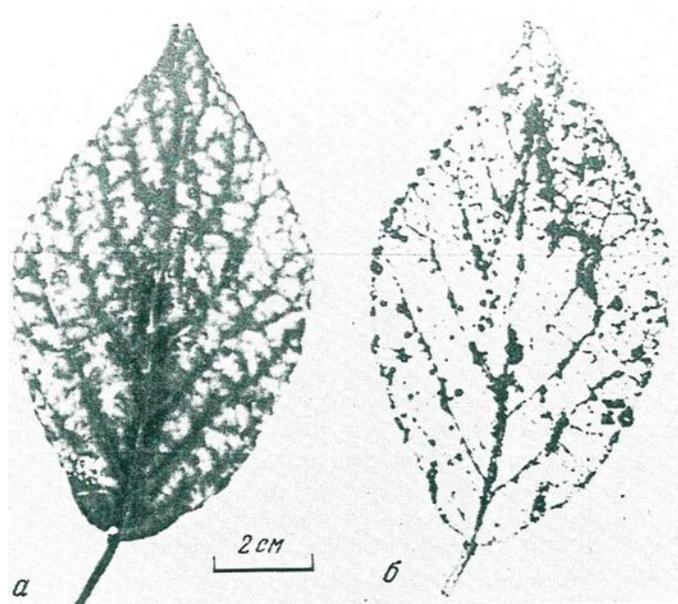
б)



(Ялалтдинова А.Р., 2015)

«Звезды», образовавшиеся при индуцированном делении радионуклидов (U), в пробе, отобранной на расстоянии 0,5 км от Ульяновского металлургического завода, а) увел. 50, б) увел.100

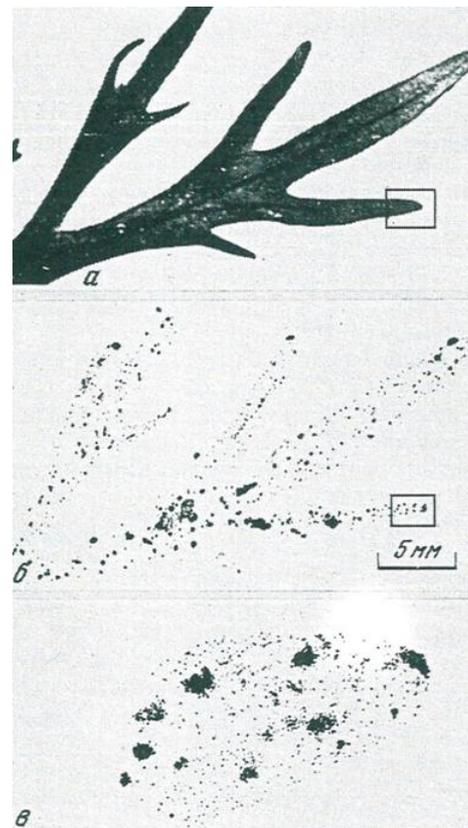
## Биогеохимическая индикация природно-техногенных территорий методами радиографии (на примере Стрельцовского рудного района и района Чернобыльской АЭС)



### Распределение урана в листе

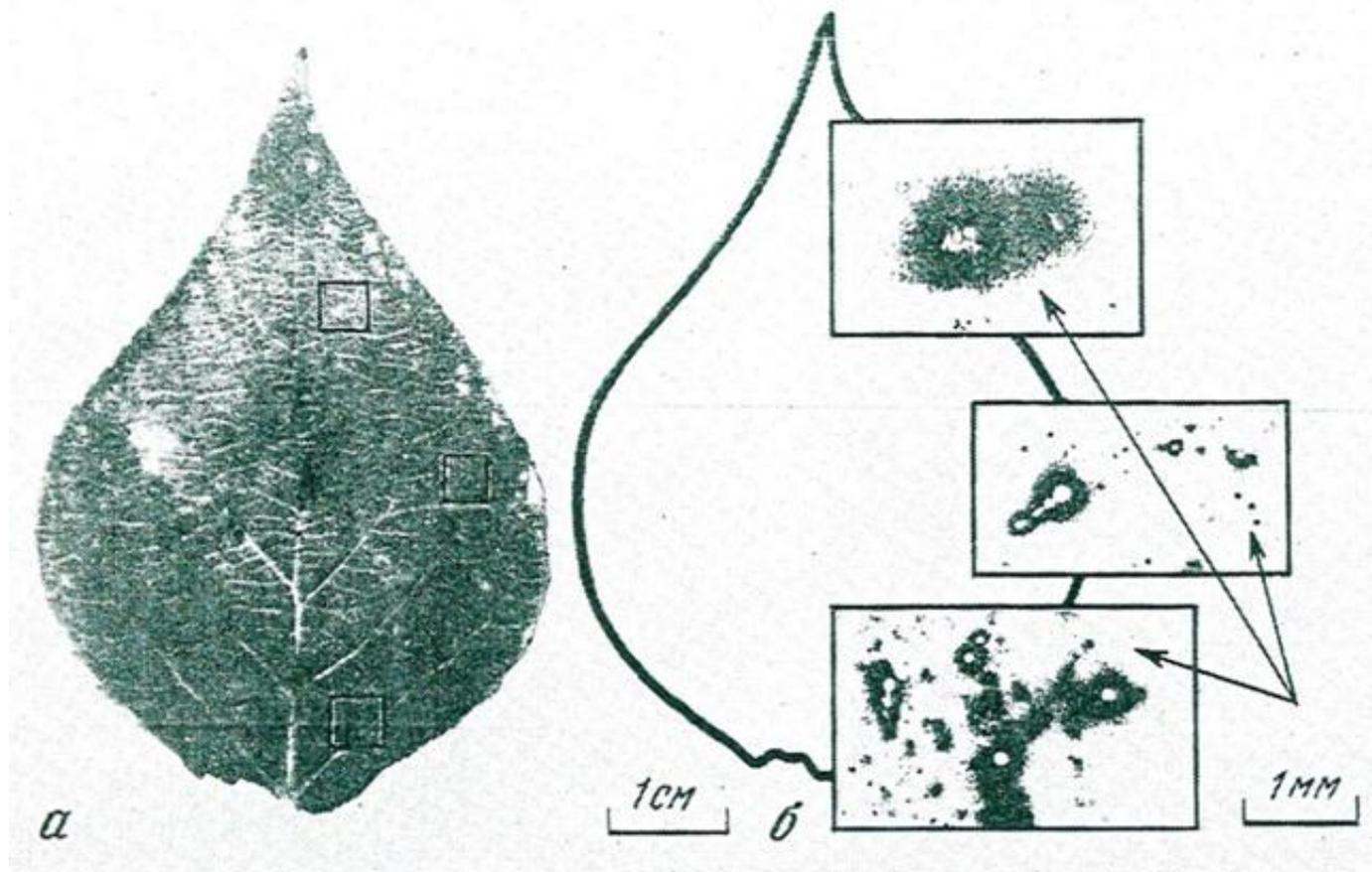
**тополя**, произрастающего вблизи отвалов уранового месторождения: а – лист тополя, б – детектор.

(Берзина И.Г., 1993)



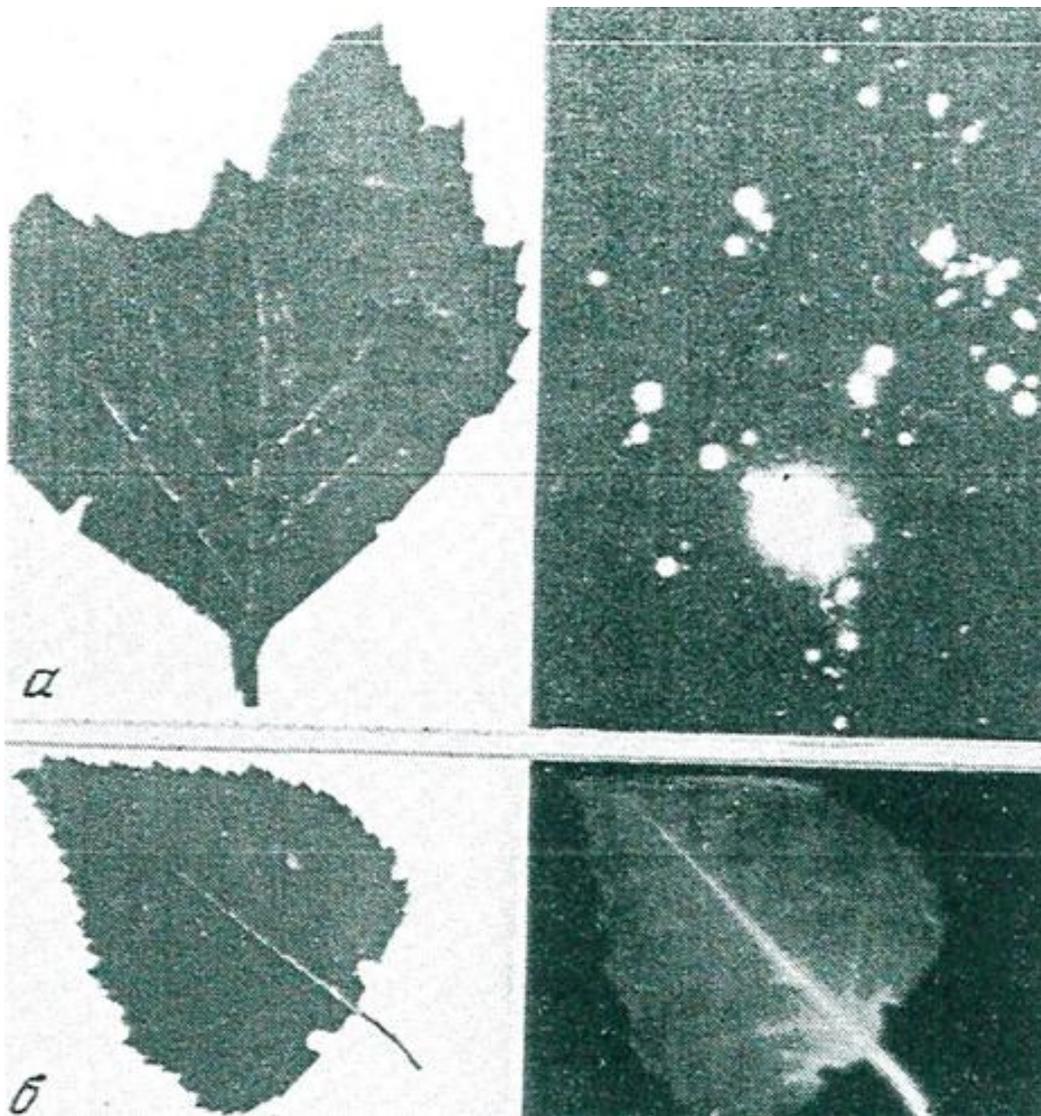
### Распределение урана в листе

**полыни**, произрастающей вблизи уранового месторождения: а – лист полыни, б – общий вид детектора, в – часть детектора при большем увеличении.



**Распределение урана в листе тополя, произрастающего в 20 км от уранового месторождения: а – лист тополя, б – детектор.**

*(Берзина И.Г., 1993)*



**Распределение  
гамма-излучателей  
в листьях березы в  
Чернобыльской  
зоне:**

а – 1986 г.,  
б – 1991 г.

(Берзина И.Г., 1993)

Проведенные И.Г. Берзиной (1993), Л.П. Рихвановым, Т.А., Архангельской (2002), А.Р. Ялалтдиновой (2015) геоэкологические исследования показали, что с помощью растений методами радиографии можно с высокой чувствительностью, точностью и наглядностью выявлять ореолы радиоактивного загрязнения окружающей среды, определять различные типы излучателей и выявлять пути поступления радиоактивных элементов в растения.

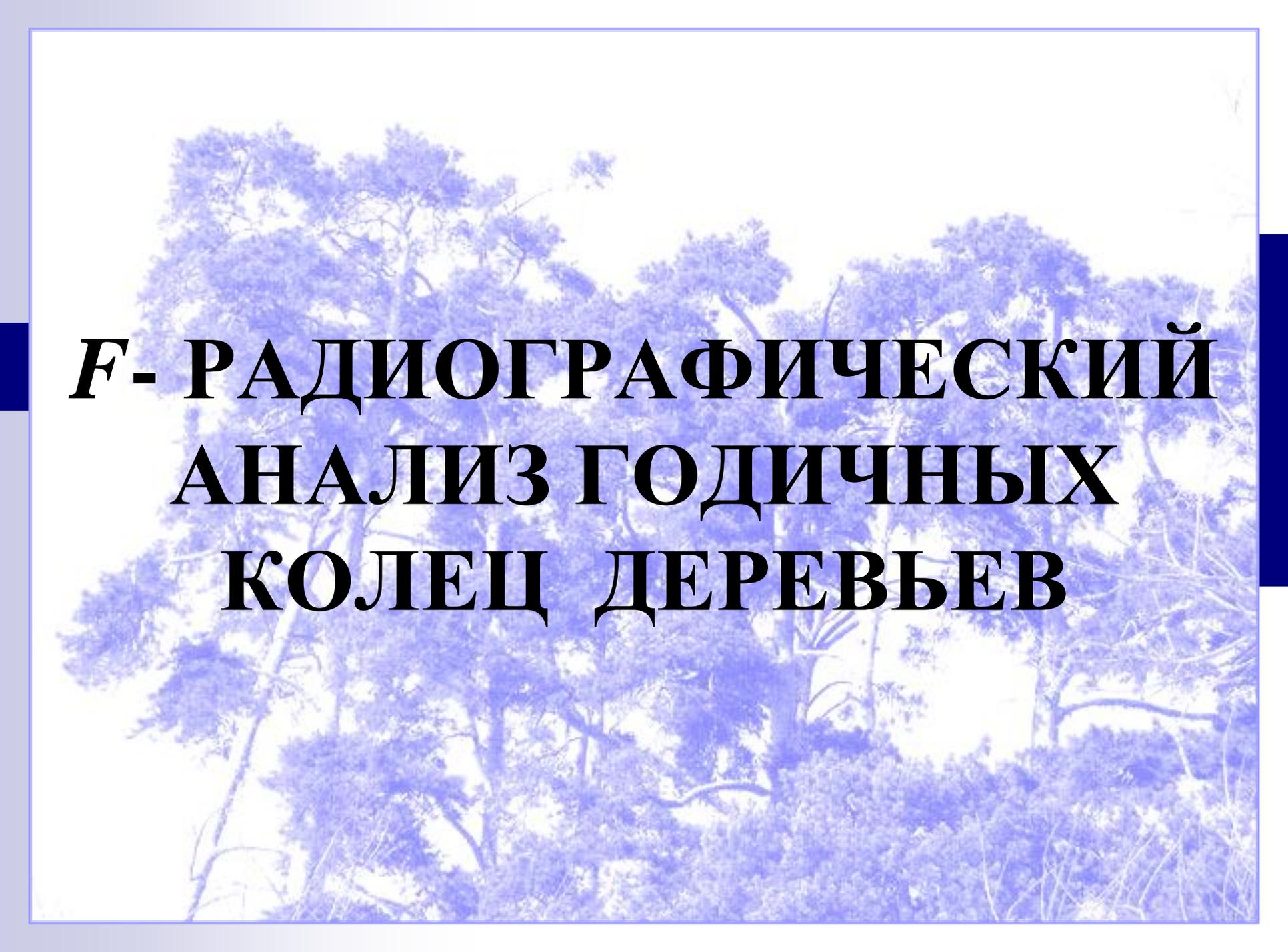
## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Берзина И.Г. Выявление радиоактивного загрязнения окружающей среды методом радиографии // Геохимия, 1993. - №3, с. 449-456.

Рихванов Л.П., Архангельская Т.А., Несветайло В.Д. Изучение уровня и динамики накопления делящихся радионуклидов в годовых кольцах деревьев // Геохимия, 2002. № 11.

Флеров Г.Н., Берзина И.Г. Радиография минералов, горных пород и руд. М.: Атомиздат, 1979. – 224 с.

Ялалтдинова А. Р. Элементный состав растительности как индикатор техногенного воздействия на территории Г. Усть-Каменогорска: дис. ... канд. геол-минерал. наук. – Томск, 2015. – 172 с.



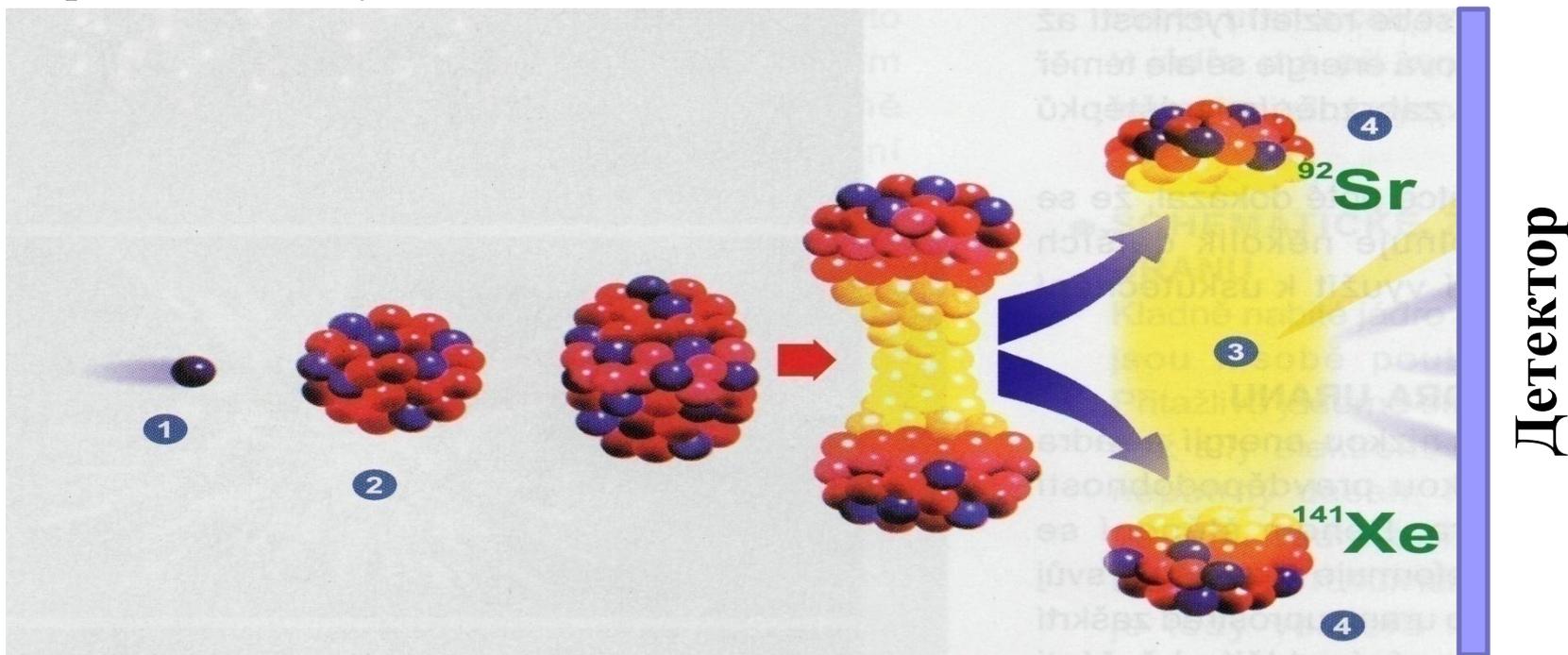
***F*- РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ  
АНАЛИЗ ГОДИЧНЫХ  
КОЛЕЦ ДЕРЕВЬЕВ**



Применение метода *f*-радиографии для исследования годовичных колец деревьев позволяет оценивать содержание *делящихся радионуклидов* ( $^{233,235}\text{U}$ ,  $^{239,241}\text{Pu}$ ,  $^{241,242}\text{Am}$ ) накопленных в годовичных кольцах деревьев.

## Сущность метода:

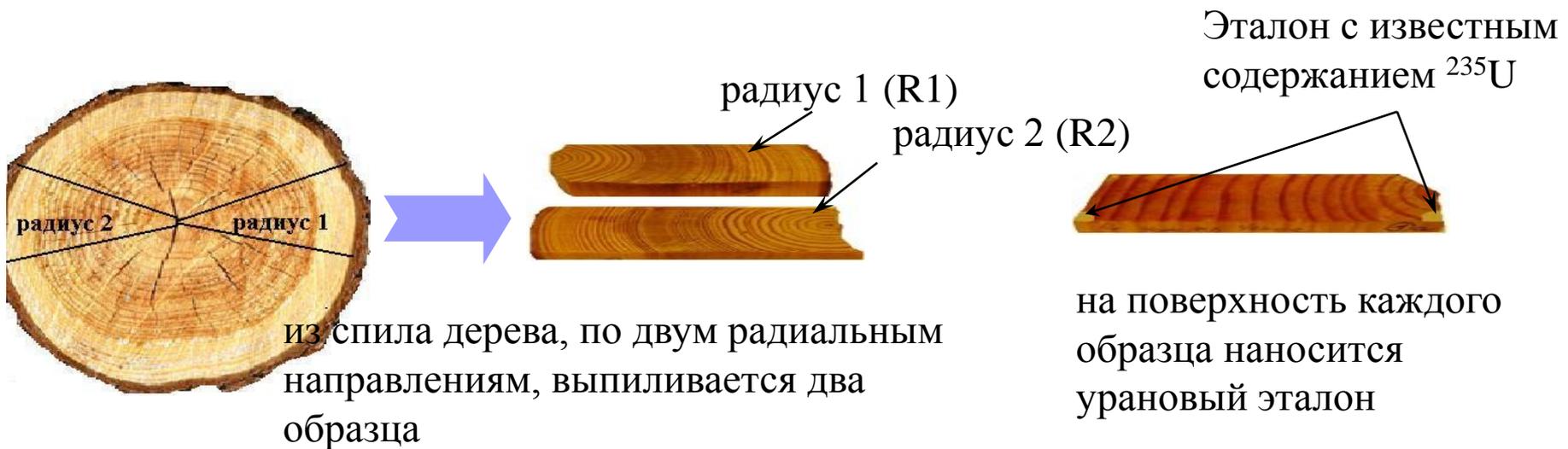
**Метод f-радиографии (осколочной радиографии)** - ядерно-физический метод анализа, позволяющий с высокой чувствительностью выявлять пространственное распределение делящихся радионуклидов и определять их локальные и общие концентрации в исследуемом объекте



1- нейтрон; 2 – ядро  $^{235}\text{U}$  ( $^{239,241}\text{Pu}$ ,  $^{241,242}\text{Am}$ ); 3 – деление; 4 – осколки деления

**Детектор** – лавсановая пленка, регистрирует следы от осколков деления (треки). Количество треков, зафиксированных на детекторе, пропорционально содержанию делящихся радионуклидов в исследуемом объекте

## 1. Подготовка образцов древесины для $f$ -радиографического анализа



к каждому образцу приклеивается детектор – лавсановая пленка



подготовленные образцы помещаются в контейнер из алюминиевой фольги для облучения в реакторе

*Оптимизация отбора и подготовки образцов древесины для  $f$ -радиографического анализа*

1.



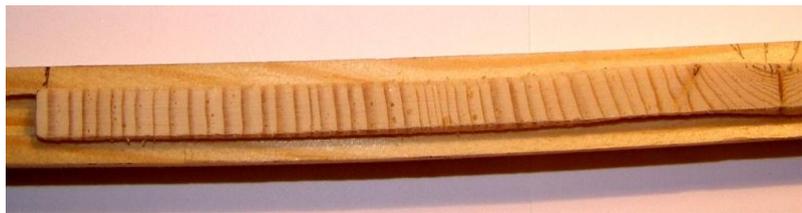
Керны древесины

2.



Керн древесины, наклеенный на деревянную основу

3.



Образец древесины с зачищенной поверхностью

4.



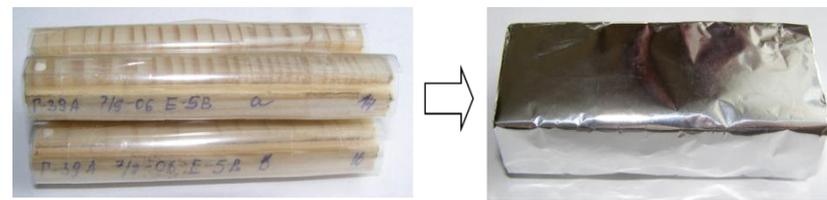
Образец, на поверхность которого нанесен урановый эталон и лавсановый детектор

5.



Образцы, покрытые трехкратным слоем лавсановой пленки

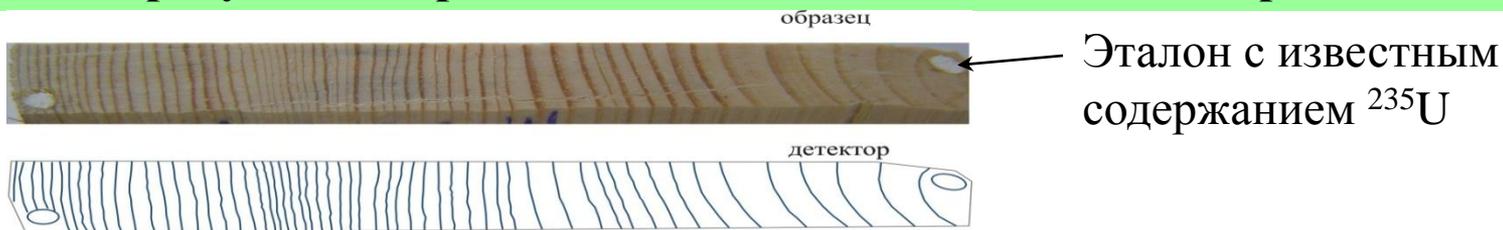
6.



Упаковка образцов для облучения в канале реактора

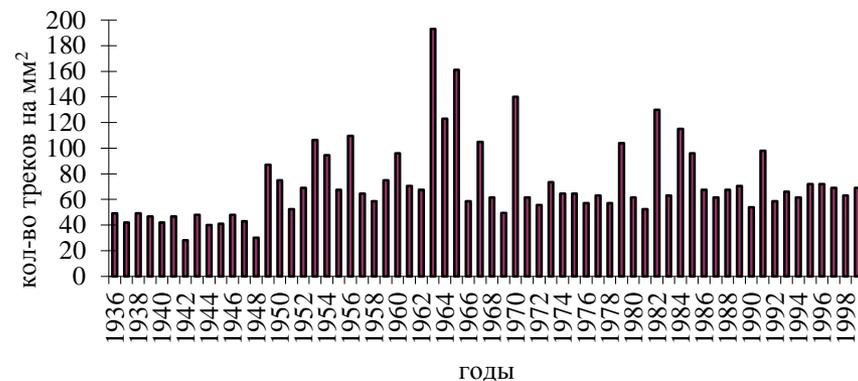
# Определение уровня накопления делящихся радионуклидов в годовых кольцах деревьев

1. Облучение образцов потоком тепловых нейтронов на ядерном реакторе
2. Снятие детектора с образца и его травление по стандартной методике
3. Вынесение рисунка датированных годовых колец на детектор



4. Изучение детектора в проходящем свете с использованием микроскопа и подсчет треков от осколков деления на 30 элем. площадках в каждом годовом кольце

	1936 г	1937 г	1938 г	1939 г	....	....	1998 г	1999 г
1	3	3	2	1	....	....	1	0
2	0	2	1	2	....	....	4	0
3	2	2	1	1	....	....	3	2
4	4	2	0	2	....	....	3	1
....	....	....	....	....	....	....	....	....
....	....	....	....	....	....	....	....	....
29	1	0	1	2	....	....	3	3
30	2	3	2	2	....	....	2	3
Среднее элем. пл.	1,7	1,6	1,5	1,7	....	....	1,5	1,4
Среднее (мм <sup>2</sup> )	60	54	51	59	....	....	51	48



5. Пересчет плотности треков от осколков деления в соответствующее ей количественное содержание делящихся радионуклидов (по изотопу  $^{235}\text{U}$ )

## Статистическая обработка экспериментальных данных

### 1. Оценки числовых характеристик выборок плотности треков в годичных кольцах R1 и R2

Радиус 1 (R1)									
	$n$		$s_x$	$s$	$Me$	$A$	$s_A$	$E$	$s_E$
<b>1987</b>	30	1,73	1,53	0,28	2,00	0,30	0,43	-1,02	0,83
<b>1988</b>	30	1,57	1,17	0,21	2,00	-0,03	0,43	-0,92	0,83
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<b>2003</b>	30	1,40	1,45	0,27	1,00	1,26	0,43	1,99	0,83

### 2. Показатели критериев сравнения ( $\chi^2$ -критерий, Колмогорова-Смирнова)

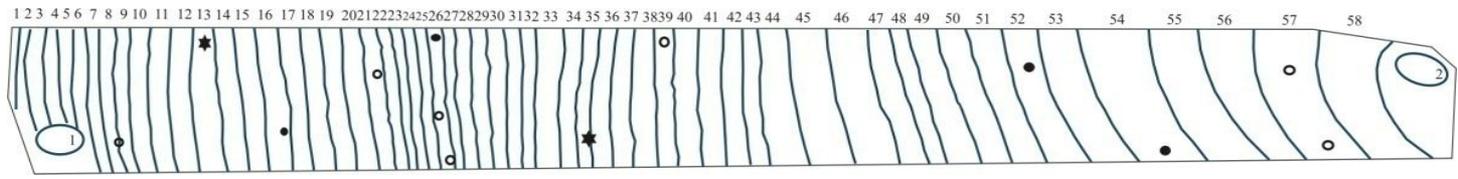
выборочного распределения треков в годичных кольцах R1 и R2 с нормальным законом

	R1				R2			
	$P_{\chi^2}$	$P_{K-C}$	$t_1$	$t_2$	$P_{\chi^2}$	$P_{K-C}$	$t_1$	$t_2$
1987	0,08	0,16	0,70	-1,22	0,07	0,39	2,19	1,10
<b>1988</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	-0,08	-1,10	<b>0,002</b>	<b>0,04</b>	<b>3,08</b>	<b>1,33</b>
<b>1989</b>	<b>0,09</b>	<b>0,07</b>	<b>3,45</b>	<b>3,17</b>	0,08	0,20	0,27	-1,44
1990	0,07	0,12	0,73	-0,04	0,06	0,12	1,23	-1,18
<b>1991</b>	<b>0,21</b>	<b>0,16</b>	1,86	0,57	<b>0,03</b>	0,25	1,99	0,64
<b>1992</b>	<b>0,002</b>	<b>0,07</b>	-0,44	-1,28	0,10	0,12	<b>3,65</b>	<b>3,39</b>
<b>1993</b>	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	1,24	-0,68	<b>0,001</b>	<b>0,04</b>	1,61	-1,23
1994	0,37	0,47	0,44	-1,26	0,06	0,05	1,54	0,18
<b>1995</b>	<b>0,01</b>	<b>0,20</b>	1,13	0,10	0,06	0,25	1,22	-0,38
<b>1996</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>3,16</b>	2,85	<b>0,02</b>	0,16	2,13	0,69
<b>1997</b>	<b>0,24</b>	<b>0,39</b>	0,56	-0,96	<b>0,01</b>	0,25	2,64	2,38
<b>1998</b>	<b>0,001</b>	<b>0,12</b>	0,23	-1,05	0,06	0,32	<b>3,37</b>	<b>3,80</b>
1999	0,21	0,20	0,23	-1,07	0,12	0,12	0,97	-1,45
2000	0,11	0,25	3,04	2,24	0,08	0,12	2,85	1,84
<b>2001</b>	<b>0,06</b>	<b>0,09</b>	1,47	-0,89	<b>0,001</b>	<b>0,03</b>	<b>4,01</b>	<b>4,19</b>
2002	0,14	0,09	0,69	-1,50	0,09	0,07	1,55	-0,89
<b>2003</b>	<b>0,41</b>	<b>0,12</b>	2,95	2,39	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	2,51	0,99

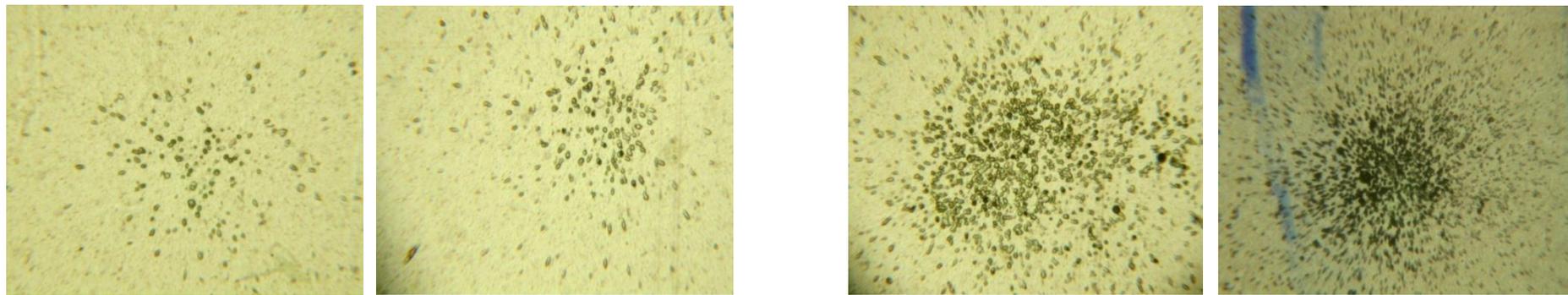
### 3. Показатели критериев сравнения (Стьюдента, Манна-Уитни, двухвыборочный Колмогорова-Смирнова) средних значений плотности треков в годичных кольцах R1 и R2

	$P_{t-}$ критерий	$P_{F-}$ критерий	$P_{\text{Манна-Уитни}}$	$P_{\text{Колмогорова-Смирнова}}$
1987	0,81	0,71		
<b>1988</b>			0,19	> 0,10
<b>1989</b>			0,34	> 0,10
1990	0,49	0,19		
<b>1991</b>			0,91	> 0,10
<b>1992</b>			0,29	> 0,10
<b>1993</b>			<b>0,03</b>	> 0,10
1994	0,92	0,75		
<b>1995</b>			0,59	> 0,10
<b>1996</b>			0,79	> 0,10
<b>1997</b>			0,52	> 0,10
<b>1998</b>			0,61	> 0,10
1999	0,14	0,96		
2000	0,63	0,45		
<b>2001</b>			0,79	> 0,10
2002	1,00	0,92		
<b>2003</b>			0,96	> 0,10

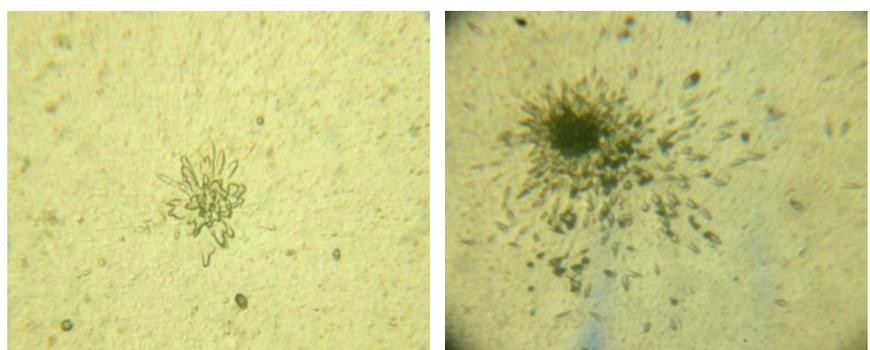
# Оценка пространственного распределения делящихся радионуклидов в годовичных кольцах деревьев



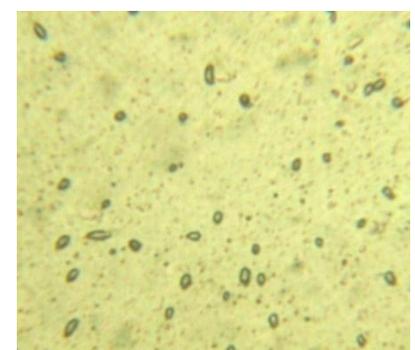
**Карта-схема детектора:** –скопление треков в виде «звезда», ○ – скопление треков с невысокой плотностью, ● – скопление треков с высокой плотностью



**Скопление треков с различной плотностью на лавсановом детекторе, увеличение × 100**

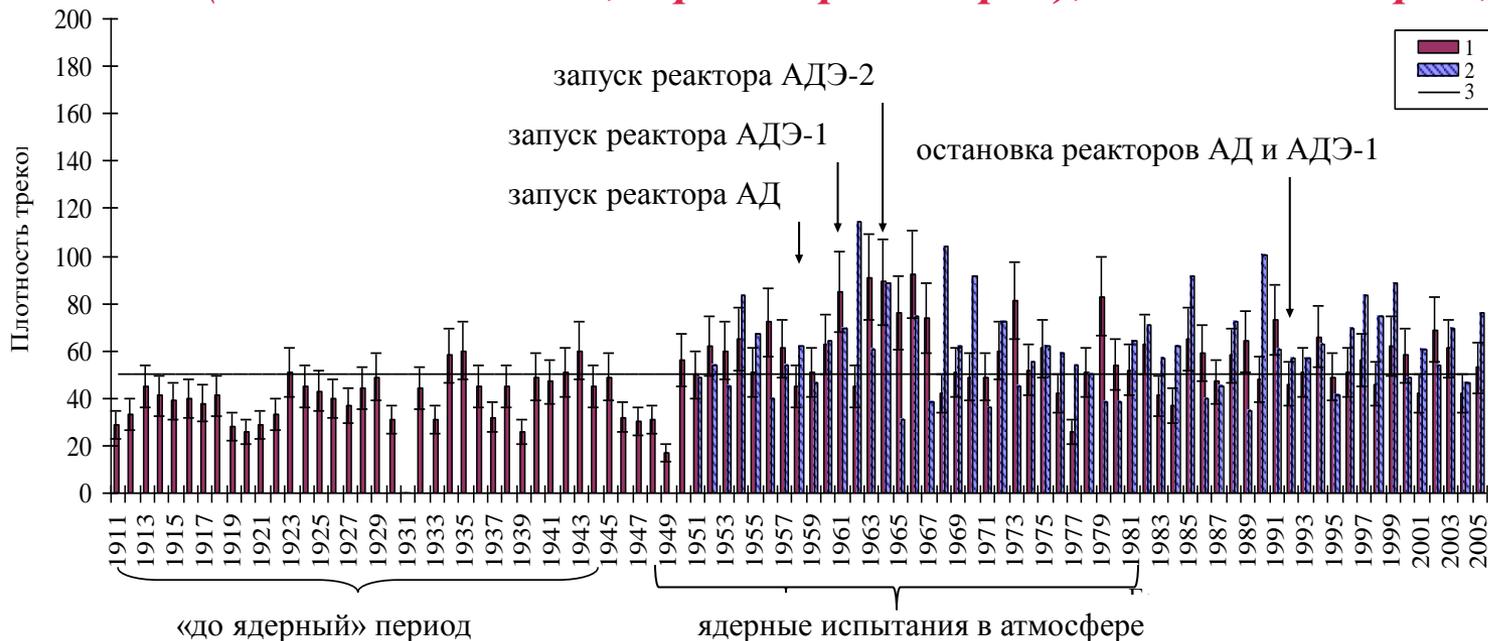


**Скопление треков «звезда» на лавсановом детекторе, увеличение × 200**



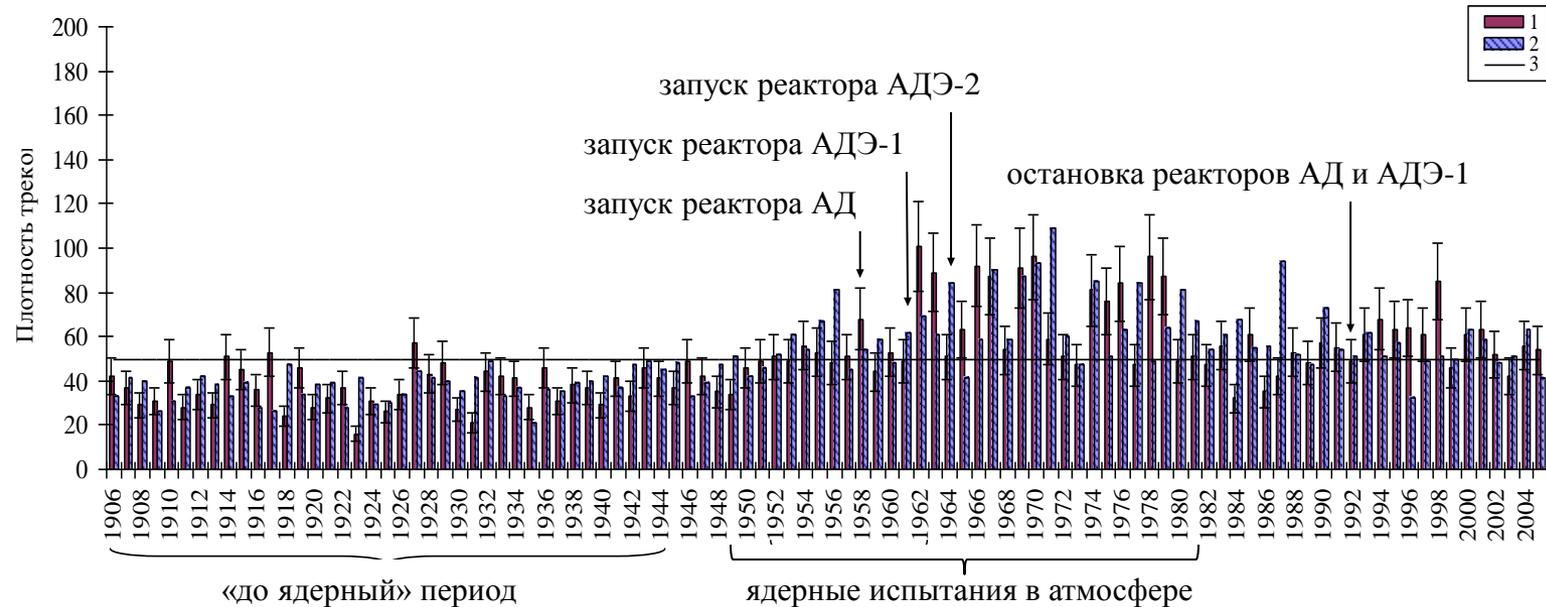
**Равномерное распределение треков на лавсановом детекторе, увеличение × 200**

**Плотность треков от осколков деления в годовых кольцах образцов древесины (зона влияния ГХК, Красноярский край); высота отбора 1,30...1,40 м**



**спил № 1Б-Б**

1 – образец № 7;  
2 – образец № 8;  
3 – фон  
( $50 \pm 7$  треков/мм<sup>2</sup>)



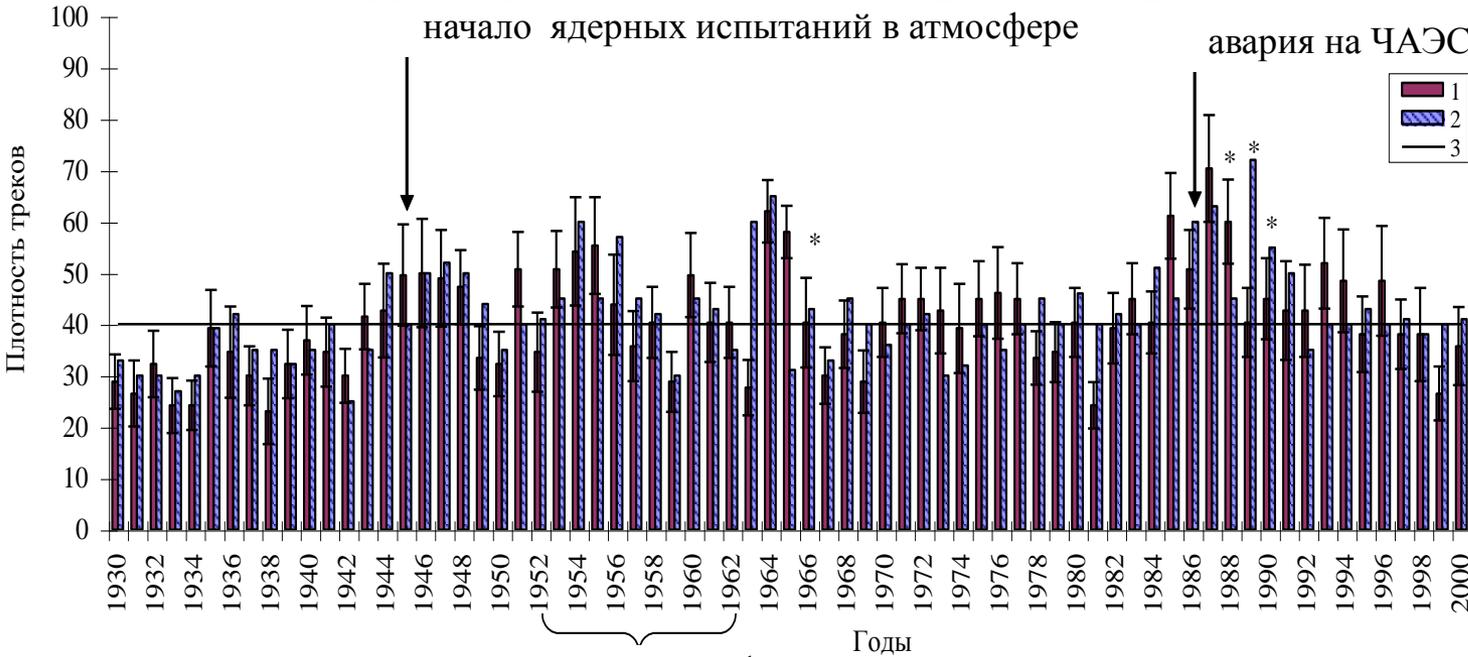
**спил № 3Б-Б**

в 20...25 м от  
дерева № 1

1 – образец № 11;  
2 – образец № 12;  
3 – фон  
( $50 \pm 7$  треков/мм<sup>2</sup>)

# Плотность треков от осколков деления в годовичных кольцах деревьев Чехии

## территория воздействия аварии на Чернобыльской АЭС



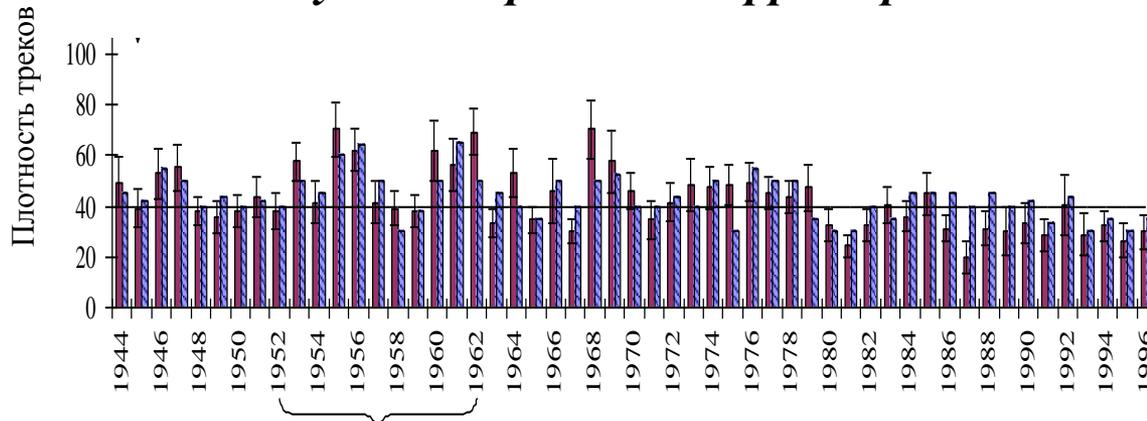
**спил № 1Ч**

**г. Часлав**

1 – образец № 21,  
2 – образец № 22,  
3 – фон  
( $40 \pm 6$  треков/мм<sup>2</sup>),  
\* – наличие в  
годовичном кольце  
скопления треков в  
виде «звезда» .

интенсивные ядерные испытания в атмосфере

## условно-фоновая территория



интенсивные ядерные испытания в атмосфере