

**КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ И  
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ  
РАДИОАКТИВНОСТИ, ОЦЕНКИ  
ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК**

**Методы и средства регистрации  
радиоактивного излучения**

# Основными методами регистрации являются:

1. Фотографический метод - самый первый метод, который позволил А. Беккерелю открыть явление радиоактивности. Основан на воздействии радиоактивного излучения на фоточувствительные материалы (по принципу воздействия световых квантов на фотопластину).

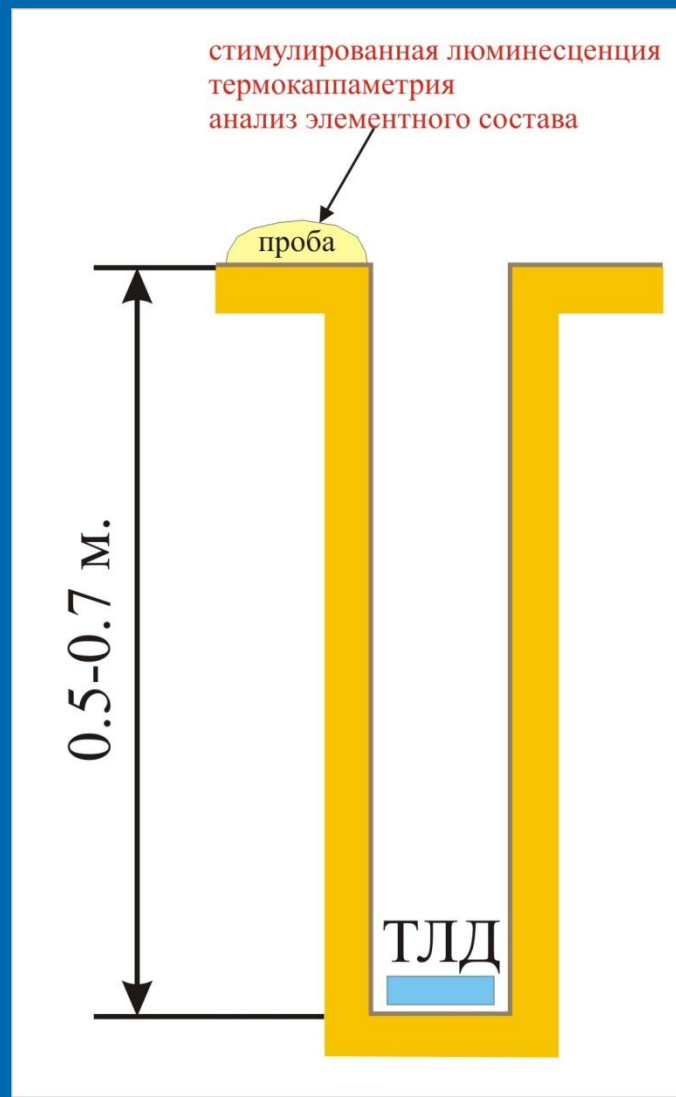
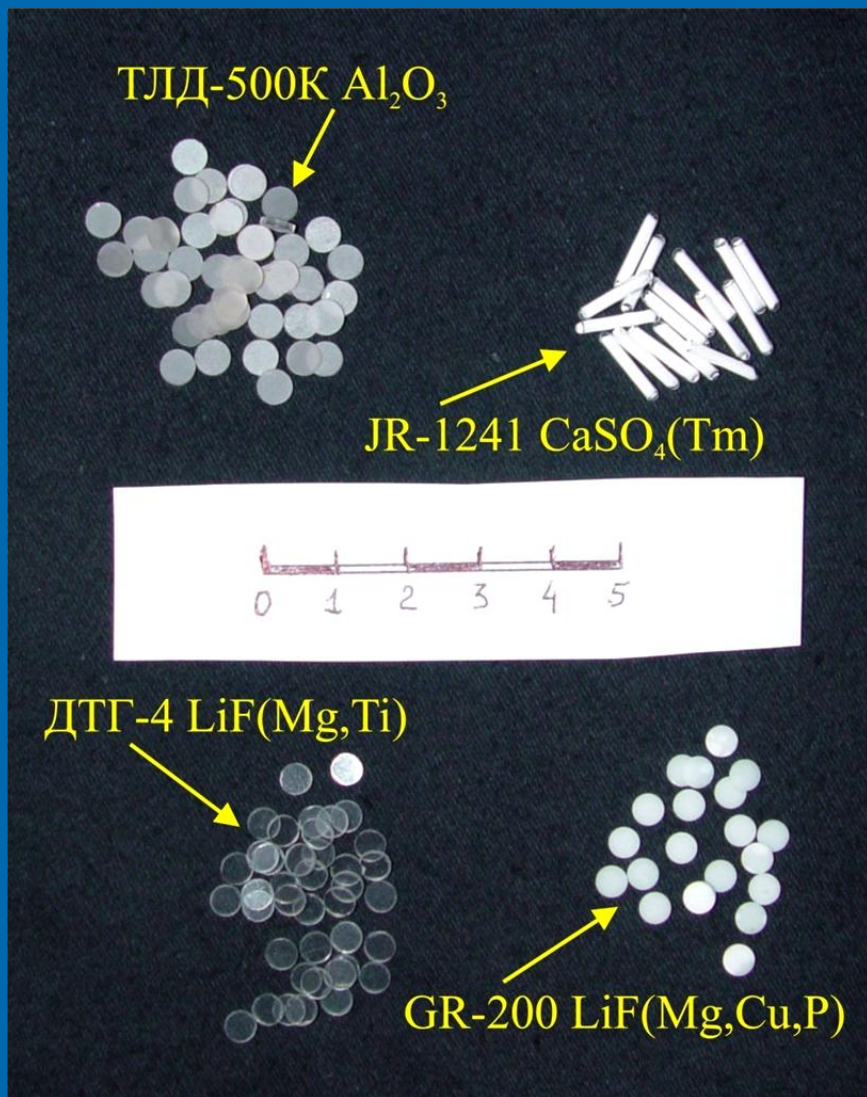
**2. Ионизационный метод, основанный на измерении степени ионизации газов, либо по образованию электронно-дырочных пар в твердых телах. Для измерения используются электроскопы, ионизационные камеры (камера Вильсона и др.), газоразрядные счетчики (счетчики Гейгера-Мюллера и т.д.), полупроводниковые счетчики на основе кремния, германия и т.д. Это один из самых широко распространенных методов измерения радиоактивного излучения. С его использованием создано большое количество разных типов аппаратуры.**

**3. Люминесцентный метод** обусловлен возникновением свечения под влиянием какого-либо воздействия (фотолюминесценция, радиолюминесценция, хемилюминесценция, триболюминесценция, термолюминесценция и т.д.). Возникновение и интенсивность свечения обусловлены накоплением энергии при взаимодействии излучения с веществом. Для регистрации радиоактивного излучения используются сцинтилляционные детекторы различных типов, в которых в результате попадания альфа-, бета- частиц и гамма-квантов возникают световые вспышки разной интенсивности, продолжительности и т.д., которые регистрируются фотодетектором (фотодиод, фотоумножитель и т.д.).

Существуют твердотельные ( $ZnS$ , активированный  $Ag$ ;  $NaI$ , активированный  $Tl$  и т.д.), жидкостные, газовые (ксенон и др.) детекторы. Это также один из самых широко применяемых методов регистрации радиоактивного излучения

# Радиометрические поля нефтегазоносных площадей

## Термолюминесцентные детекторы (ТЛД)



4. Оптический метод реализуется на эффекте изменения оптических свойств материалов под воздействием радиоактивного излучения. Для этих целей используются различные типы стекол (фосфатные, борные, активированные Ag либо Bi и т.д.), полимерные материалы (цветной целлофан, ацетил целлюлоза и т.д.).

На этом методе создана аппаратура для измерения радиационных полей высокой интенсивности. Интенсивность почернения прямопропорциональна дозе радиоактивного излучения. На этом принципе работают многие типы индивидуальных дозиметров.

Этот метод широко используется в лабораторных исследованиях радиоактивных веществ для их обнаружения и пространственной локализации (различные виды макро - и микрорадиограф

5. Калориметрический метод измерения радиоактивности основан на измерении тепла, выделяемого при радиоактивном распаде или при взаимодействии излучения с веществом.

Метод применяется сравнительно редко, но на его основе созданы приборы для градуировки дозиметров, измерения мощных потоков гамма- и нейтронного излучения в реакторной дозиметрии, где они имеют преимущество по сравнению с ионизационным и другими методами, так как не зависят от энергетических характеристик излучения.



6. Химические методы основаны на изменении химического состава жидкостей или газов при взаимодействии с радиоактивным излучением. Типичными примерами такой реакции является радиолиз воды с образованием  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  или разложение закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) с образованием  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{NO}_2$ .

На этом принципе созданы жидкостные (ферросульфатные и др.), газовые химические дозиметры для измерения мощных потоков  $\gamma$  - квантов

Количественные и качественные характеристики радиоактивного излучения, основанные на тех или иных методах регистрации, измеряются

радиометрами

дозиметрами

спектрометрами

спектрометрическими комплексами.

Радиометр - прибор для измерения числа актов радиоактивного распада в единицу времени (активности).

Определяет плотность потока ионизирующих излучений и т.д.

При измерении мощности экспозиционной дозы фотонного излучения функции радиометра и дозиметра совпадают.

Дозиметр - устройство для измерения доз радиоактивного излучения или величин, связанных с дозами (мощность экспозиционной дозы, мощность поглощенной дозы и т.д.).

Могут служить для измерения доз одного (гамма-дозиметр, нейтронный дозиметр и т.д.), либо смешанного излучения (гамма-бета дозиметр и т.д.).

Спектрометр - устройство, которое позволяет измерять распределение радиоактивного излучения по энергии (гамма-альфа-спектрометры и т.д.), массе и заряду (масс-спектрометры и т.д.).

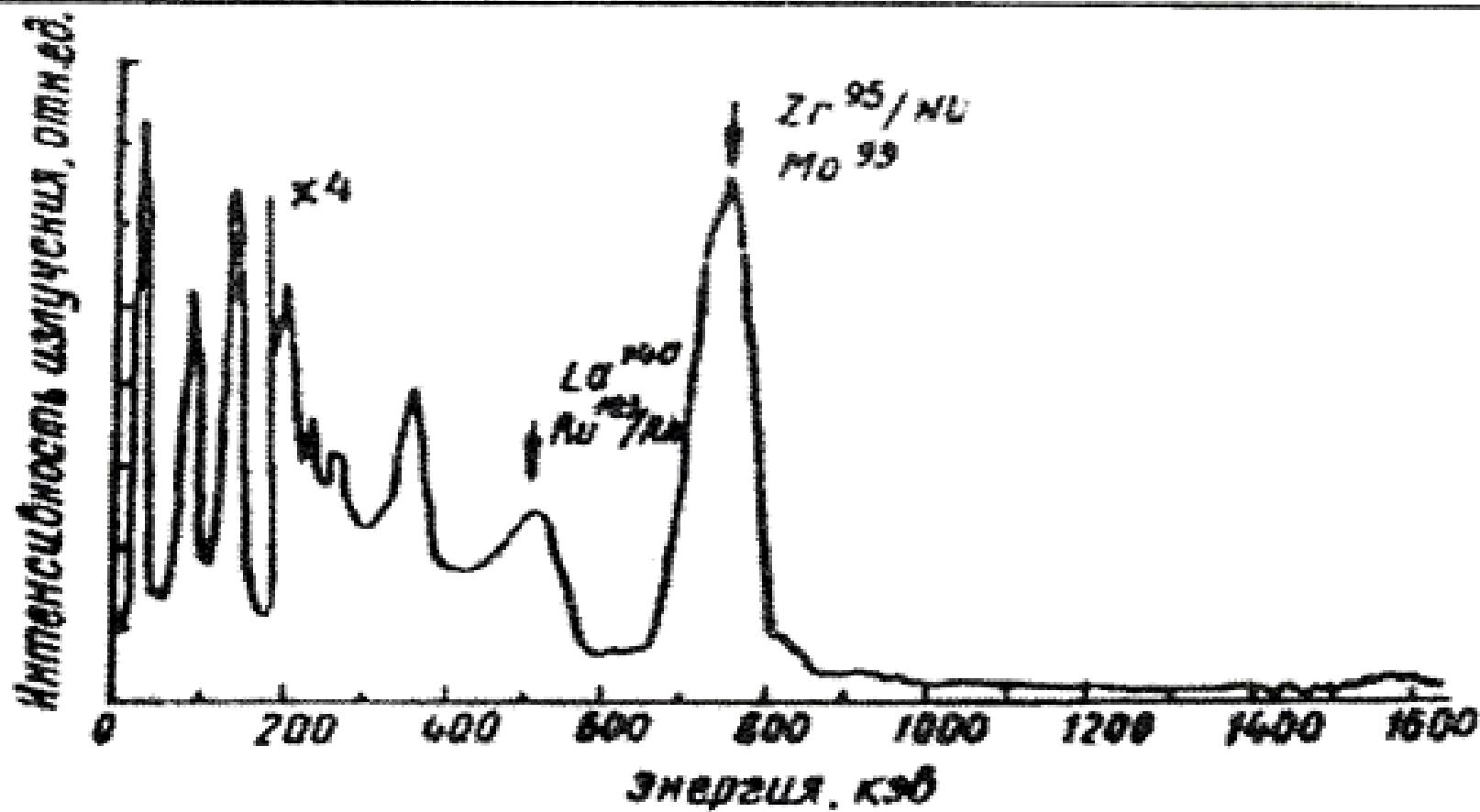
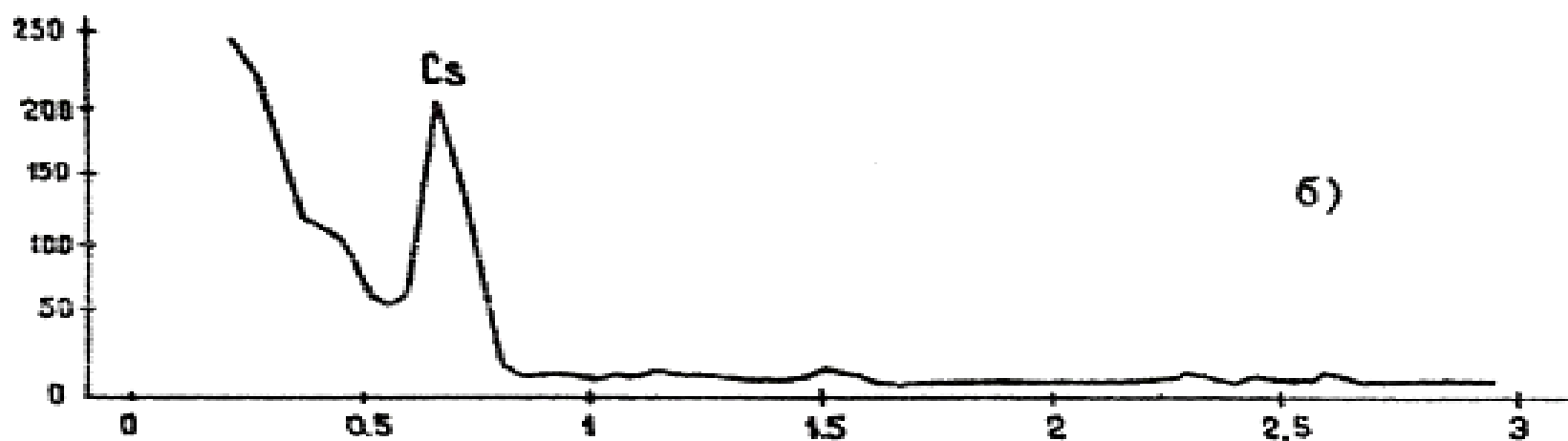
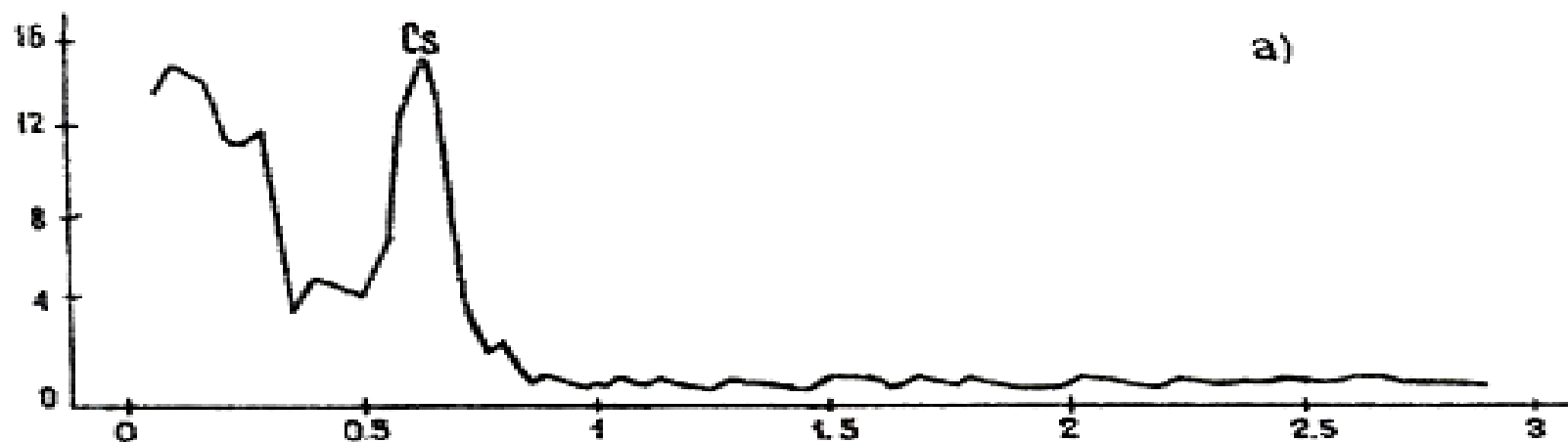


Рис. 4.70 Гамма-спектр радиоактивной частицы с ярко выраженным пиком при энергии 700 кэВ.



4.38 Гамма-спектр почв, снятый прибором "Припять"

а) Чернобыльский след. Деревня Липа, Гомельской области.

Загрязнение  $> 15$  Ки/км<sup>2</sup>. Октябрь, 1990.

б) Якутия, р. Марха. Июль, 1989 (по материалам ПГО "Якутгеология", 1990)

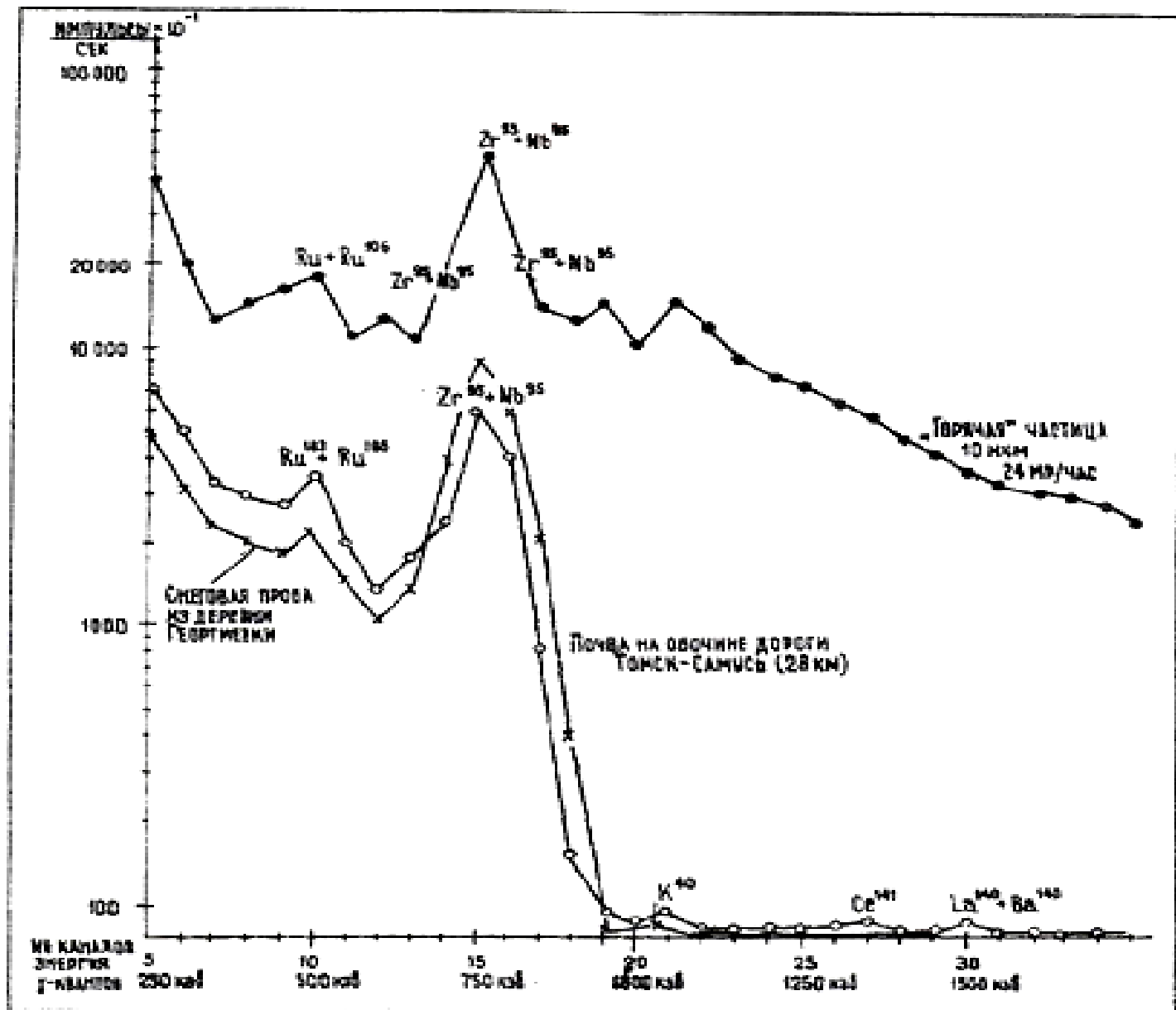


Рис. 4 58

Спектры гамма-излучателей в составе выброса СХК. Снято полевым прибором "Прилять" 08.04.93 г. непосредственно на радиационном следе.



# Рабочие моменты полевых работ



# Методы оценки дозовых нагрузок

## Оценка дозовых нагрузок может осуществляться следующими методами :

1. прямым измерением МЭД гамма-радиометром;
2. индивидуальным дозиметром различных типов (фотодозиметры, люминесцентные дозиметры и др.), которые могут быть размещены на тех или иных участках тела, а затем эти показания могут быть экстраполированы на другие его участки с учетом геометрии измерения и поправочных коэффициентов, полученных с учетом моделей-фантомов (стандартная модель человека, изготовленная из пластических материалов, соответствующих биологической плотности той или иной ткани).

В качестве примера **индивидуальной дозиметрии** можно рассмотреть данные по дозовой нагрузке на жителей с. Георгиевка Томской области, определенной в период с 19 мая по 5 июля 1993 года, по истечению 42 дней после аварии 06.04.1993 года на СХК

Результаты индивидуального дозиметрического контроля населения  
в зоне аварии 06.04.93 г.

№ п/п	№ дозиметра	Доза, мЗв	Житель села
1	10301	0,17	Б..... Г.Ю.
2	10304	0,20	К..... Ю.В.
3	10305	0,18	Н..... Р.
.	.	.	.
6	10308	0,14	С..... А.Н.
.	.	.	.
14	10317	0,42	И..... Н.К.
.	.	.	.
21	10325	0,24	К..... А.В.
.	.	.	.
34	10340	0,30	П..... В.Г.
.	.	.	.
37	10343	0,29	С..... Ю.Г.
.	.	.	.
.	.	.	.
41	10347	0,11	Г..... С.Н.
.	.	.	.
.	.	.	.
46	10362	0,14	Х..... И.А.
	Среднее по 46 дозиметрам	0,15 мЗв за 48 суток	

Примечание: измерения выполнены индивидуальными дозиметрами типа ДТГ-4 с использованием прибора типа "Алго", аттестованным в НПО "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева". Свидетельство № 35/91 от 15.01.92 г.

Определение доз внутреннего облучения биологических объектов, например, человека, проводится, как правило, **расчетным путем**.

Для этого используются стандартные физиологические параметры среднестатистического человека, характеризующие те или иные обменные процессы

Так, например, МКРЗ рекомендует использовать при таких расчетах следующие величины (Моисеев, Иванов, 1974):

- средний вес человека - 70 кг;
- в т.ч. мышцы - 30 кг;
- кости - 10 кг;
- кровь - 5,4 кг;
- кожа и подкожная ткань - 6,1 кг
- жировая ткань - 10 кг ;
- жизненная емкость легких у мужчин - 3-4 л;
- объем воздуха, вдыхаемого за 8 рабочих часов - 107 л;
- полная поверхность органов дыхания - 70 м<sup>2</sup>;
- полное содержание воды в организме - 43 кг.

При этом учитываются размер дыхательной системы, особенности распределения мелких частиц в органах дыхания, воздушный баланс, средняя скорость дыхания, время задержки воздуха, воды и пищи в тех или иных органах человека; содержание воды в различных органах и тканях, водный баланс, химический состав мышц, костей, эффективный атомный номер сложных веществ (костная ткань, мышцы и т.д.) и ряд других параметров.



При этом определяются главные критические органы, накапливающие те или иные радионуклиды, коэффициенты их накопления в тех или иных органах.

Так, например, считается, что критическими органами для

$^{90}\text{Sr}$  - кости, легкие и все тело;

$^{137}\text{Cs} + ^{137}\text{Ba}$  - все тело, мышечная ткань, легкие, селезенка, кости, почки, желудочно-кишечный тракт;

$^{131}\text{I}$  - прежде всего щитовидная железа.

# Классификация по распространённости радиоактивных изотопов в организме человека

(по В.Ф.Журавлёву)

Остеотропные ( $^{35}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $\text{U}$ ,  $\text{Pu}$ )

Тканевые ретикулоэндотелиальные ( $^{140}\text{La}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $\text{Th}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , нитраты и др.)

Избирательно-накапливающиеся ( $^{129,131}\text{I}$  в щитовидной железе,  $^{59}\text{Fe}$  в эритроцитах)

Равномерно распределяющиеся ( $^3\text{H}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ )

Доза внутреннего радиоактивного облучения, как всего организма, так и его отдельных органов и тканей, зависит от физико-химических характеристик инкорпорированных радионуклидов, которые определяют их всасываемость, распределения и выведения из организма.

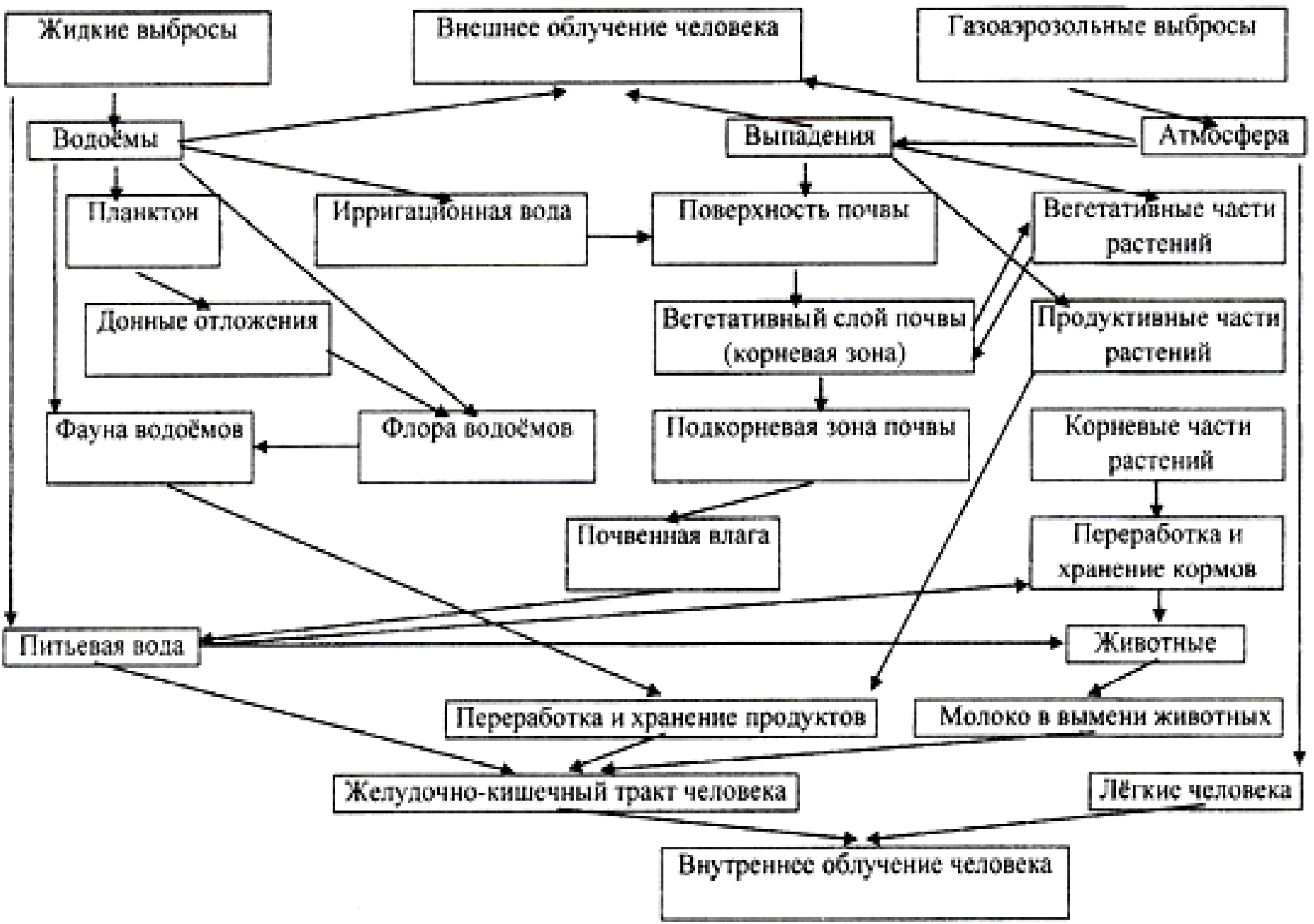


Рис. 3.1 Схема миграции радионуклидов во внешней среде (по Гусеву и др., 1991).

Определение дозовых нагрузок на человека ведется по какой-либо выбранной модели путей облучения человека.

Существует сравнительно большой набор моделей, учитывающий механизм поступления радионуклидов и множество других факторов.

Имеются специальные рекомендации Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) по методам построения и использованию моделей радиационного воздействия на человека и их роли в оценке доз облучения (Публикация 29 МКРЗ, 1980; Публикация 40, 43 МКРЗ, 1987 и др.).

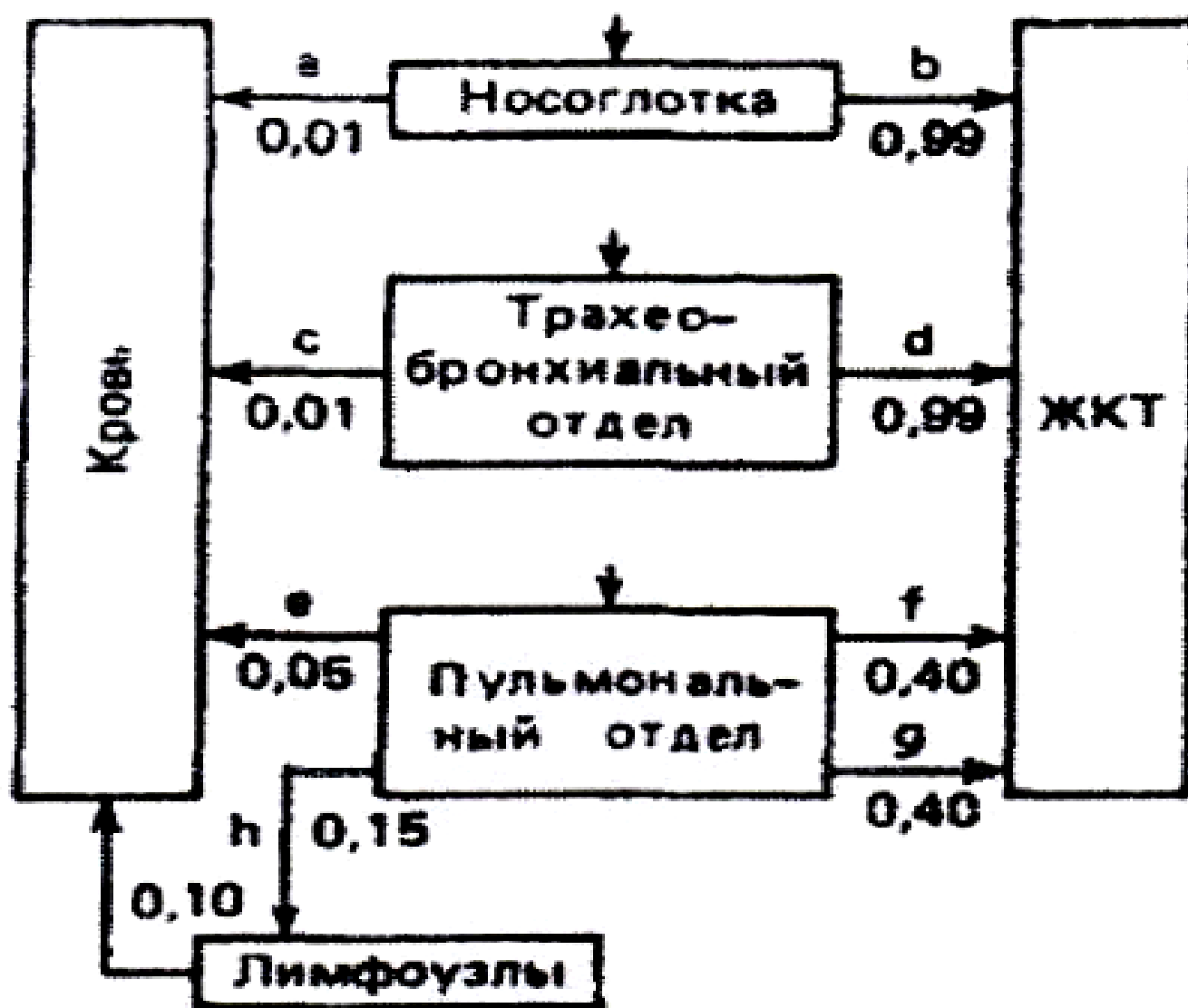


Рис. 3.5 Дыхательный тракт носоглотка, трахеобронхиальный и пулмональный отделы легких, а, б, с, d, е, f, g, h, i - доли переноса активности из легких в кровь, ЖКТ и лимфотические узлы (по В.А. Журавлеву, 1990).

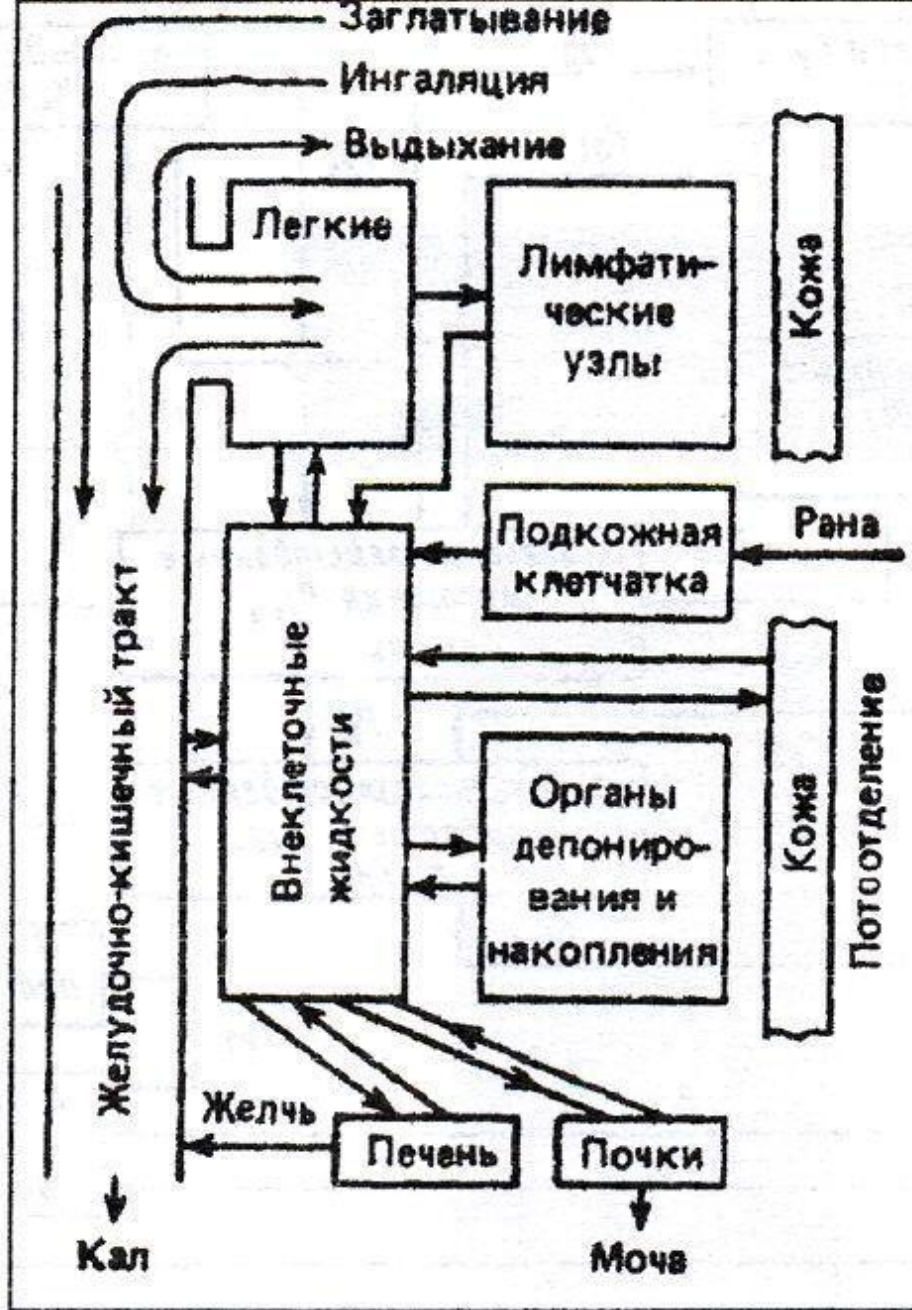
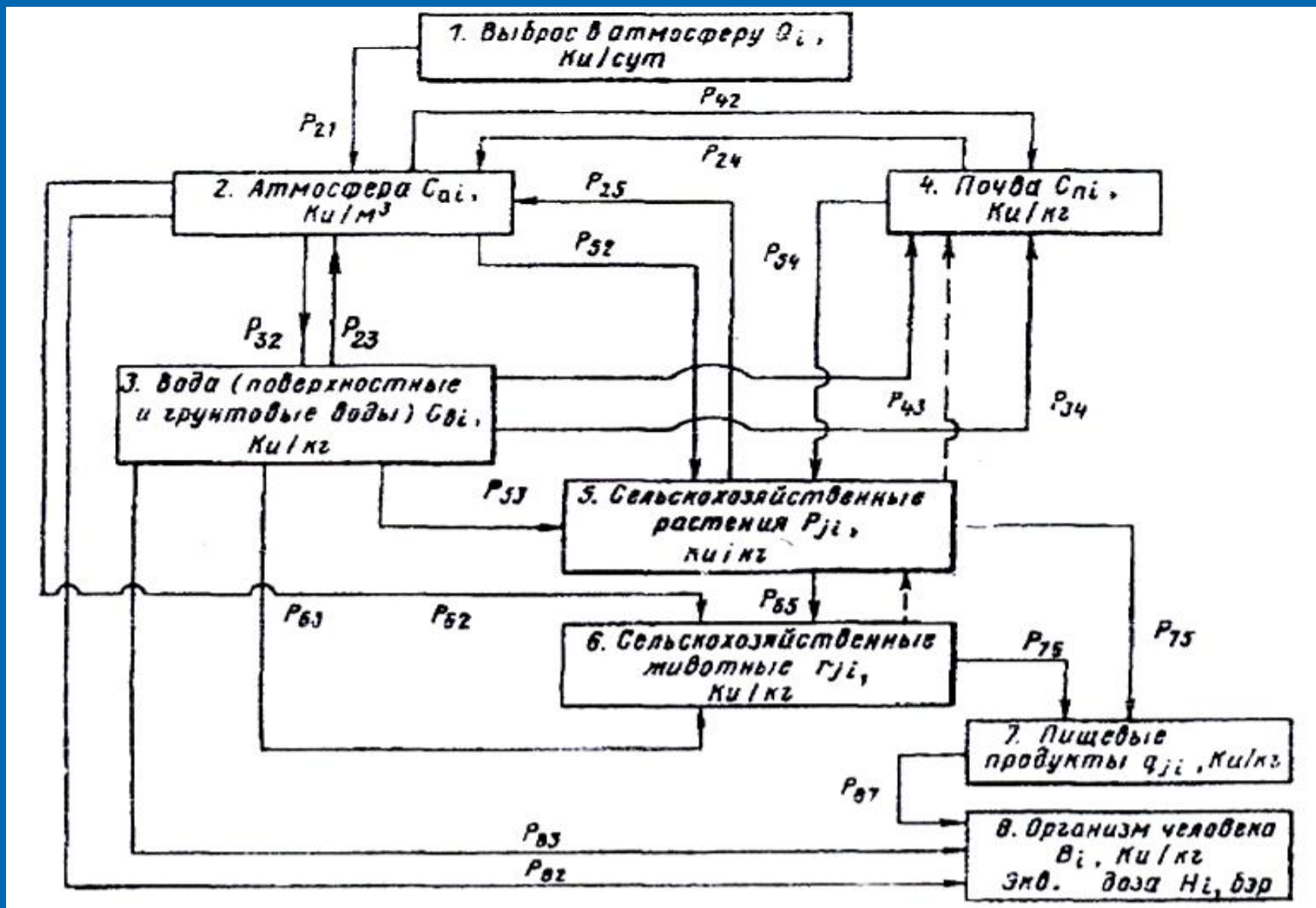


Рис. 3.3 Основные пути обмена радионуклидов в организме (по В.Ф. Журавлеву, 199

Упрощенная модель путей облучения человека при достижении равновесия содержания  $^3\text{H}$  (или  $^{14}\text{C}$ ) в атмосфере, объектах окружающей среды и тканях человека в результате поступления нуклидов через органы пищеварения (Н.Е. Артемовой и др., 1980)





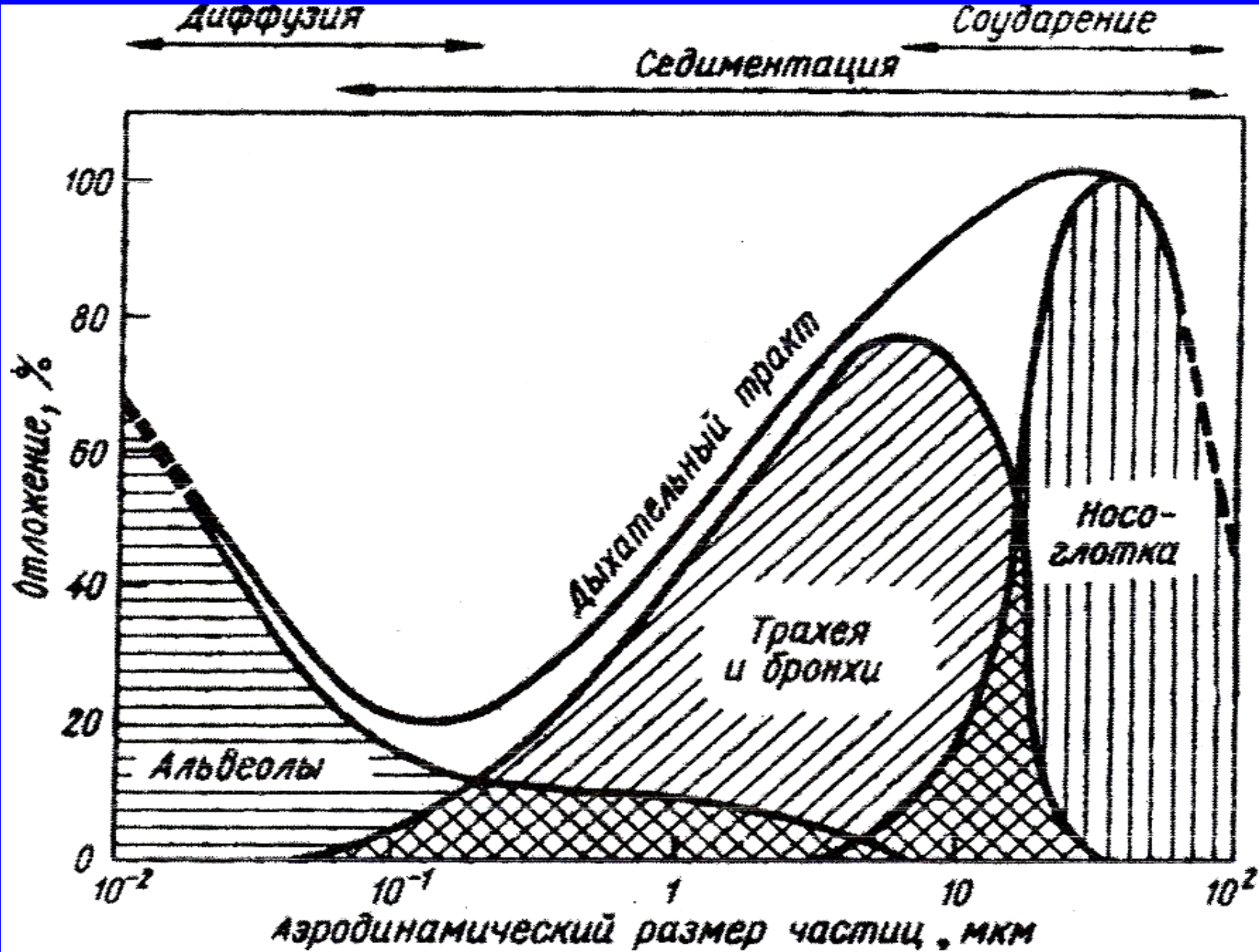


Рис. 3.4 Схема отложения частиц в дыхательном тракте (по Р. Альберту, 1971).

В настоящее время развиваются методы прямого определения инкорпорированных в организм радионуклидов. Это осуществляется путем отбора биологической ткани (соскобы и т.д.), либо методом высокочувствительной гамма-спектрометрии.

Для этих целей сконструированы специальные подземные камеры низкого фона (Канифер), как это сделано в ОИГГМ СО РАН (Бобров и др., 1975), или счетчики излучения человека (СИЧ).

На этих установках возможно определение гамма-излучающих радионуклидов как во всем теле человека, так и в отдельных его участках (щитовидная железа, желудок и т.д.), что достигается путем перемещения детектора радиоактивного излучения по телу человека. В ряде случаев может фиксироваться и жесткое бета-излучение.

По мнению Тихомирова Ф.А. (1972 г.), при определении дозовых нагрузок в биологических системах не всегда возможно в силу различных объективных обстоятельств получить необходимую дозиметрическую информацию.

Это может быть обусловлено рядом причин:

1) неравномерность распределения источников радионуклидов, чаще всего имеющих «пятнистый» характер распределения;

2) одновременное сочетанное воздействие внутренних и внешних природных и техногенных факторов радиационного характера;

3) сложный энергетический спектр излучающих радионуклидов с разными показателями ЛПЭ.

А если к этому добавить еще и факторы субъективного характера по принципу *«этого быть не может, потому что этого не может быть никогда»*, то возникает проблема объективного определения полученных дозовых нагрузок на человека и биоту.

# Методы биологической дозиметрии

Методы биодозиметрии позволяют определять интегрированную эффективную эквивалентную дозу облучения за все время проживания человека, как от внешних, так и внутренних факторов радиационного воздействия

## Некоторые предлагаемые методы биодозиметрии

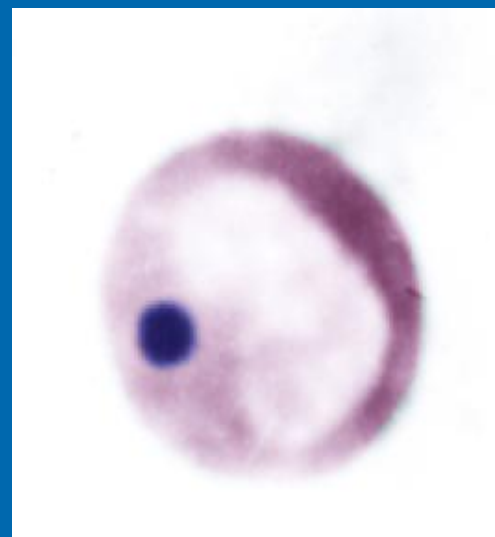
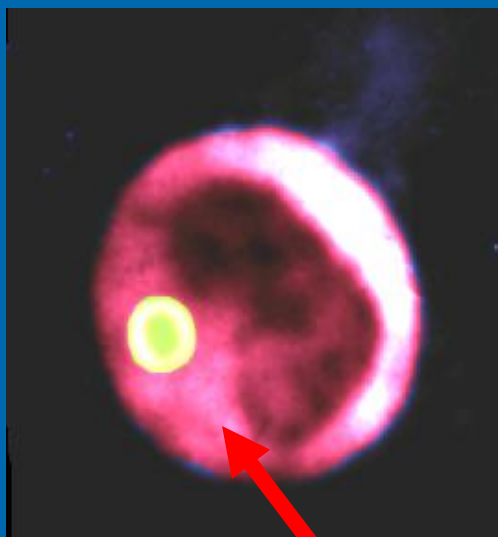
№ п/п	Система индикатора	Диапазон дозы, Гр	Период времени после облучения для использования теста
1	Субпопуляции лимфоцитов (лимфоциты крови и костного мозга)	1 - 10	до недель после облучения
2	Образование после стимулирования (лимфоциты и лимфотическая ткань)	1 - 6	до недель после облучения
3	Стимулирование лимфоцитов (лимфоциты и лимфоткани)	1 - 6	до недель после облучения
4	Смешанная лимфоцитная культура (Т-лимфоциты)	1 - 6	до недель после облучения
5	Абсолютное число клеток в периферической крови (полиморфнонуклеидные клетки, лимфоциты, тромбоциты, ретикулоциты)	1	до месяцев после облучения
6	Состав и цитология костного мозга (гемопозитические стволовые клетки и клетки предшественники)	1	до месяцев после облучения
7	Система гемопозитических стволовых клеток	0,8 - 1,6	часы, дни
8	Нуклеиновая кислота в лейкоцитах (кровь)	0,5 - 4	30 дней
9	Тимидин (кровь)	0,005 - 1,0	6 часов
10	Таурин (моча)	1 - 8	72 часа
11	Амилаза (кровь)	2 - 20	24 часа
12	Свободные аминокислоты (кровь)	2 - 8	30 дней
13	Разрыв тяжей ДНК (кровь)	0,2 - 5	48 часов
14	Чрезмерно извитая структура ДНК (кровь)	2 - 8	48 часов



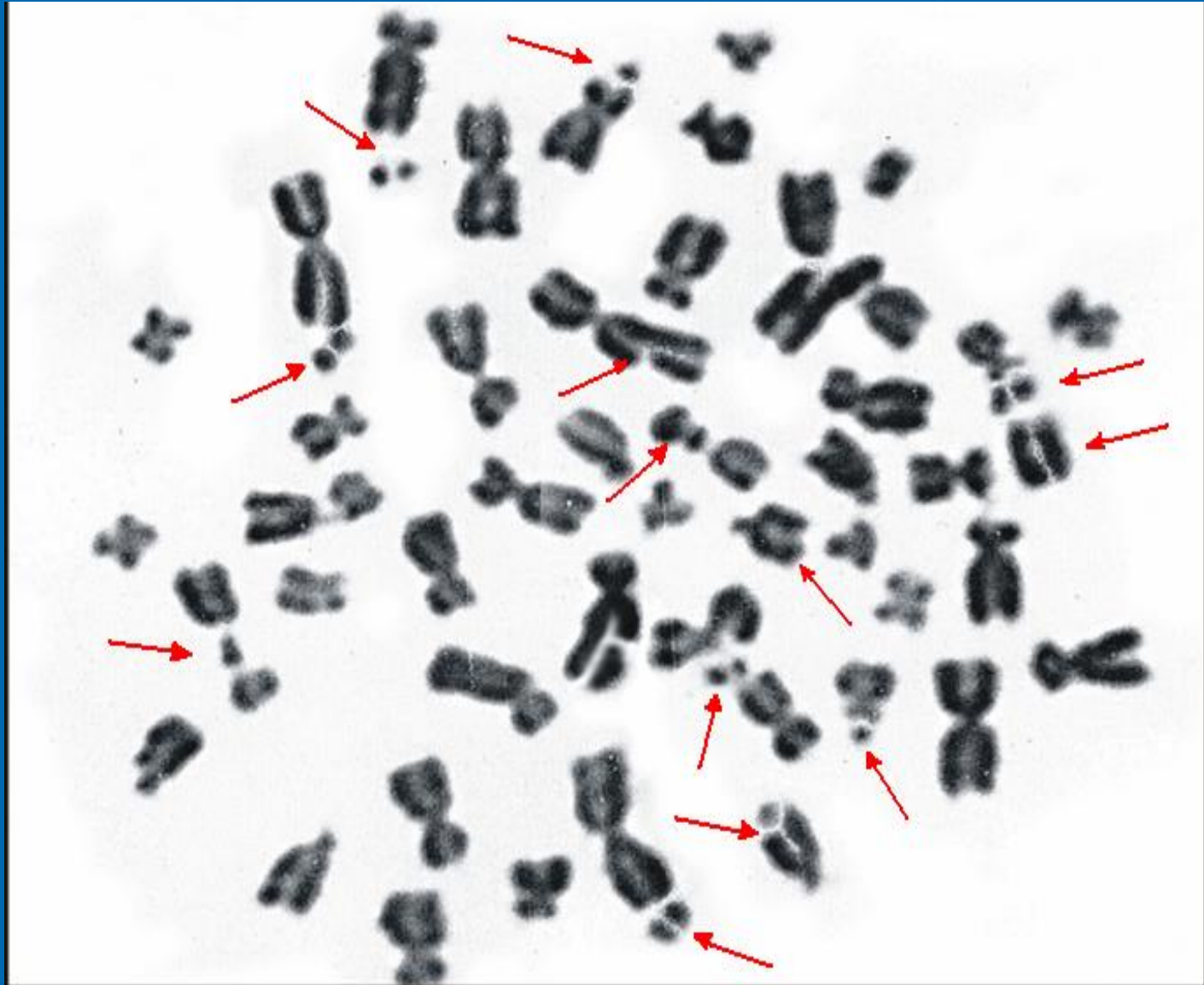
# Метод биологической дозиметрии по хромосомным аберрациям в культуре лимфоцитов человека

Методические рекомендации по использованию этого метода утверждены Минздравом СССР в 1979(!!) году. Метод используется в различных странах, в том числе в Японии

# Эритроцит с микроядром в крови облученного человека



# Мультиаберрантная клетка ("Rogue cells")



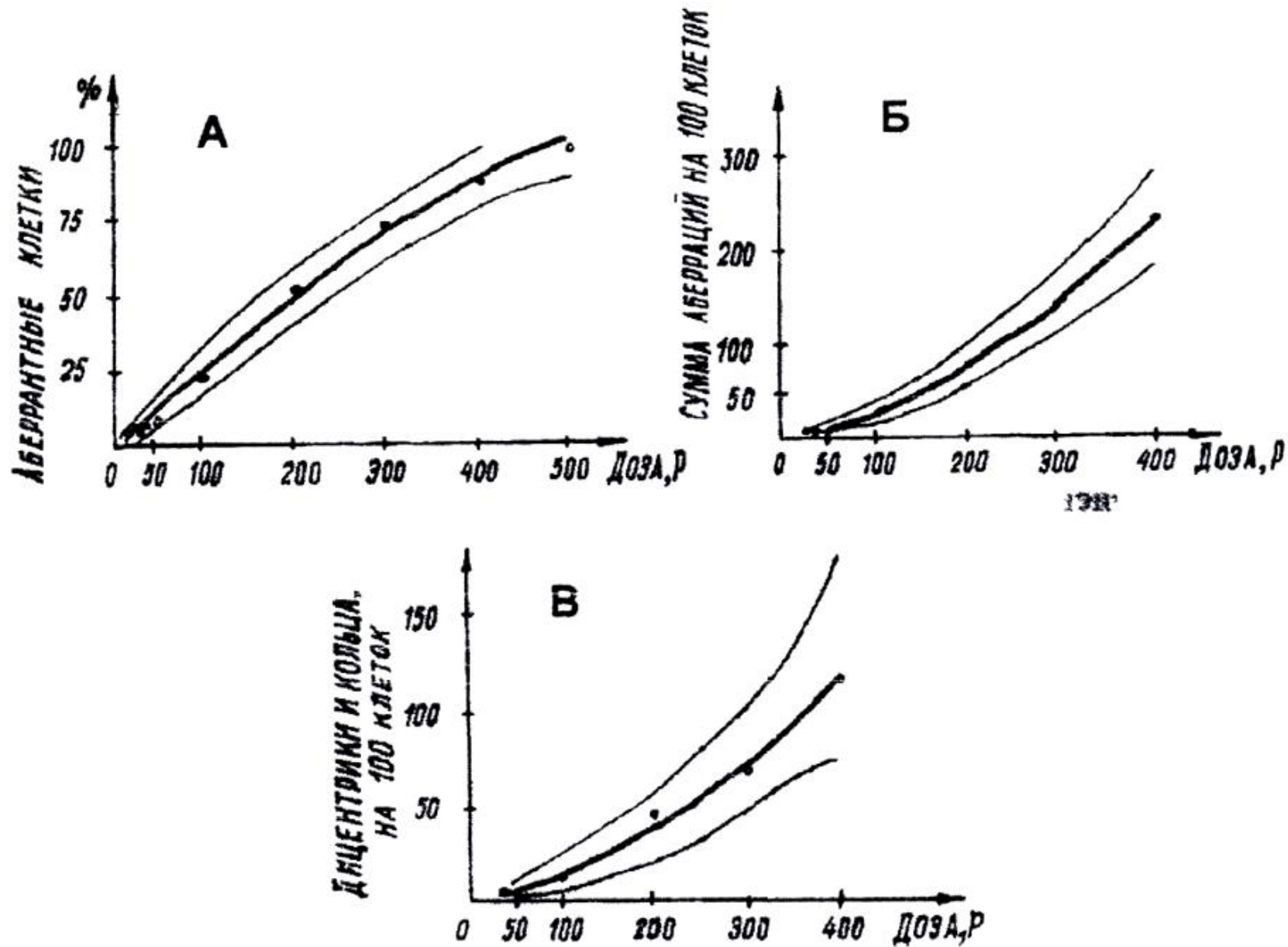
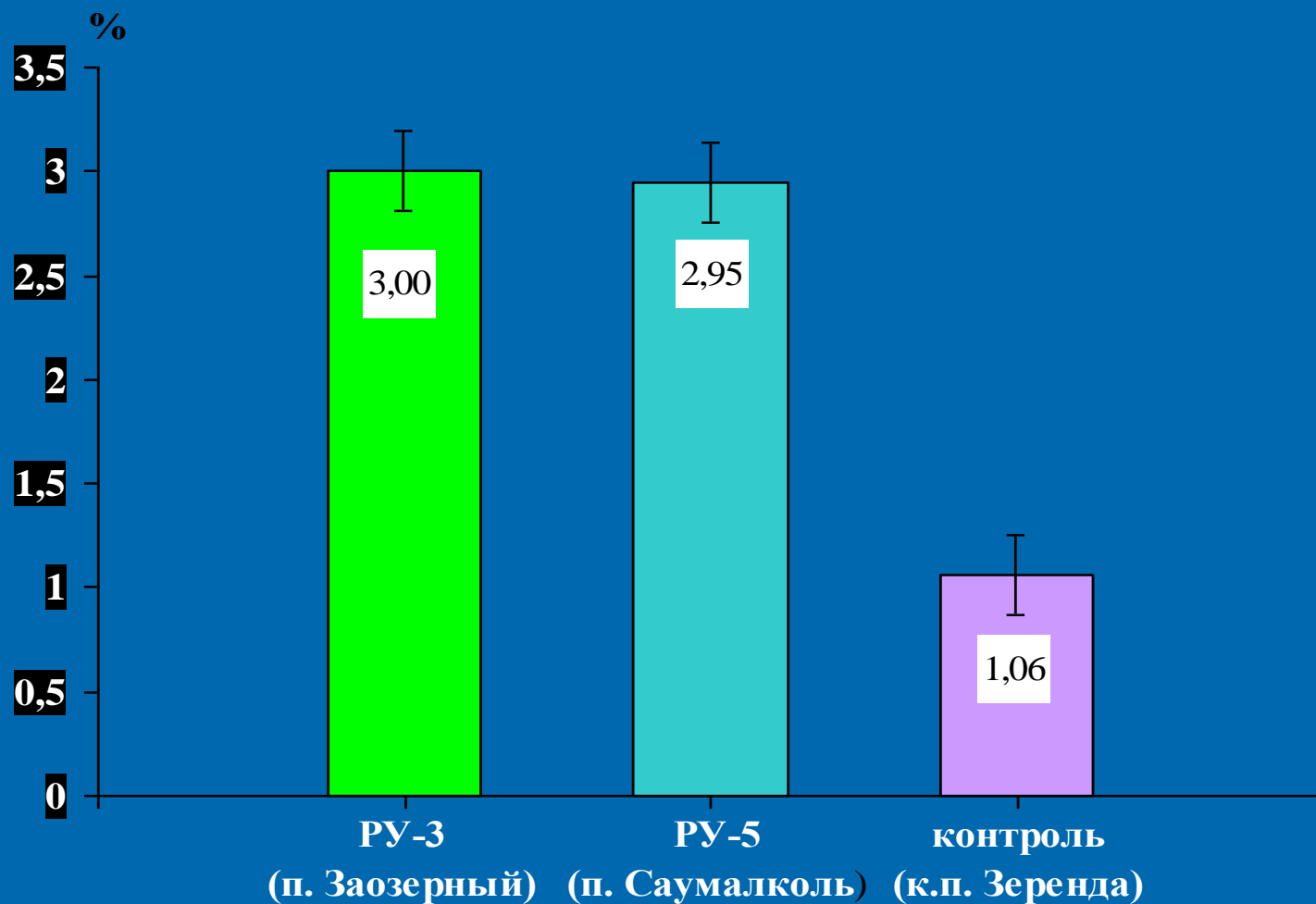


Рис. 3.6 Калибровочные кривые для оценки дозы по проценту aberrantных клеток (А), общему числу aberrаций хромосом (Б) и сумме дицентриков и колец (В) Тонкие линии означают 95 %-ый доверительный интервал (Методические рекомендации..., Обнинск, 1979).

# Частота клеток с абберациями хромосом у урановых рабочих в сравнении с контрольной группой



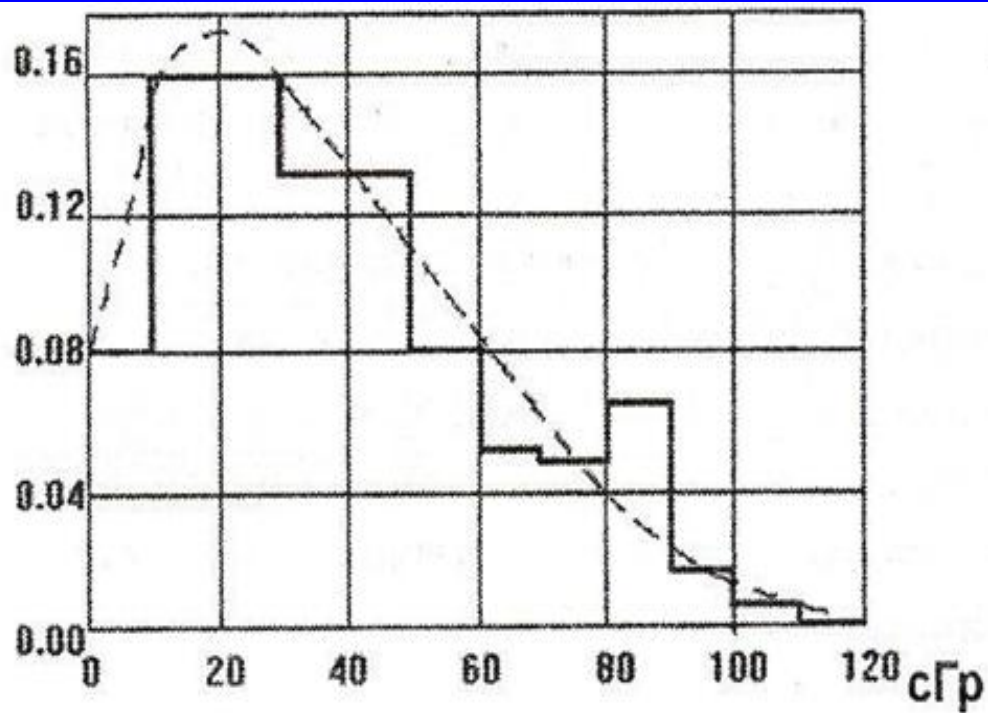


Рис. 3.7.1 Частотная гистограмма распределения доз, измеренных у жителей Алтайского края.

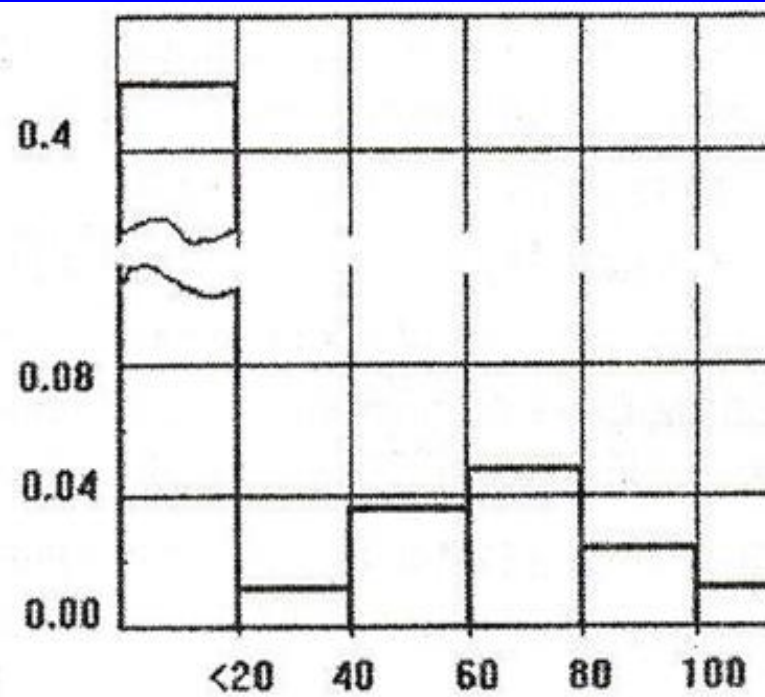


Рис. 3.7.2 Частотная гистограмма распределения доз, измеренных у жителей поселков.

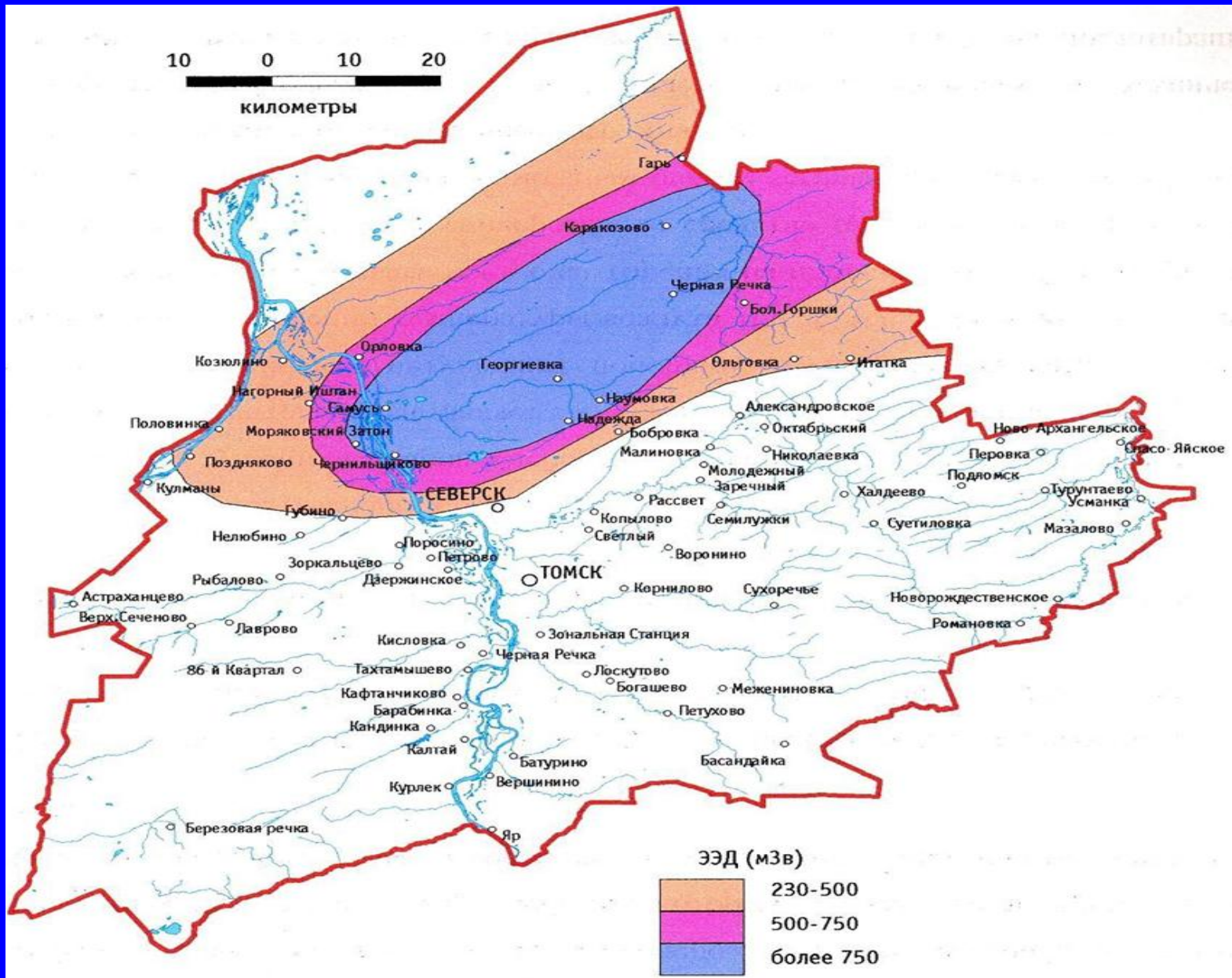


Рис. 10.80

Схема зонирования территории юга Томской области по эффективной эквивалентной дозе (ЭЭД), определенной методами биодозиметрии

(Составлена: Ц.И. Исаева, 1994, 1995)