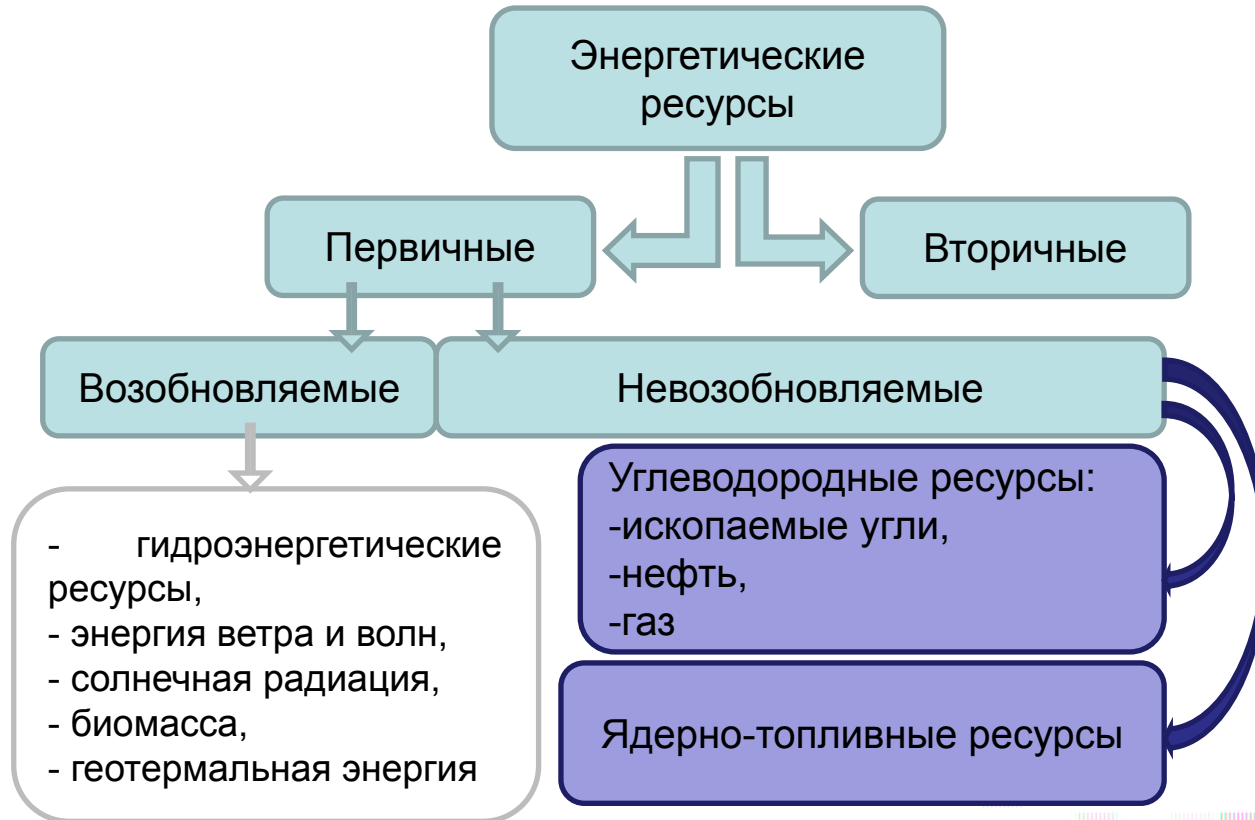
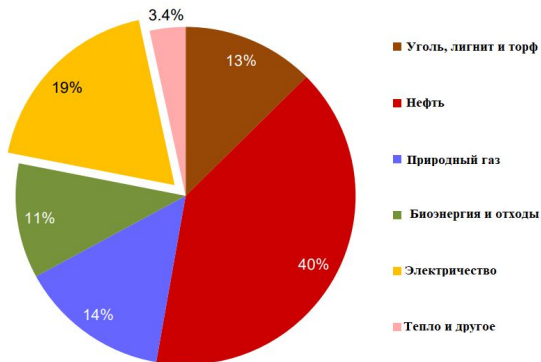


# Классификация энергетических ресурсов

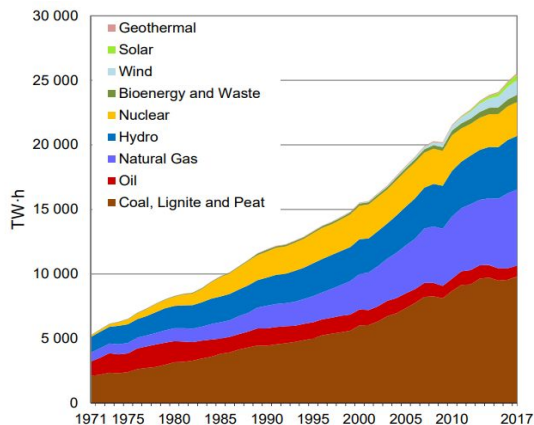


# Тенденции развития мировой энергетики

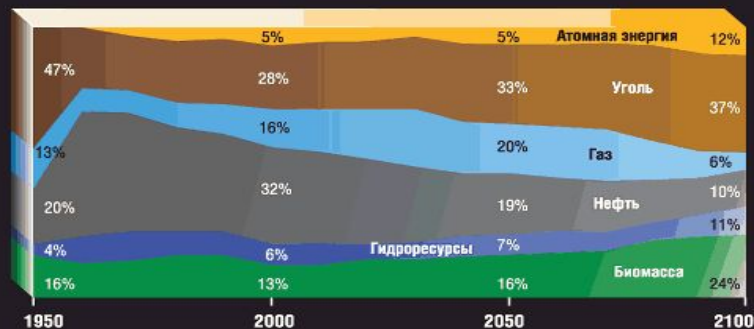
Мировое потребление энергии по источнику энергии в 2017 году



Структура мирового производства общего объема электроэнергии по источникам энергии в период 1971-2017



Ретроспектива и прогноз структуры потребления топливно-энергетических ресурсов в мире



Прогноз производства электроэнергии по энергоносителям



## **Энергетическая политика России, основывается на следующих основных принципах энергетической безопасности:**

- 1. Принцип независимости от исчерпаемого ресурса:** энергетика не должна чрезмерно зависеть от какого-либо одного невозобновляемого топливного ресурса, т.е. доля газа в топливно-энергетическом балансе должна снижаться за счёт ядерного топлива.
- 2. Принцип постепенного роста доли возобновляемых источников энергии в топливно-энергетическом балансе страны:** энергетика должна постепенно освобождаться от естественной неопределённости, связанной с разведкой и добычей ископаемого топливного сырья, т.е. ископаемое топливо необходимо заместить на неисчерпаемые источники энергии, например, на такой антропогенно-возобновляемый источник, как ядерное топливо быстрых реакторов.
- 3. Принцип экологической приемлемости энергетики:** развитие ТЭК не должно сопровождаться увеличением его воздействия на окружающую среду, в частности, рост электрогенерирующих мощностей должен обеспечиваться в основном ядерными энергоблоками и возобновляемыми источниками энергии.

**4. Принцип экономии органического сырья:** использование органического топлива в электроэнергетике не должно приводить к истощению запасов органического сырья для химической промышленности и транспорта, т.е. необходим постепенный переход к крупномасштабной атомной энергетике с замещением ТЭС на АЭС с естественной безопасностью.

**5. Принцип систематического уменьшения доли сырья в экспорте топливных ресурсов:** экспорт топливных ресурсов не должен сводиться к перекачиванию относительно дешёвого ископаемого сырья за рубеж, т.е. необходимо постоянно увеличивать в экспорте долю продуктов, получаемых из топливного сырья, в т.ч. таких высокотехнологичных продуктов, как моторное и ядерное топливо.

**6. Принцип самофинансирования простого воспроизводства:** модернизация и обновление энергетического оборудования должны проводиться за счёт собственных средств энергетики, т.е. ценовая и налоговая политика государства в энергетике должна обеспечивать условия для самофинансирования простого воспроизводства всех отраслей ТЭК.

**7. Принцип экспортного финансирования замещения газа:** часть увеличения экспортной выручки от продажи газа за счёт замещения его внутреннего потребления другим топливом должна идти на развитие энерготехнологии, основанной на этом топливе, т.е. рост атомной энергетики угольных ТЭС, замещающих газовые ТЭС, должен частично финансироваться за счёт экспорта газа.

**8. Принцип госрегулирования рыночного реформирования энергетики: рыночное реформирование в энергетике должно сопровождаться действенным госрегулированием, т.е. возврат к директивным методам управления энергетикой не допустим, но необходимо государственное регулирование рыночных взаимоотношений в целях формирования эффективного энергетического рынка.**

**9. Принцип соответствия законодательной базы России её стратегическим интересам: законы не должны препятствовать выходу национальных предприятий ТЭКа на мировые рынки высокотехнологичных и наукоёмких товаров и услуг; необходимо снять законодательные ограничения на высокодоходные экспортные услуги по переработке и хранению облучённого ядерного топлива.**

# Структура атомной отрасли

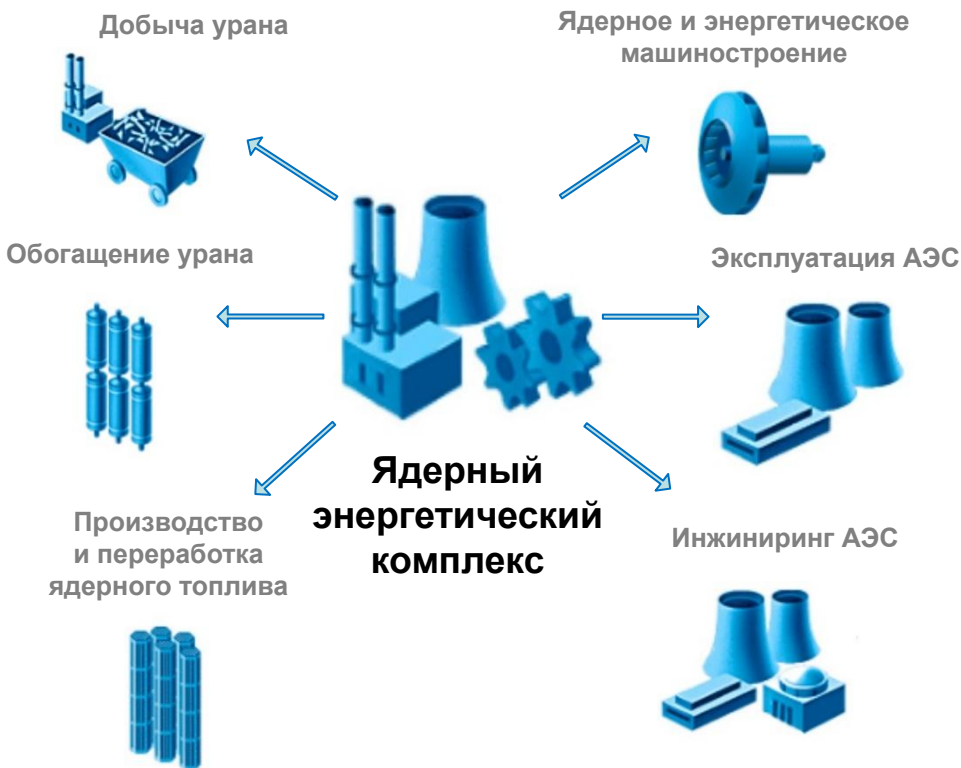
Государственная корпорация по атомной энергии **«Росатом»** (сокращенное название — **Госкорпорация «Росатом»**) — российский государственный холдинг, объединяющий более 360 предприятий атомной отрасли. В состав **«Росатома»** входят предприятия:

- Ядерный энергетический комплекс (гражданские атомные компании).
  - Ядерный оружейный комплекс.
  - Прикладная и фундаментальная наука (научно-исследовательские организации).
  - Атомный ледокольный флот – это совокупность гражданских судов и военных кораблей различного назначения, имеющих в качестве главного источника энергии ядерные силовые установки (СЭС).
- 
- Перспективные материалы и технологии
  - Ядерная и радиационная безопасность
  - Ядерная медицина



Госкорпорация «Росатом» сегодня — это:  
19 % производства электрической энергии в России,  
5 % мировой добычи урана, 40% мирового рынка услуг по обогащению урана,  
17 % мирового рынка ядерного топлива для АЭС,  
16 % мирового рынка строительства атомных станций.

# Ядерный энергетический комплекс:



- Добыча урана.
- Обогащение урана.
- Производство ядерного топлива.
- Проектирование, инжиниринг, строительство АЭС.
- Производство энергии на АЭС.
- Переработка облученного ядерного топлива
- Ядерное и энергетическое машиностроение.
- Сервис и обслуживание оборудования АЭС.

# Преимущества и недостатки ядерного топлива

## Преимущества

1. Высокая теплотворность на единицу топлива (в 3 млн. раз больше угля!!!)
2. Самовоспроизводимость
3. Практическая неисчерпаемость запасов
4. Отсутствие выбросов CO<sub>2</sub>

## Недостатки

1. Необходимость переработки ОЯТ
2. Необходимость высокой степени контроля за ЯМ

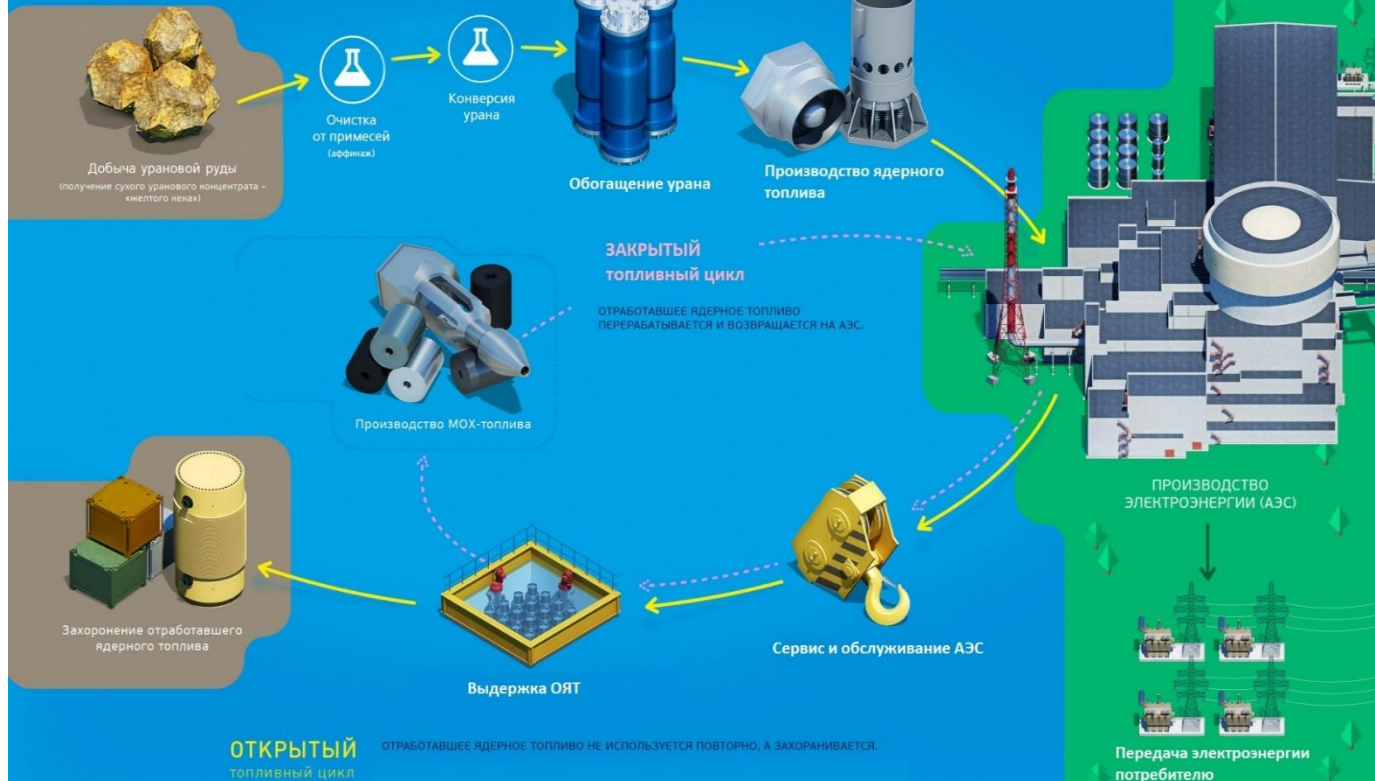
**Ядерное топливо (Nuclear fuel)** — материал, содержащий делящиеся нуклиды, который, будучи помещенным в ядерный реактор, позволяет осуществить цепную ядерную реакцию. Отличается очень высокой энергоёмкостью (*таблетка ядерного топлива весит всего 4,5 грамма, но по энергетическому эффекту эквивалентна 350 кг нефти или 400 кг угля*).



# ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ



Последовательность всех технологических процессов, связанных с получением энергии в ядерных реакторах. От добычи урана до захоронения радиоактивных отходов.

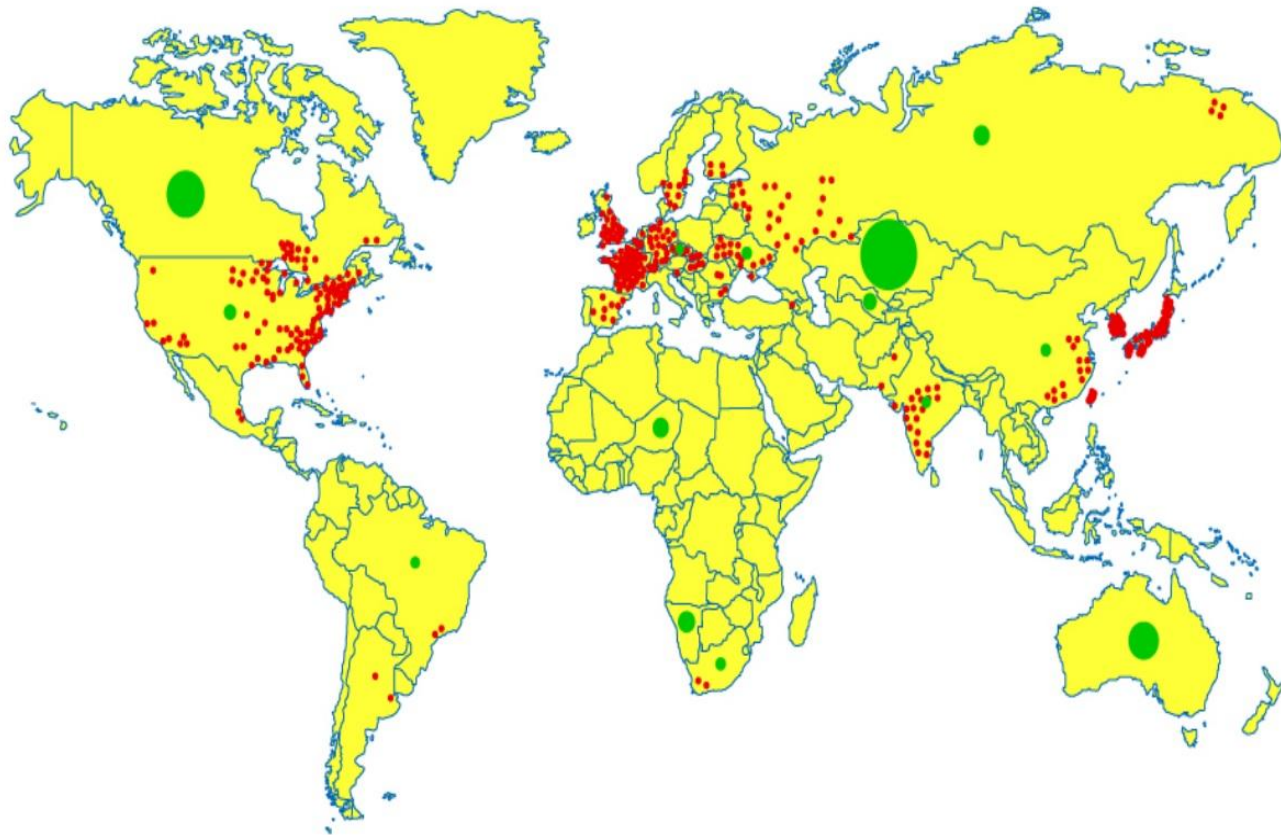


# Атомная энергетика мира

Страна	Количество ЯР	Страна	Количество ЯР	Страна	Количество ЯР
США	99	Швеция	8	Аргентина	3
Франция	58	Германия	7	Бразилия	2
Япония	42	Испания	7	Болгария	2
Китай	39	Бельгия	7	Мексика	2
Россия	35	Чехия	6	Румыния	2
Корея	24	Швейцария	5	ЮАР	2
Индия	22	Пакистан	5	Армения	1
Канада	19	Финляндия	4	Иран	1
Великобритания	15	Венгрия	4	Нидерланды	1
Украина	15	Словакия	4	Словения	1

Источник: МАГАТЭ, по состоянию  
на 31.12.2018

# Ядерные реактора в мире



# Тенденции развития мировой атомной энергетики

## Generation I

Первые прототипы и реакторы малой мощности



- Shippingport
- Dresden, Fermi-I
- Magneox

## Generation II

Энергетические реакторы неусовершенствованного типа



- LWR: PWR/BWR
- CANDU
- ВВЕР/РБМК

## Generation III

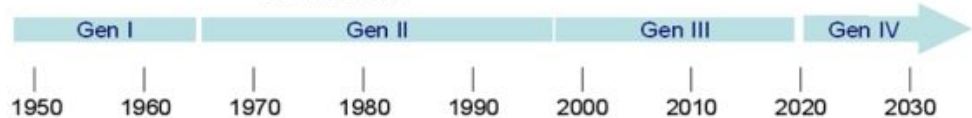
Реакторы усовершенствованного типа



- System 80+
- EPR
- AP600
- ABWR

## Generation IV

Иновационные сверхэкономичные реакторы



1. Переход на реакторы 3 поколения типа EPR, ABWR.
2. Развитие мер безопасности энергетических реакторов.
3. Конструкционное совершенствование узлов реакторов.

**81,1%**

средний общемировой коэффициент использования установленной мощности (КИУМ)

**2506** ТВт-ч

произведено электроэнергии в 2017 году

**4**

новых энергоблока введено в эксплуатацию

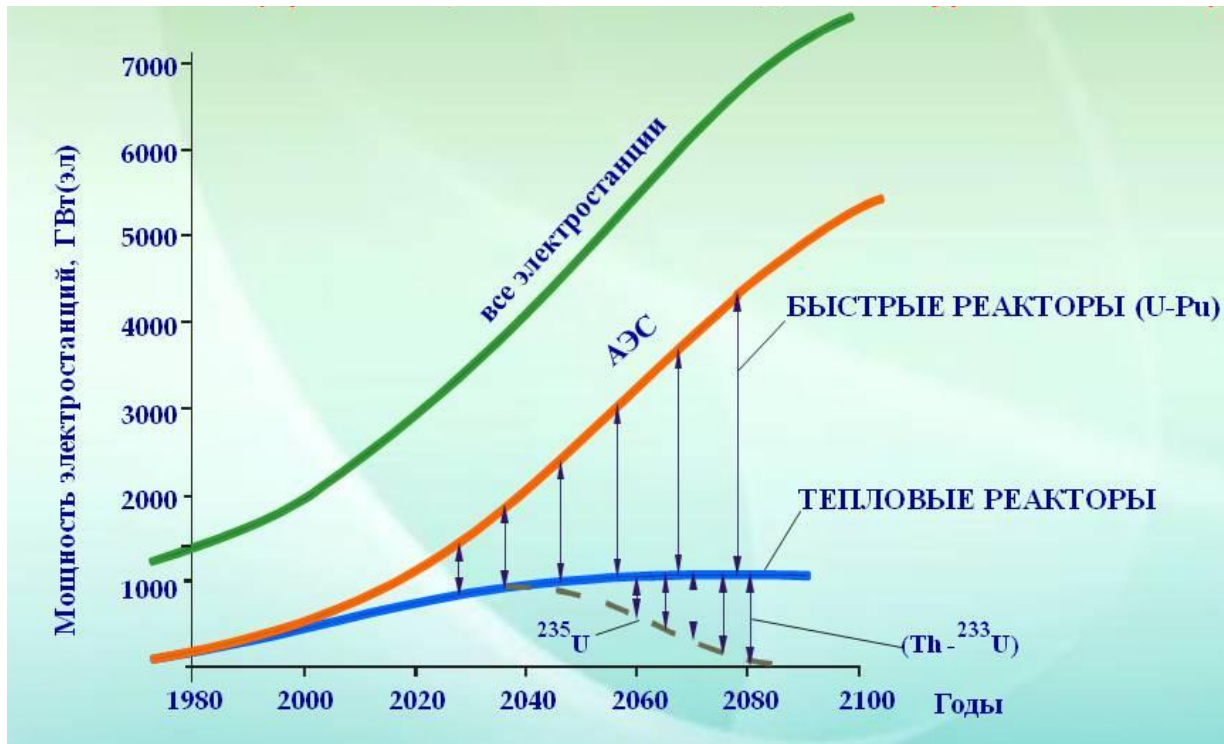
**2** ГВт

чистое увеличение генерирующих мощностей АЭС

**58** месяцев

средний срок строительства новых энергоблоков, запущенных в 2017 году

# Топливный потенциал развития атомной энергетики на быстрых реакторах



# Атомная энергетика России



- В настоящее время в России на 12 действующих АЭС эксплуатируется **37** энергоблоков общей мощностью **29036 МВт (29 ГВт)**:
- 20 реакторов водо-водяных под давлением – 13 ВВЭР-1000, 2 ВВЭР-1200, 5 ВВЭР-440;
- 13 канальных кипящих реакторов – 10 РБМК-1000 и 3 ЭГП-6;
- 2 реактора на быстрых нейтронах – БН-600 и БН-800;
- 2 плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС)

Показатели	Единицы измерения	2017	2018	% к 2018
Выработка электроэнергии на АЭС в РФ	млрд кВт*ч	202,9	204,3	100,7
Коэффициент использования установленной мощности АЭС	%	83,08	83,8	100,9
Количество вводимых энергоблоков АЭС в РФ (физический пуск)	единиц	0	2	-
Количество строящихся	единиц	5	6	128,6
Количество строящихся энергоблоков АЭС за рубежом	единиц	9	9	100
Объем добычи урана	тонн	3687	4624	125,4
Сырьевая база урана	Тыс .тонн	507	507,8	100,2
Количество тепловыделяющих сборок	единиц	7129	6984	98,0

Источник, Отчет Корпорации РосАтом 2017г.



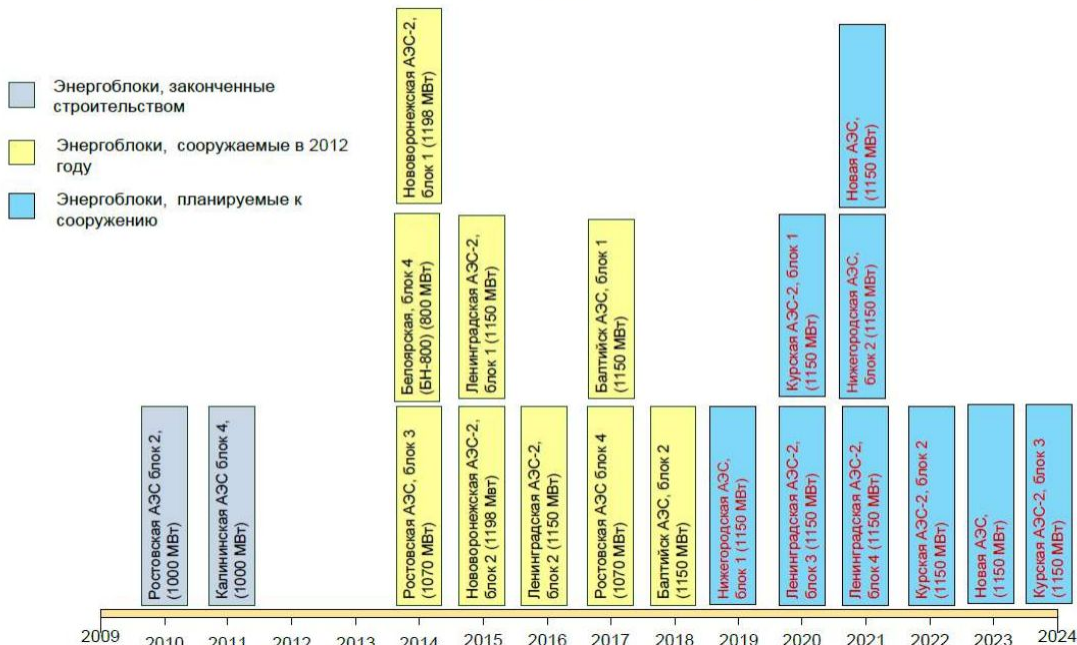
# Тенденции развития атомной энергетики России

## Дорожная карта сооружения АЭС в Российской Федерации на период до 2024 года

В начале 2018 года Россия добилась значительных успехов в разработке новых ядерных реакторов благодаря подключению к сети реактора Ростов-4 в феврале - через 35 лет после начала его строительства - первого энергоблока на Ленинградской АЭС-2, таким образом доведя до 37 реакторов.

### Тенденции развития:

- 1) Останов, демонтаж и утилизация реакторов класса РБМК.
- 2) Переход на реакторы класса ВВЭР с мощностью 1200 МВт.
- 3) Увеличение доли атомной энергетики до 25-30 % в общем балансе страны.



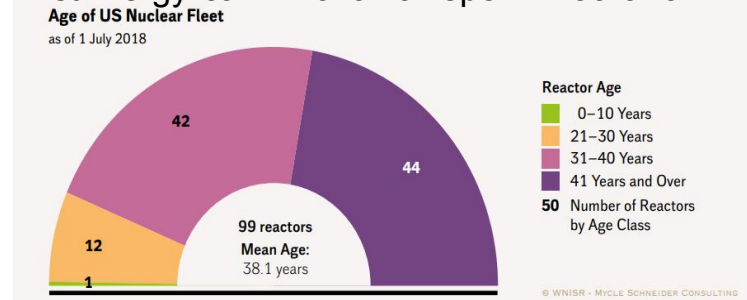
# Атомная энергетика США



По состоянию на 1 июля 2018 года в настоящее время в эксплуатации находятся 99 коммерческих реакторов, США обладают крупнейшим в мире атомным парком.

В июле было остановлено сооружение двух энергоблоков с реакторами AP1000 на АЭС «Ви-Си Саммер» в штате Южная Каролина. В стране осталось только два строящихся энергоблока на АЭС «Вогтль» в штате Джорджия. В январе 2018 года компания Entergy объявила о закрытии АЭС «Индиан-Пойнт» в 2020-2021 годах. В мае компания Exelon предупредила о досрочном выводе из эксплуатации первого блока АЭС «Три-Майл-Айленд». В марте 2018 года компания FirstEnergy заявила о намерении остановить три энергоблока в Огайо и Пенсильвании.

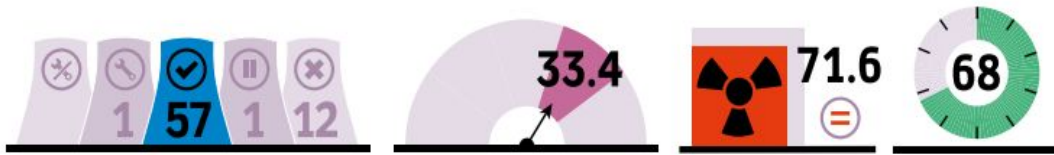
Поскольку в течение 20 лет строятся только два реактора и только один новый реактор запускается, американский реакторный парк продолжает стареть, и в середине 2018 года он составляет в среднем 38,1 года, являясь одним из старейших в мире: 44 блока работали более 40 лет



На национальном уровне действующая администрация заявляет о поддержке атомной промышленности страны. Министерство энергетики США призвало реформировать рынок, чтобы защитить устойчивость и надежность, которые гарантируют энергетические технологии, способные обеспечивать базовую нагрузку.



# Атомная энергетика Франции

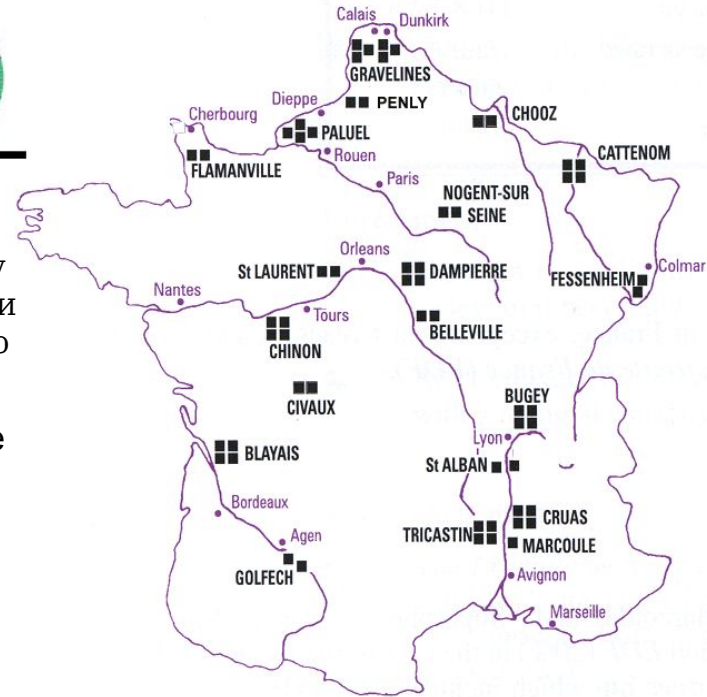


Правительство Франции до сих пор проводит политику сокращения доли производства атомной электроэнергии до 50%. В 2017 году продолжалось строительство третьего блока АЭС «Фламанвиль» с реактором EPR.

- Атомная энергетика Франции занимает стратегическое положение в энергообеспечении страны.
- В этой стране работает **57** атомных реакторов, которые обеспечивают **71,6 %** производства электроэнергии.

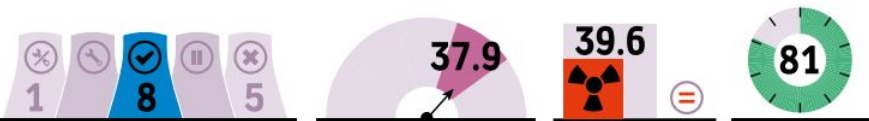
Все действующие реакторы Франции относятся ко второму поколению, и имеют очень высокую степень стандартизации, делясь всего на три типа:

- трехконтурный 900 МВт (33 реактора)
- четырехконтурный 1300 МВт типа P4 (20 реакторов)
- четырехконтурный 1450 МВт типа N4 (4 реактора)

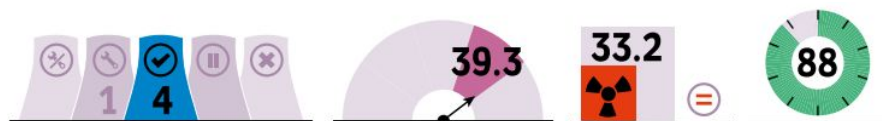


# Атомная энергетика скандинавских стран

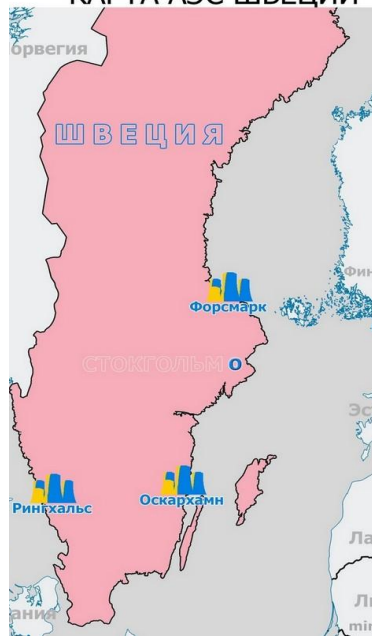
## Швеция



## Финляндия



КАРТА АЭС ШВЕЦИИ



На всех 3-х атомных станциях Швеции 8 реакторов, 7 из них принадлежат концерну VATTENFALL.

Суммарная электрическая мощность АЭС Швеции составляет 9 ГВт

КАРТА АЭС ФИНЛЯНДИИ

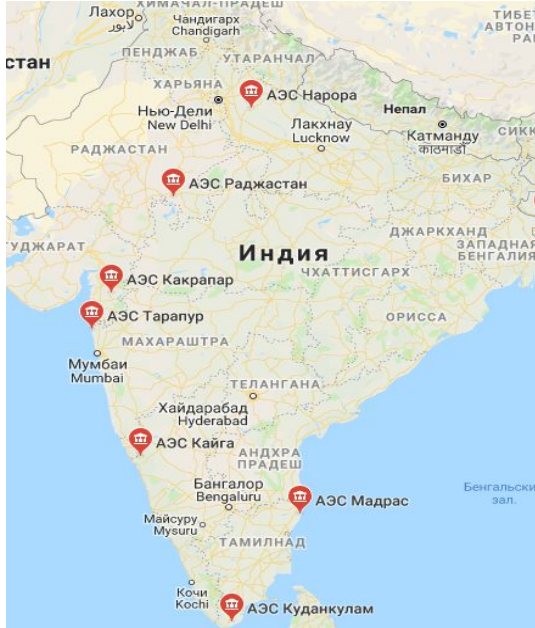


В Финляндии работают две АЭС, каждая из которых имеет по два реактора (ВВЭР-440 и ВВЭР-2500). Суммарная электрическая мощность АЭС Финляндии составляет 2,9 ГВт

# Атомная энергетика Индии



В начале 2018 года Индия строила семь атомных блоков общей мощностью 4,8 ГВт, в том числе энергоблоки с реакторами мощностью 700 МВт собственной



Индия эксплуатирует 7 АЭС, 22 ядерных энергетических реактора с общей чистой генерирующей мощностью 6,2 ГВт:

IPHWR-220 – 14; IPHWR-540 – 2;

BWR-1 – 2;

CANDU-200 – 2;

ВВЭР-1000/412 – 2.

Страна сохраняет планы по значительному развитию атомной энергетики – в мае 2017 года премьер-министр одобрил строительство десяти блоков с тяжеловодными реакторами (PHWR).

В марте 2018 года французская компания EDF и NPCIL подписали соглашение, закладывающее основу для проекта строительства шести энергоблоков с реакторами EPR.

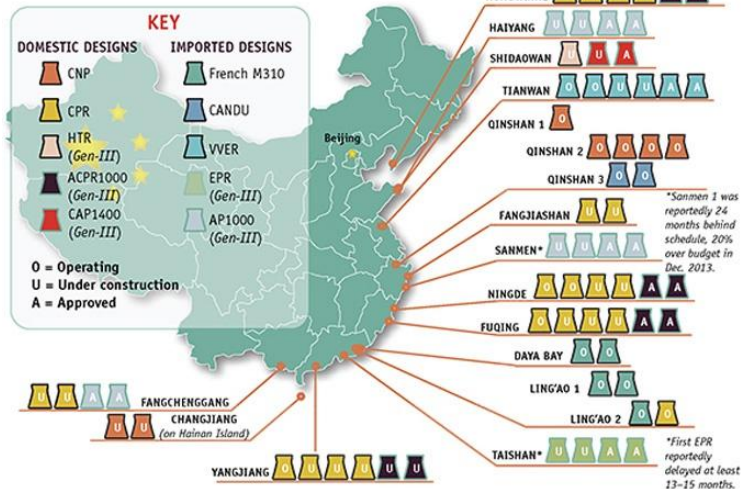
# Атомная энергетика Китая



За последние несколько лет Китай занял третье место по количеству действующих реакторов сразу после США и Франции. По состоянию на 1 июля 2018 года в Китае было 41 действующий реактор общей полезной мощностью 38 ГВт.

Китайский реакторный парк очень молодой, средний возраст составляет 7,1 года. По государственному плану развития на 2014-2020 гг. Китай намерен довести общую мощность реакторов до 58 ГВт

Китай собирается увеличить число ядерных реакторов до 110 к 2030 году и стать одним из крупнейших в мире потребителей атомной энергии.



Наиболее используемый тип реактора - CPR-1000. Права интеллектуальной собственности сохранены за Ageva (Франция), что, однако, ограничивает потенциал продаж CPR-1000 за рубежом.

Первой АЭС с реактором CPR-1000 в Китае стала АЭС Линяо, которая была введена в эксплуатацию 15 июля 2010 года



# Атомная энергетика Японии



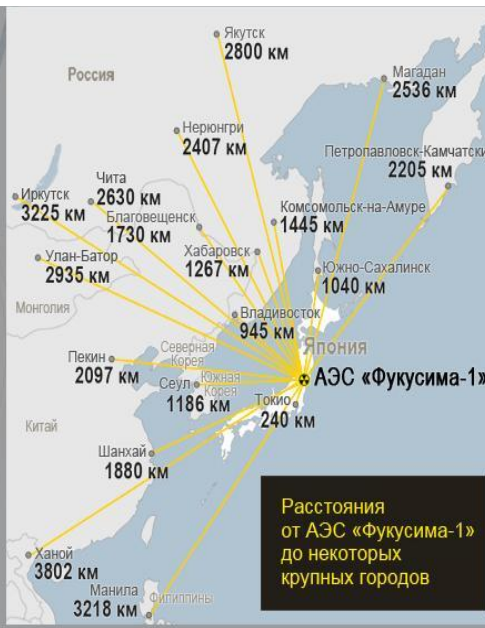
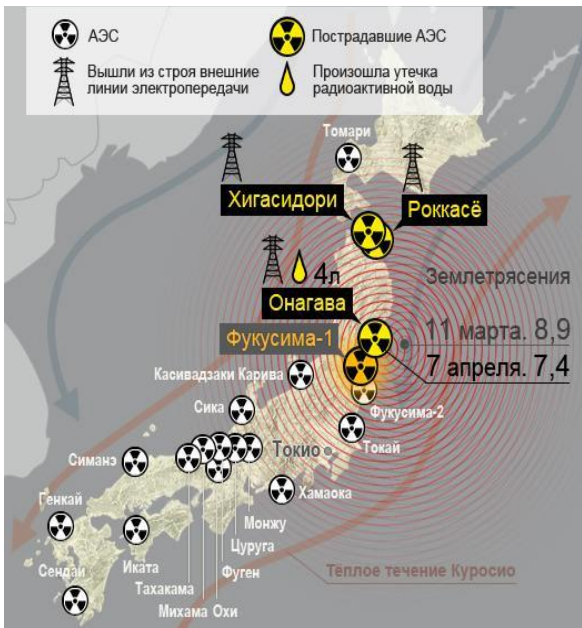
Япония располагает 17 АЭС с 40 ядерными реакторами.

До катастрофы на Фукусиме (март 2011) Япония располагала 54 действующими атомными реакторами (третье место в мире после Франции и США и первое в Азии). АЭС Японии вырабатывали около 30 % электроэнергии страны.

После Фукусимской катастрофы работа всех японских АЭС была постепенно приостановлена для проверок и модернизации.

Атомная энергетика Японии, по итогам 2017 года, выработала 3,61% электроэнергии в стране.

Хотя 38 ядерных реакторов формально классифицируются МАГАТЭ и правительством Японии как действующие, только 9 из них генерировали электроэнергию в 2018 году, остальные временно остановлены.



# Основа атомной энергетики - топливо

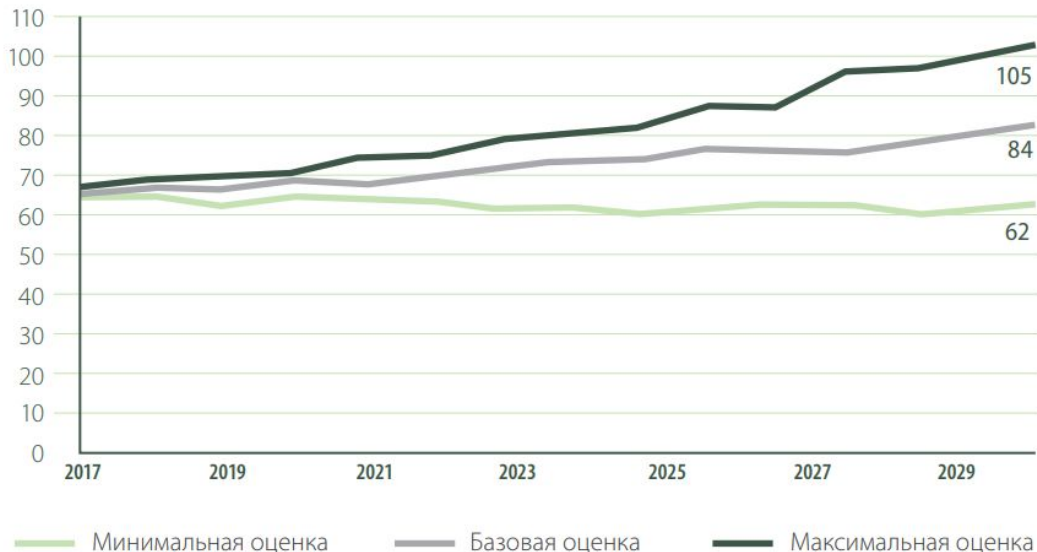
Затраты на первую стадию (добыча-конверсия-обогащение-производство ТВЭЛ\ТВС) составляют до 60 % от всей себестоимости электроэнергии произведенной на АЭС.

Стадия технологического цикла	Производительная мощность	Капиталовложения, млн.долл	Срок строительства, годы
Добыча урана	2000 т $U_3O_8$ /год	1750	5
Производство UF <sub>6</sub>	5000 т U/год	3300	
Разделение изотопов	9 млн кг.ЕРР/год	3300	4
газодиффузионное	1 млн кг.ЕРР/год	2000	8
центробежное	500 т. U/год	330	4
Производство ТВЭЛ	1000Мвт (эл.)	2600-6700	3
Строительство АЭС	1000 т U/год	4000	5
Переработка ОЯТ			3

# Мировые ресурсы ядерного топлива

Всего можно разделить ядерное топливо на категории:

- Полученное из природного сырья (коммерческий уран, торий)
- Нарботанное в процессе хозяйственной деятельности АЭС (плутоний, обедненный уран)
- Топливо смешанного состава (MOX топливо)



## Мировые запасы урана



# Стадии и сроки ЯТЦ



Стадия технологического цикла	Длительность стадии, мес.
Добыча урановой руды, производство $UF_6$	4-6
Разделение изотопов (обогащение) урана	4-6
Производство топлива и ТВЭЛов	12
Эксплуатация АЭС 1000 МВт	36
Выдержка облучённого топлива	6
Переработка облученного топлива и его захоронение	6
<b>Средняя продолжительность ЯТЦ</b>	<b>72</b>



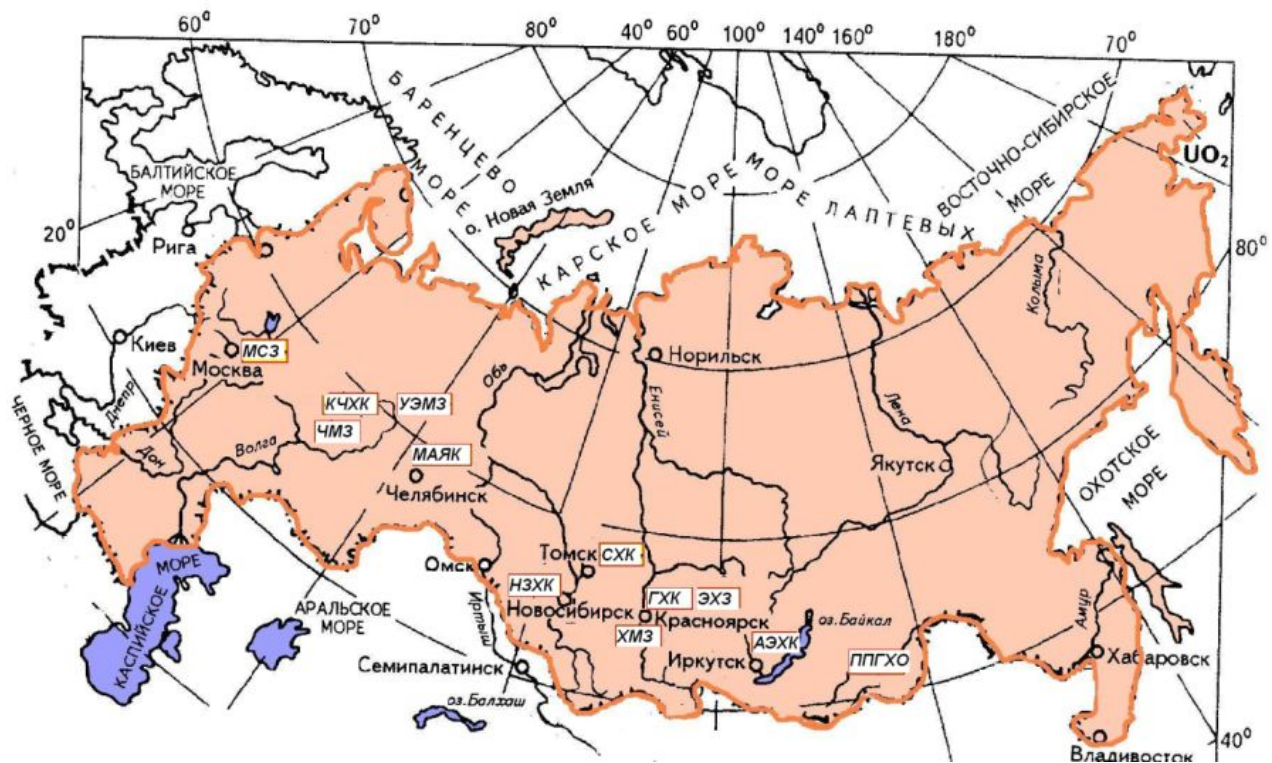


НОВОУРАЛЬСКИЙ  
ГОРОДСКОЙ  
ОКРУГ

# АТОМГРАДЫ РОССИИ



# География ЯТЦ России



## Изотопы для атомных батарей

Поглощение излучения, испускаемого радионуклидами в самом образце, приводит к тому, что образец нагревается. На этом основан принцип действия изотопных источников тепла и тока (изотопных батарей). В изотопных (атомных) батареях тепловая энергия превращается в электрическую энергию путем термоэлектрического преобразователя; при этом коэффициент полезного действия составляет 3 - 5%.

**Радионуклидный источник энергии** - источник энергии, основанный на превращении кинетической энергии, выделяющейся при распаде ядер радионуклидов, в тепловую; преобразование тепловой энергии в электрическую осуществляется с помощью термоэлектрических генераторов. Применяется в космических энергоустановках малой мощности.

Ядерная батарея (атомная батарея), блок источников электрического тока, работающих на энергии распада радиоактивных элементов ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ). Мощность от нескольких Вт до нескольких сотен Вт. Миниатюрный автономный источник электроэнергии на космических летательных аппаратах, маяках и бакенах, в мобильных телефонах, стимуляторах сердечной деятельности, слуховых аппаратах и часах, а также в системах регенерации воды, установленных на космических аппаратах. Атомные батареи занимают небольшой объем, не нуждаются в уходе и надежны даже в экстремальных условиях.

## Полониевая батарея

Полоний-210 - практически чистый альфа-излучатель. Распад полония сопровождается гамма-излучением слабой интенсивности. В связи с относительно небольшим периодом полураспада при использовании полония-210 в изделиях практически не возникает проблемы долговременного хранения радиоактивных отходов. Так, источник на основе полония-210 с тепловой мощностью 10 Вт через 12 лет будет иметь активность  $< 0,1$  микро Ки, что по санитарным правилам РФ уже не превышает уровень радиоактивности источников, для работы с которыми требуется разрешение Государственного санитарного надзора. При разбавлении этой активности в 10 кг инертного вещества полученный материал уже не является радиоактивными

отходами. Радиоизотопные источники тепла на полонии-210 были успешно использованы в четырех космических аппаратах: в первых двух типа «Космос» - для электропитания бортовой аппаратуры, а на «Луноходах» - в качестве источников тепла для поддержания нормального температурного режима в приборном отсеке в период «лунной ночи».

В СССР первая экспериментальная модель термоэлектрического генератора «Л-106» с радиоизотопным источником тепла (РИТ), содержание полония-210 в котором составило 1850 кюри, была создана в марте 1962. Вторая экспериментальная модель термоэлектрического генератора на основе полония-210 «Лимон-1» построена в 1963.

## Прометиевая батарея

В прометиевой атомной батарее происходит ионизация  $\beta$ -излучением прометия пограничного слоя полупроводника, в результате чего возникает электрический ток. Такое явление называют бетавольтэффектом. Оксид прометия-147 массой в 24 г, запрессованный под давлением в платиновую капсулу, дает энергию в 8 Вт. В современной модификации прометиевой батареи реализовано двукратное преобразование энергии. Сначала излучение прометия заставляет светиться специальный люминесцирующий состав (фосфор), а эта световая энергия преобразуется в электрическую в кремниевом фотоэлементе. На одну батарейку расходуется всего 5 мг окиси прометия-147. Особенность прометия-147 в том, что он практически не дает гамма-лучей, а дает лишь мягкое бета-излучение, задерживаемое даже тонким слоем фосфора и корпусом батарей. Длительность работы такой батареи ограничена лишь периодом полураспада изотопа (2,6 года).

Плутониевая батарея. Батарея с 4 кг  $^{238}\text{PuO}_2$  при тепловой мощности 1480 Вт имеет электрическую мощность 60 Вт и рассчитана на работу в течение 10 лет.

При выборе типа термоионных изотопных батарей для конкретного аппарата следует руководствоваться их назначением. Если желательны долгоживущие источники энергии, например, для измерительных или запускаемых в космос приборов, для снабжения током светящихся буев и автоматических метеостанций, то предпочтителен плутоний-238. Если же, напротив, требуется на короткое время выработка больших количеств энергии, то выгоднее батарея из кюрия-242.

В основе презентации лежат труды авторов:

- Андреев Г.Г.;
- Бекман И.Н.;
- Галкин Н.П.;
- Дьяченко А.Н.;
- Калинин Б.А.
- Кошелев Ф.П.;
- Ран Ф.;
- Синев Н.М.;
- Тураев Н.С.;
- сеть «Internet»

Составитель: Петлин И.В.

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ!**

