# Искусственные источники ИИ и загрязнении внешней среды РВ

## 3. Атомная энергетика

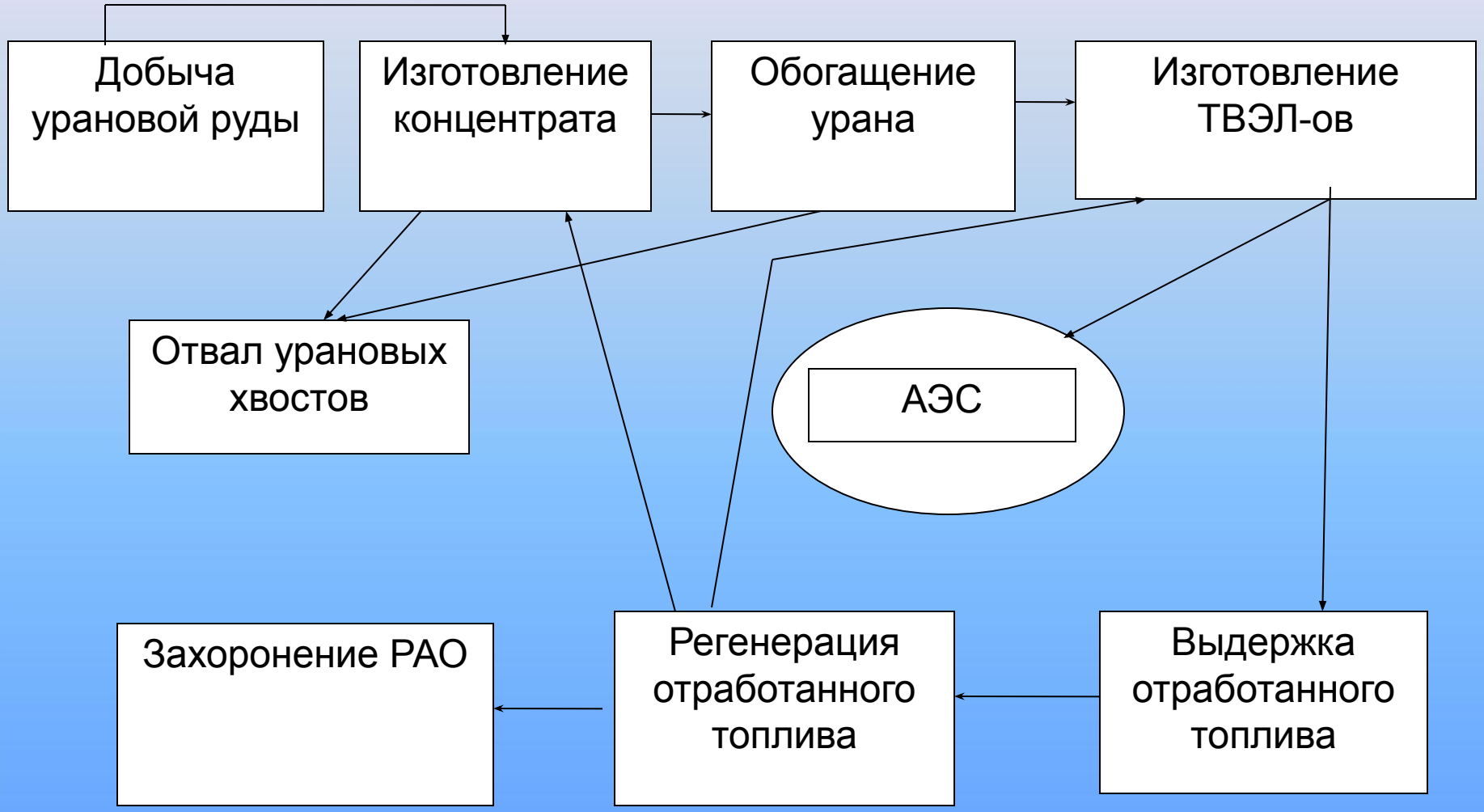
В 2001 году в мире работало 430 атомных энергетических установок, производящих около 20% электроэнергии. По количеству атомных электростанций первое место занимает Западная Европа, за которой следуют США и Канада. В России работает 10 атомных электростанций с 30 промышленными реакторами суммарной мощностью 21242 МВт, из них 29 реакторов на медленных нейтронах (типа ВВЭР и РБМК) и один реактор на быстрых нейтронах. Для обеспечения этих АЭС ядерным топливом необходимо ежегодно 3600 тонн природного урана.

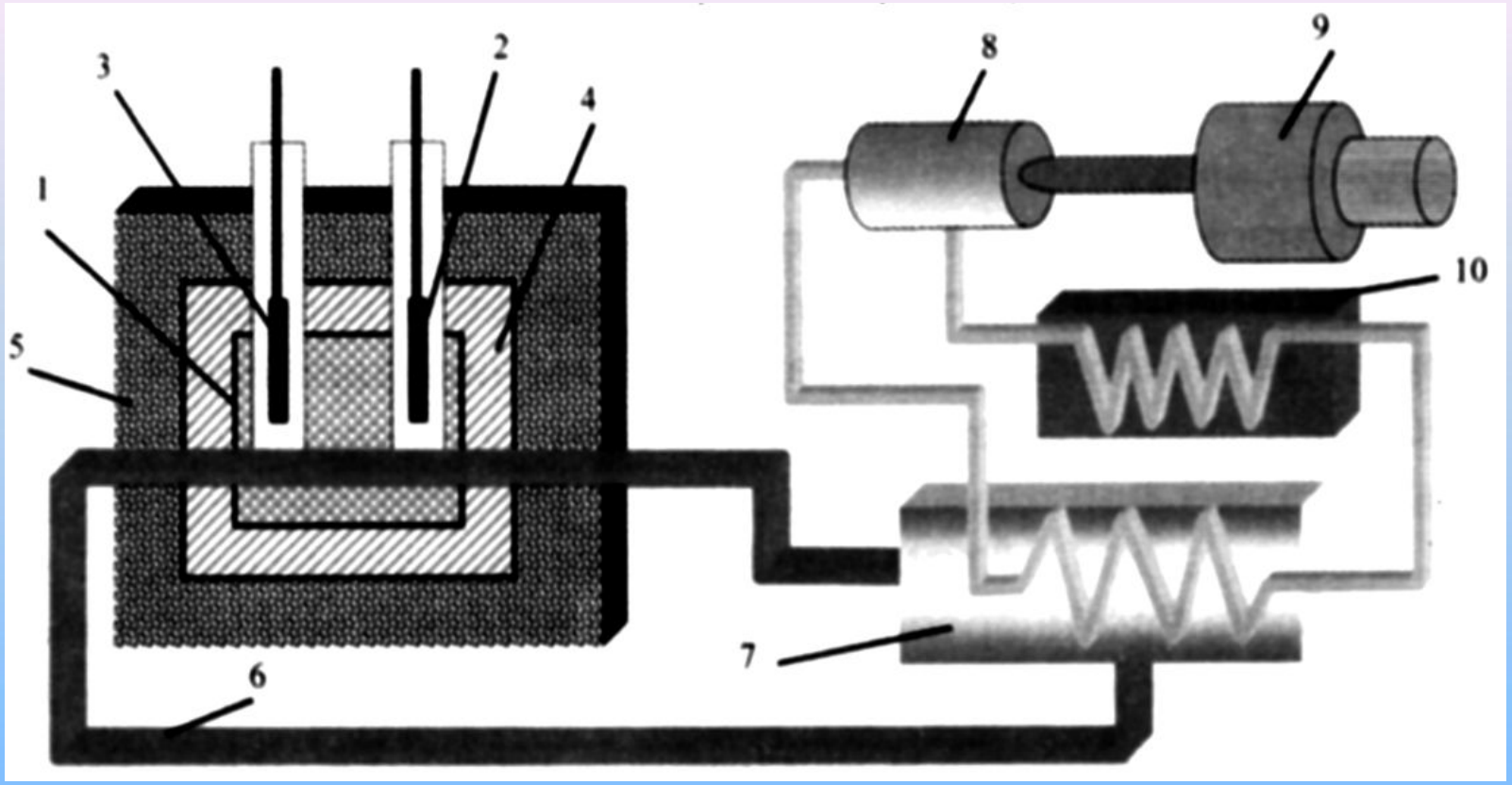
Доля ядерной энергетики в мире составила 20% (МАГАТЭ, 1995):

- Франция и Бельгия 70-80% ,
- Швеция-50%,
- США – 17%,
- Канаде – 15%,
- Южной Корее – 53%,
- на Тайване – 48,5%,
- в России – 13%.

Атомная энергетика включает в себя весь технологический цикл: урановые рудники, металлургические предприятия по получению обогащенного ядерного топлива, заводы по очистке урановых концентратов и изготовлению ТВЭЛ-ов (тепловыделяющих элементов), предприятия по утилизации ядерных отходов. На протяжении всей этой технологической цепочки образуются твердые, жидкие, газообразные отходы.

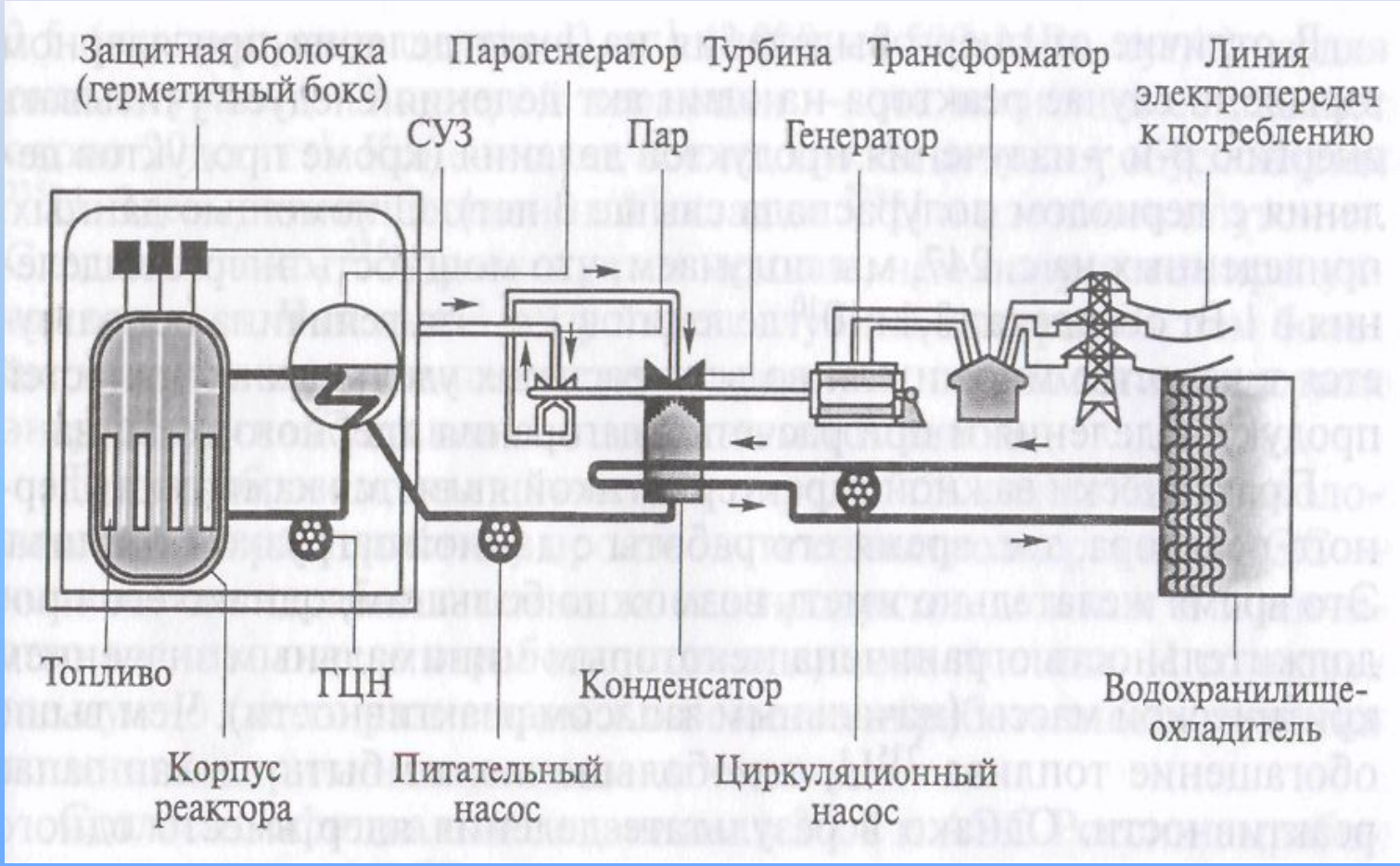
# Схема технологической цепочки атомной энергетики



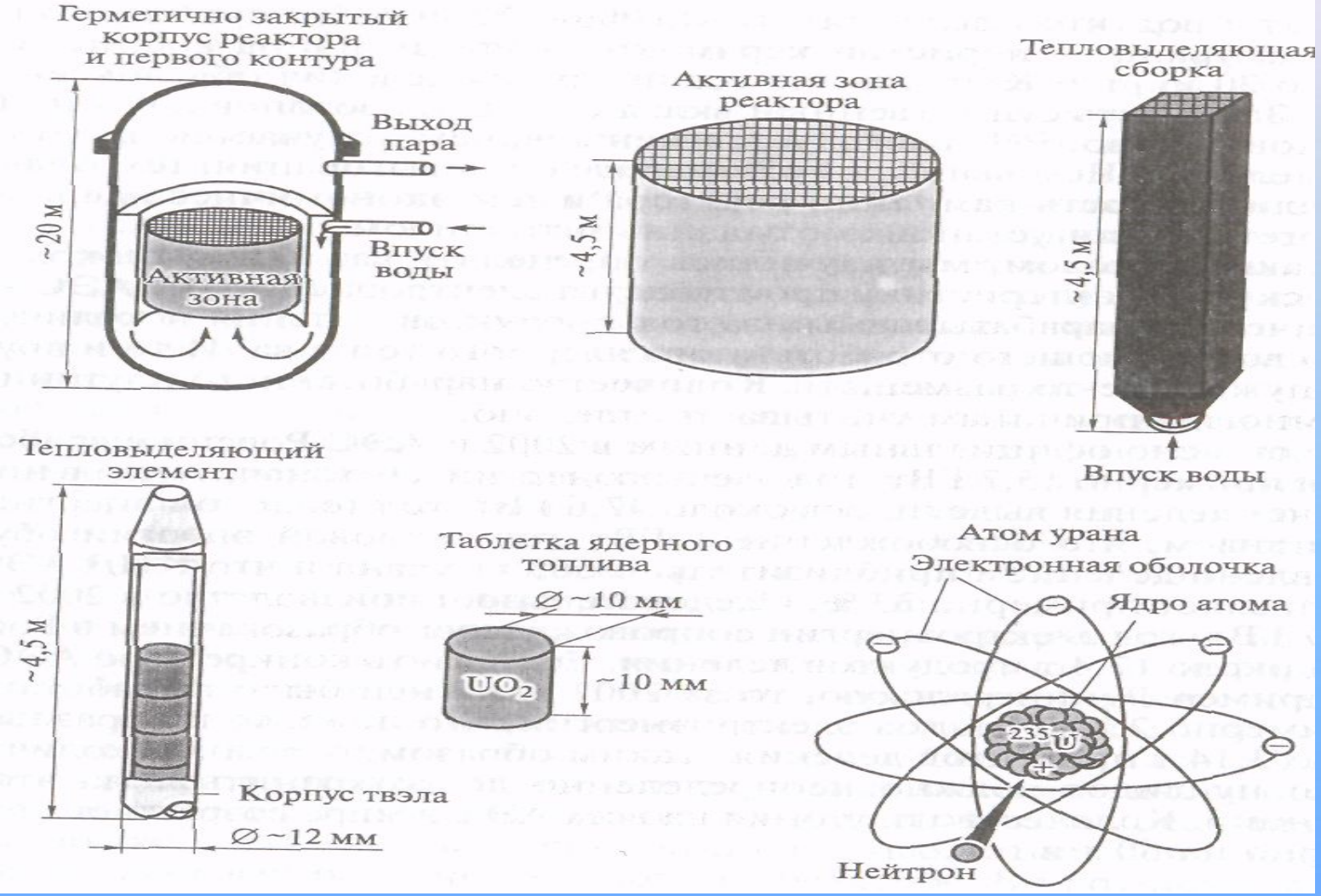



Принципиальная схема атомной электростанции:
*1* – ядерное горючее с замедлителем; *2* – аварийные стержни; *3* – регулирующие стержни; *4* – отражатель нейтронов; *5* – бетонная защита от радиации; *6* – теплоноситель; *7* – парогенератор; *8* – паровая турбина; *9* – генератор тока; *10* – конденсатор пара

# Технологическая схема АЭС с реактором ВВЭР-400 (ВВЭР-1000)



# Элементы ядерного реактора



По состоянию на 2002 год в России эксплуатируется 29 ядерных энергоблоков общей установленной мощностью 21,2 Гвт , в т.ч.:

- водо-водяные (ВВЭР) – 13;
- канальные (РБКМ-1) – 11;
- водо-графитовые (ЭГП) – 4;
- на быстрых нейтронах (БН-60) – 1.

В современный период достраиваются 5 энергоблоков:

- водо-водяные (ВВЭР) – 4 (Ростовская, Калининская, Балаковская АЭС);
- канальные (РБКМ-1) – 1 (Курская АЭС).

Атомная энергетика имеет устойчивую тенденцию к развитию: в 1984 году в мире насчитывалось 345 атомных энергоблоков, в 1986 году – 417, в 1988 году – 426, в 1994 году – около 500. В настоящее время 17% всей электроэнергии в мире вырабатывается на АЭС, а в ряде стран, таких как Бельгия и Франция, эта доля достигает 50-75%.

# Атомные электростанции России

| Наименование атомных станций | Электрическая мощность, МВт | Количество и тип реактора |
|---|---|---|
| *1. Действующие АЭС* | | |
| 1. Кольская АЭС | 1760 | 2 × ВВЭР-440/230<br>2 × ВВЭР-440/213 |
| 2. Ленинградская АЭС | 4000 | 4 × РБМК-1000** |
| 3. Калининская АЭС | 2000 | 2 × ВВЭР-1000 |
| 4. Смоленская АЭС | 3000 | 3 × РБМК-1000 |
| 5. Курская АЭС | 4000 | 4× РБМК |
| 6. Нововоронежская АЭС | 1834 | 2 × ВВЭР-440/320*<br>1×ВВЭР-1000 |
| 7. Балаковская АЭС | 3000 | 3 × ВВЭР-1000 |
| 8. Белоярская АЭС | 600 | 1 × БН-600 |
| 9. Билибинская АЭС | 48 | 4×ЭГП-6 |
| 10. Ростовская АЭС (2001 г.) | 2000 | 2 × ВВЭР-100 |
| Итого: | 22242 | × |

| *2. Строящиеся, законсервированные и проектируемые АЭС* | | |
|---|---|---|
| 11. Южно-Уральская АЭС | 2400 | 3 × БН-800 |
| 12. Воронежская АЭС | 1000 | 2 × АСТ-500М |
| 13. Томская АЭС | 1000 | 2 × АСТ-500М |
| 14. Хабаровская АЭС | 1000 | 2 × АСТ-500М |
| 15. Костромская АЭС | 2400 | 4 × ВПБЭР-600 |
| 16. Дальневосточная АЭС | 1200 | 2 × НП-500 |
| 17. Приморская АЭС | 1200 | 2 × ВПБЭР-600 |
| 18. Блок на Ленинградской АЭС | 630 | 1 × НП-500 |
| 19. Блоки на Кольской АЭС | 1900 | 3 × НП-500 |
| 20. Блок на Калининской АЭС | 1000 | 1 × ВВЭР-320 |
| 21. Блок на Курской АЭС | 1000 | 1 × РБМК-1000 |
| 22. Блок на Белоярской АЭС | 800 | 1 × БН-800 |
| 23. Блок на Балаковской АЭС | 1000 | 1 × ВВЭР-1000 |
| Итого: | 17330 | × |
| Всего: | 37572 | × |

*Примечания.* АСТ – атомная станция теплоснабжения; ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор; РБМК – реактор большой мощности канальный; БН – реактор на быстрых нейтронах; ЭГП – реактор энергетический графитовый паровой; ВПБЭР – водяной повышенной безопасности энергетический реактор;

* оба первого поколения;

** в том числе два реактора первого поколения.

Основную дозу в выбросах составляют продукты деления ядерного горючего: радиоизотопы йода, цезия, стронция, церия, циркония, марганца, железа, а также тритий и радиоактивные газы – радон, ксенон и криптон. Система очистки сточных вод такова, что в водоемы поступает вода с содержанием радиоизотопов, не превышающим допустимый уровень для питьевой воды.

При отсутствии аварий и хорошей радиационной защите такое производство заметного влияния на окружающую среду не оказывает.

Главная проблем при эксплуатации атомных реакторов – выемка отработанного ядерного топлива. По мере работы реактора масса ядерного горючего в нем уменьшается, растет количество осколков отделения ядер урана или плутония, которые сильно радиоактивны, так как претерпевают бета-распад, сопровождающийся мощным гамма-излучением.

Атомная промышленность и энергетика относятся к отраслям деятельности человека с малой опасностью для жизни.

За период с 1945 по 1992 годы (НКДАР ООН) вклад ядерной энергетики в формирование коллективной эффективной дозы облучения населения всего земного шара составил 2,4 млн чел.-Зв, а дополнительный вклад тяжелых радиационных аварий – 0,6 млн чел.-Зв, то есть почти в 1100 раз меньше, чем вклад облучения от источников естественного фона .

# Коллективная эффективная доза облучения населения за период с 1945 по 1992 годы

| Источник облучения | Коллективная эффективная доза, млн чел.-Зв |
|---|---|
| Естественные источники | 650 |
| Медицинское облучение:<br>– диагностика<br>– терапевтические процедуры | <br>90<br>75 |
| Испытания ядерного оружия | 30 |
| Ядерная энергетика | 2,4 |
| Радиационные аварии | 0,6 |
| Профессиональное облучение | 0,6 |

После 1992 года данные вследствие аварии на Чернобыльской АЭС несколько изменились.

Чернобыльская АЭС

**Разрушенный 4 блок на Чернобыльской АЭС**

## Эффективные эквивалентные дозы человека от искусственных источников

| Источники радиации | Среднемировые данные | | Россия | |
|---|---|---|---|---|
| | мЗв/год | % | мЗв/год | % |
| Рентгенодиагностика | 1,000 | 93,5 | 1,200 | 94 |
| Радионуклидная диагностика | 0,050 | 4,7 | 0,030 | 2,3 |
| Испытание ядерного оружия | 0,015 | 1,4 | 0,020 | 1,6 |
| Ядерная энергетика | – | – | – | – |
| Последствия аварии в ЧАЭС | – | – | 0,030 | 2,3 |
| Профессиональное облучение | 0,004 | 0,4 | 0,003 | 0,2 |
| ИТОГО | 1,069 | 100 | 1,283 | 100 |

В таблице приведены характеристики основных поступлений искусственных радионуклидов в атмосферу с 1946 по 1986 год.

# Основные источники поступления искусственных радионуклидов в атмосферу с 1946 по 1986 год

| Источник поступления | Суммарная активность, $\times 10^{16}$ Бк | Ареал распростра-нения, км$^2$ |
|---|---|---|
| Испытания атомного оружия в атмосфере | 181060 | $510\times10^{16}$ |
| Авария на Чернобыльской АЭС, 1986 г. | 185 | $250\times10^{6}$ |
| Технологический сброс отходов в проточный водоем р. Теча, 1950 г. | 10,2 | $2\times10^{2}$ |
| Авария в районе г. Кыштым, 1957 г. | 7,4 | $23\times10^{3}$ |
| Пожар на заводе в г. Уиндскейле (Великобритания), 1957 г. | 1,1 | $3\times10^{2}$ |
| Ветровой выброс из поймы озера Карачай, 1967 г. | 0,003 | $2\times10^{2}$ |

Эксплуатация АЭС сопряжена с определенной степенью социального, экономического и экологического риска, а также риска ухудшения здоровья людей вследствие возникновения крупных радиационных аварий.

Наиболее крупной радиационной аварией в истории человечества стала авария на Чернобыльской АЭС. По данным различных авторов, число людей, испытавших последствия аварии на Чернобыльской АЭС, составило от 130 до 250 тыс. человек, подверглись отселению 116 тыс. человек, в дозах свыше фоновых облучились 24,2 тыс. человек, заболели острой лучевой болезнью 134 человека, а еще 28 человек погибли. В работах по ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы принимало участие около 240 тыс. человек, а радиоактивному загрязнению, превышающему уровень 5 Ки/км$^2$, подверглась территория площадью около 25000 км$^2$ с населением более 5 млн человек.

Различные соматические расстройства здоровья, не связанные с облучением (стрессы, социально –экономические, психологические)

Медицинские последствия

Непосредственные, детерминированные
( отсутствуют при малых дозах)

Лучевая болезнь у 134 человек – участников аварийных работ в первые сутки после аварии

Прогноз для всех категории населения благоприятный

Отдаленные, стохастические, вероятностные
(могут возникнуть при любых дозах)

Рак щитовидной железы у 1800 человек, облученных в детском возрасте

Возможен рост числа рака щитовидной железы и других органов,
в меньшей степени возникновение наследственной патологии

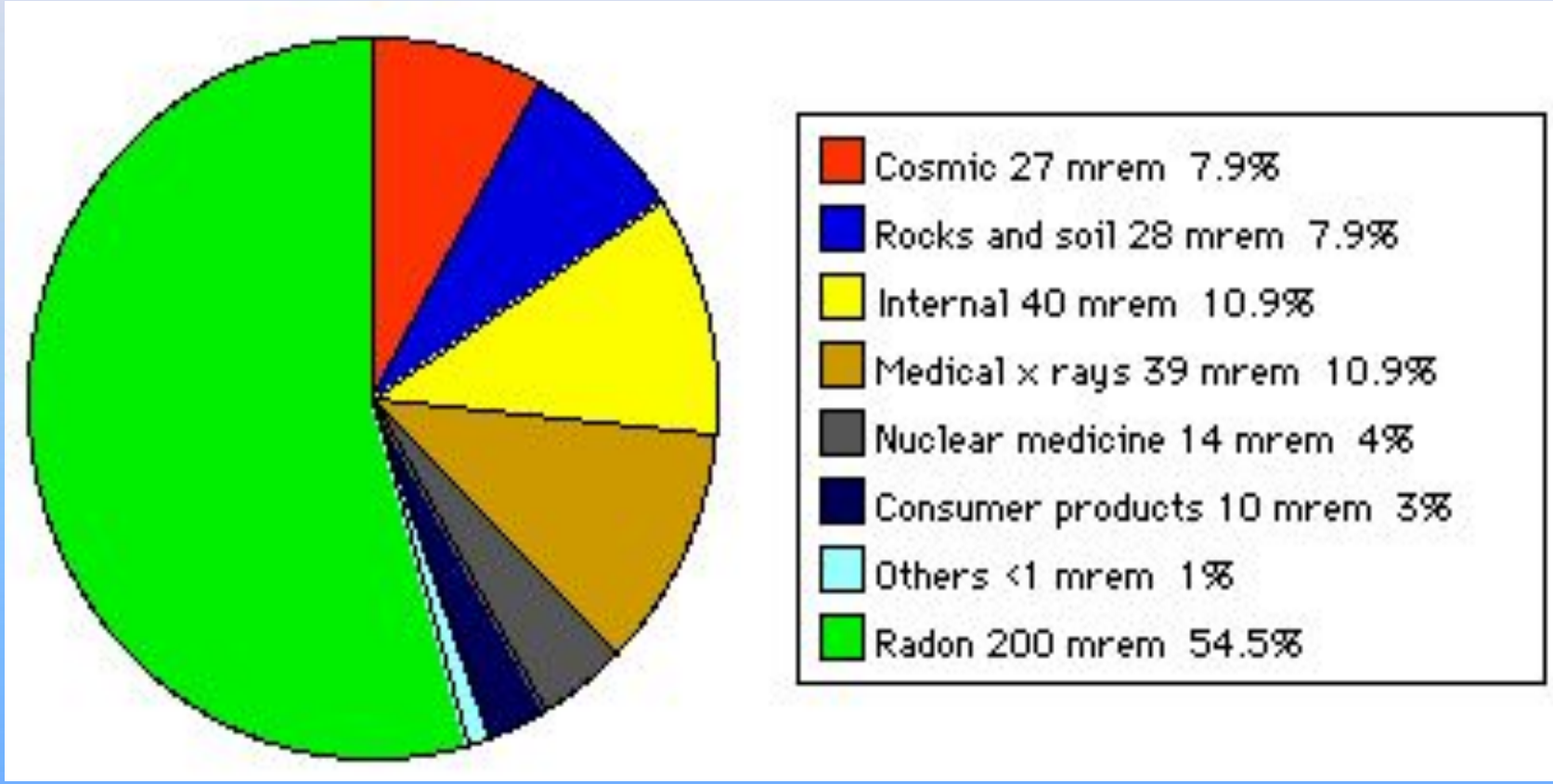
**Общая схема возможных медицинских последствий на примере Чернобыльской аварии**

Подводя итоги вышесказанному, следует отметить, что за счет искусственных (техногенных) источников ионизирующей радиации формируется около 10% годовой эффективной эквивалентной дозы. Данные исследований представлены в таблице.

## Структура доз облучения населения источниками ионизирующего излучения (по данным ООН и радиационно-гигиеническому паспорту РФ за 1999 год)

| Источник излучения | Средние годовые дозы, мЗв/год | |
|---|---|---|
| | мировые | по России |
| *Природные источники* | | |
| Внешнее гамма-излучение природных радионуклидов | 0,48 | 0,48 |
| Космическое излучение | 0,390 | 0,390 |
| Долгоживущие радионуклиды в атмосферном воздухе | 0,006 | 0,006 |
| Изотопы радона в воздухе помещений | 1,26 | 1,89 |
| Калий-40 и другие природные радионуклиды в пище и питьевой воде | 0,290 | 0,290 |
| Всего природные источники | 2,406 | 3,056 |
| *Искусственные источники* | | |
| Медицинское облучение | 0,4 | 1,0 |
| Глобальные выпадения | 0,005 | 0,005 |
| Загрязнение территорий | 0,002 | 0,002 |
| Всего искусственные источники | 0,407 | 1,007 |
| Итого за счет всех источников | 2,813 | 4,064 |

# Вклад разных источников ИИ и РВ в облучение человека



Космические лучи 37 мбэр/год

Почва 38 мбэр/год
Калий 40 - 12 мбэр/год
Уран 238 - 10 мбэр/год
Торий 232 - 16 мбэр/год

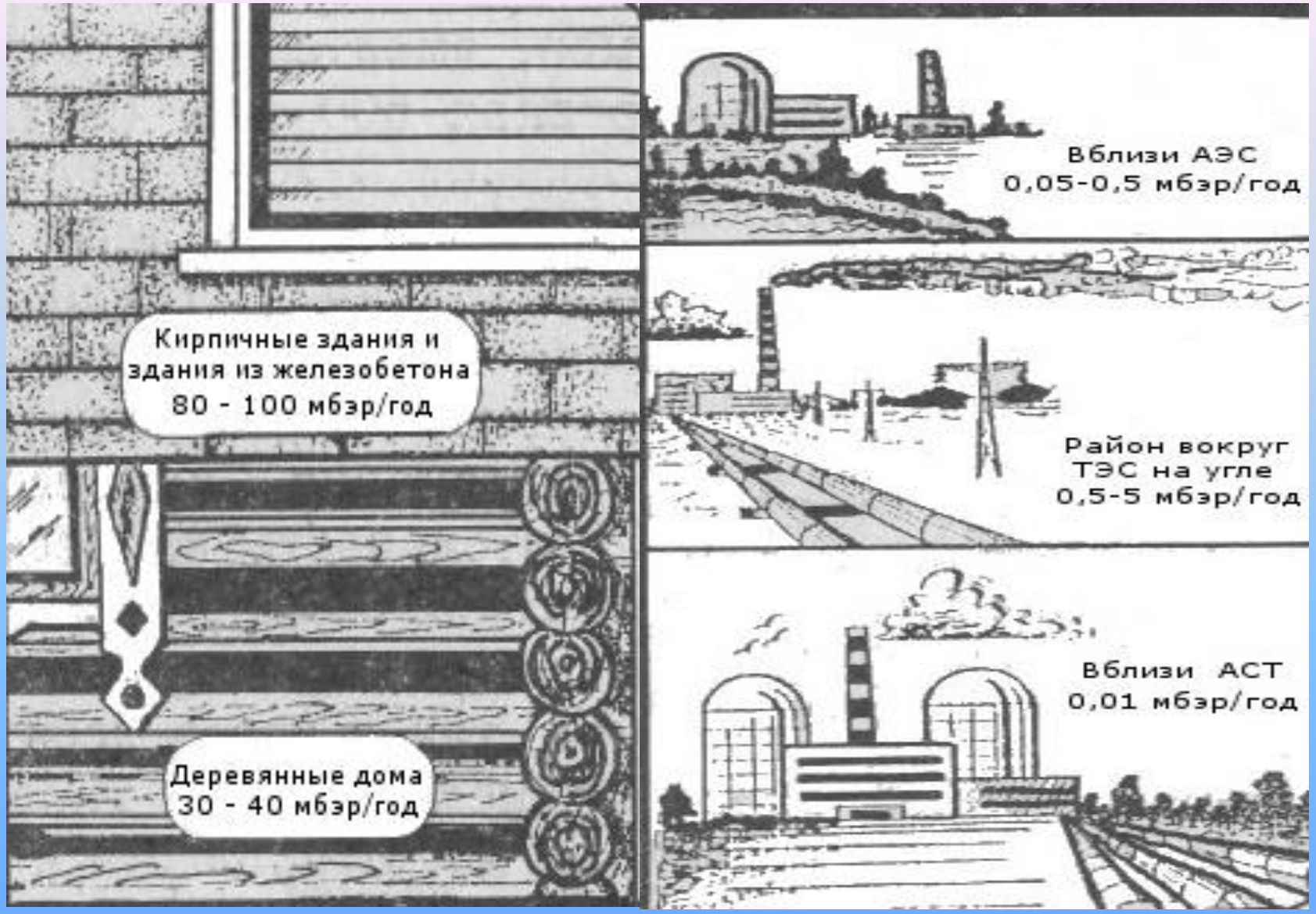
Вода, пища, воздух
- 135 мбэр/год
Калий 40 - 18 мбэр/год
Радон 222 - 100 мбэр/год
Свинец 210 - 12 мбэр/год

Авиаперелет
Н.Новгород-Сочи
и обратно -1,5 мбэр
Авиаперелет Томск-
Москва и обратно - 4 мбэр

Рентгенодиагностика
100 мбэр/год
ФЛГ 140 мбэр/год
Рентгеноскопия
грудной клетки
900 мбэр/год

TV
Просмотр телепередач
0,5 - 1 мбэр/год

Последствия
ядерных испытаний
1 мбэр/год


Кирпичные здания и здания из железобетона 80 - 100 мбэр/год
Деревянные дома 30 - 40 мбэр/год
Вблизи АЭС 0,05-0,5 мбэр/год
Район вокруг ТЭС на угле 0,5-5 мбэр/год
Вблизи АСТ 0,01 мбэр/год