

ПРОИЗВОДСТВО И ЗАПАСЫ КИТАЙСКИХ ВОУ И ПЛУТОНИЯ

Ху Жань

Эта статья обсуждает историю производства Китаем высокообогащенного урана (ВОУ) и плутония для ядерного оружия и пользуется новой опубликованной информацией, чтобы оценить количества ВОУ и плутония, произведенных Китаем на двух своих газодиффузионных заводах и на двух комплексах по производству плутония. Новые оценки в этой статье говорят, что Китай произвел 20 ± 4 тонн ВОУ и 2 ± 0.5 тонны плутония, и сейчас имеет в своих запасах примерно 16 ± 4 тонн ВОУ и 1.8 ± 0.5 тонны плутония, доступных для оружия. Значения производства Китаем делящихся материалов находятся в нижнем конце предыдущих независимых оценок, которые лежат в диапазоне 17-26 тонн для ВОУ и 2.1-6.6 тонн для плутония. Эти новые оценки окажутся существенными для оценки желания Китая вступить в договор по сокращению делящихся материалов и поддержать многостороннее ядерное разоружение.

Ху Жань работает по Проекту управления атомом, Бельферовский центр по науке и международным отношениям, Школа имени Джона Ф. Кеннеди по управлению, Гарвардский университет, Кембридж, Массачусеттс, США.

Статья получена 11 ноября 2010 года и принята к опубликованию 23 ноября 2010 года.

Автор благодарит Харольда Фейвесона, Зиа Миана и Фрэнка фон Хиппеля за полезные обсуждения.

Почтовый адрес для корреспонденций: Hui Zhang, Belfer Center for Science and International Affairs, Kennedy School of Government, 79 John F. Kennedy Street, Box 134, Cambridge, MA 02138, USA.

Электронный адрес: hui.zhang@harvard.edu

Китай начал свою программу ядерного оружия в середине 50-х годов. Поначалу при помощи Советского Союза Китай приступил к сооружению установок для производства делящихся материалов в конце 50-х годов. Производство ВОУ началось в 1964 году, а производство плутония – в 1966 году. В конце 60-х годов Китай начал сооружать вторые комплексы установок для производства плутония и ВОУ вдали от побережья и границы с Советским Союзом, которые вошли в строй в 70-е годы. Эта программа “третьей линии” была предназначена для обеспечения Китая запасными установками на тот случай, если первые производственные установки были бы разрушены.

Китай хранил в секрете информацию о своих запасах делящихся материалов и ядерного оружия. Хотя Китай не заявлял официально о прекращении производства ВОУ и плутония для оружия, верится, что он сделает это после того, как Пекин начал давать приоритет экономическим и политическим реформам в 1978 году. Китай пошел по пути сокращения военного производства ВОУ и плутония, преклечения некоторых установок на гражданские задачи и закрытия других и в конечном итоге остановил производство ВОУ в 1987 году, а плутония – примерно к 1990 году.

В Таблице 1 приведены даты начала работ и закрытия для китайских военных установок по обогащению урана и производству плутония.

Табл. 1. История операций китайских военных предприятий по производству делящихся материалов.

Предприятие	Начало работ	Закрытие
Обогатительные заводы		
Газодиффузионный завод в Ланчжу	1964	Прекратил производство ВОУ в 1979
Газодиффузионный завод в Хепине	1975	Прекратил производство ВОУ в 1987
Реакторы для производства плутония		
Реактор в Джукване	1966	Закрылся в 1984
Реактор в Гванджуяне	1973	Закрылся в 1989 ?
Перерабатывающие предприятия		
Опытный завод в Джукване	1968	Прекратил работу в начале 1970-х
Перерабатывающий завод в Джукване	1970	Прекратил работу примерно в 1984
Перерабатывающий завод в Гванджуяне	1976	Прекратил работу примерно в 1989

Без знания истории операций и мощности китайских реакторов, производивших плутоний, а также коэффициента использования заводов по обогащению урана любая оценка запасов китайских делящихся материалов будет страдать от больших неопределенностей.

На основе новой опубликованной информации пересмотренные в этой статье оценки таковы: Китай произвел 20 ± 4 тонн ВОУ и 2 ± 0.5 тонны плутония, а сейчас

владеет запасом примерно в 16 ± 4 тонн ВОУ и 1.8 ± 0.5 тонны плутония, доступных для оружия¹. Значения производства китайских делящихся материалов близки к нижнему уровню большинства предыдущих независимых оценок, которые занимают диапазон 17-26 тонн ВОУ и 2.1-6.6 тонн плутония. Однако, новые оценки плутония совместимы с данными Министерства энергетики США от 1999 года о том, что Китай имеет запас плутония для оружия размером в 1.7-2.8 тонн.³

ПРОИЗВОДСТВО И ЗАПАСЫ ВОУ

Китай производил ВОУ на двух комплексах:

- Газодиффузионный завод (ГДЗ) в Ланчжу (завод 504)
- ГДЗ в Хепине (завод 814) – установка “третьей линии”

Китай использовал также эти обогатительные заводы, чтобы производить ВОУ для своих исследовательских реакторов и уран с низким обогащением (НОУ) для морских реакторов. Сегодня Китай управляет двумя обогатительными заводами с центрифугами в Ханжоне (провинция Шэньси) и Ланчжу (провинция Ганьсу), производящими НОУ для гражданских целей.⁴

ГДЗ в Ланчжу

В 1958 году с помощью Советского Союза Китай приступил к сооружению ГДЗ на берегу Желтой реки в Ланчжу в провинции Ганьсу (Рис.1). Через два года Советский Союз отозвал технических экспертов⁵. Завод в Ланчжу произвел свой первый ВОУ оружейного качества в январе 1964 года, а через несколько месяцев выдал достаточное количество для китайского первого ядерного испытания в октябре 1964 года.

Соединенные Штаты предприняли ранние попытки оценить обогатительные возможности завода в Ланчжу при помощи воздушных и спутниковых фотографий, но оказалось трудным сделать надежные заключения. США применили самолет-шпион U-2 для фотографирования площадки Ланчжу в сентябре 1959 года.⁶ Но прогресс появился в результате дальнейшего фотографирования в марте и июне 1963 года. Однако разведка США полагала, что размеры производственного корпуса позволяют вместить только около 1800 компрессионных секций, что значительно меньше 4000 секций, требуемых для получения материала оружейного качества⁷. Более того, правительство США предположало, что плутоний (а не уран) станет делящимся материалом для первой китайской бомбы.⁸ Поэтому стало сюрпризом, когда анализы пыли в атмосфере от первого китайского ядерного взрыва привели к выводу, что это была бомба на основе ВОУ⁹. В декабре 1964 года полет U-2, оборудованного системой инфракрасного обнаружения, подтвердил, что завод в Ланчжу действительно работал¹⁰.

В 1972 году оборонное разведывательное агентство

США оценило, что ГДЗ в Ланчжу производил 150-330 кг ВОУ в год¹¹. Такие темпы производства эквивалентны 24-53 тысячам единиц разделительной работы (ЕРР) в год при 0.5% урана-235 в отходах¹², или 30-66 тысячам ЕРР/год при 0.3% урана в отходах¹².



Рис. 1. Газодиффузионный завод в Ланчжу. Изображение со спутника 9 июля 2004 года (координаты: 36°09'2.68" N/103°31'06.35" E). Источник: DigitalGlobe and Google Earth. На снимке слева видна Желтая река, в верхней части указано обогатительное здание, в центральной части – теплоцентральная станция с угольным топливом.

Китайская официальная ядерная история указывает, что производительность ГДЗ в Ланчжу выросла после того, как он стал работать с использованием нового типа разделительной мембраны¹³. В сообщениях китайских средств массовой информации предполагалось, что проектная производительность завода в Ланчжу была превышена вдвое к концу 70-х годов¹⁴. Западные источники указывают, что Ланчжу достигнул производительности в 180 тысяч ЕРР/год к 1978 году¹⁵.

В 1978 году Китай принял политику экономических реформ. Похоже, что в результате такого сдвига Ланчжу в 80-х годах остановил производство ВОУ и перешел на изготовление НОУ для гражданских энергетических реакторов¹⁶. В 1981 году Китай начал поставлять НОУ на международный рынок¹⁷. Предыдущие оценки производства китайского ВОУ обычно предполагали, что завод в Ланчжу остановил производство ВОУ для оружия в 1987 году.

Обогатительная производительность ЛДЗ в Ланчжу выросла еще более в 80-е годы, и в 1989 году сообщалось, что завод работал с производительностью около 300 тысяч ЕРР/год¹⁸. Но в 1998 году было принято решение о закрытии ГДЗ в Ланчжу, что явилось частью проекта, направленного на замену китайской газодиффузионной технологии на обогащение центрифугами¹⁹. Новая обогатительная установка с центрифугами, поставленная Россией, с производительностью 500 тысяч ЕРР/год начала операции в 2001 году. По соглашению с Россией этот завод производит только НОУ для невоенных целей²⁰.

На основе приведенной информации были сделаны следующие предположения о развитии во времени производства ВОУ на ГДЗ в Ланчжу:

- За 1964-65 годы около 20 тысяч ЕРР/год при 0.5% урана-235 в отходах;
- В 1966-70 годы линейный рост до 50 тысяч ЕРР/год при том же содержании отходов²¹;
- В 1971-75 годах линейный рост до 90 тысяч ЕРР/год при 0.3% урана-235 в отходах;
- В 1976-79 годах линейный рост от 90 тысяч до 180 тысяч ЕРР/год при тех же отходах;
- Производство ВОУ прекратилось в 1980 году и завод производил НОУ с 1980 года до 1987 года, когда все операции прекратились.

С учетом приведенной выше информации получена оценка, что при непрерывной работе на полной производительности до 1980 года завод в Ланчжу произвел бы 1.1 миллиона ЕРР. Этого оказалось бы достаточно для получения примерно 6 тонн урана оружейного качества (с обогащением до 90% ураном-235). Предполагается, что завод в Ланчжу после этого производил НОУ до 1987 года, когда он прекратил операции²².

Газодиффузионный завод в Хепине

Китай построил свой второй газодиффузионный завод (ГДЗ) в рамках оборонной программы "третьей линии". Установка в Хепине (известная также как Завод 814) расположена в районе Хепин Джизу (провинция Сычуань). Считается, что она начала операции где-то в 1975 году и прекратила производство ВОУ в 1987 году²². В конце 80-х годов на основе китайской политики "конверсии военного в гражданское" этот завод был преобразован на другие задачи, включая производство фтора.

С учетом немногочисленной информации относительно завода существует мало оснований для более, чем грубых оценок производства ВОУ. Если опираться на спутниковые изображения, завод в Хепине имел слегка большее по размеру производственное помещение, чем установка в Ланчжу. Предполагается, что начальная производительность завода в Хепине была незначительно выше, чем у завода в Ланчжу на 1975 год (то есть, около 90 тысяч ЕРР/год)²³. Это отражает тот факт, что когда Пекин решил создавать установки "третьей линии" для производства делящихся материалов, его первые производственные установки только что вошли в строй и для Пекина не было повода создавать значительно превышающие по всем параметрам запасные установки, чем те, которые они должны были заменить²⁴. Предполагалось также, что, как и на заводе в Ланчжу, завод в Хепине грубо говоря удвоил свою производительность в конце 70-х годов. Это совмещается с докладом, что выход продукции с завода в Хепине перед его закрытием был равен 200-250 тысячам ЕРР/год²⁵.

Поэтому предполагается следующая история производительности завода в Хепине:

- От 1975 года по 1979 год - линейный рост от 100 тысяч до 230 тысяч ЕРР/год при содержании урана-235 в отходах, равном 0.3%.
- От 1980 года по 1987 год завод работал при 230 тысячах ЕРР/год с тем же составом отходов.
- В 1987 году завод прекратил производство ВОУ.

В этом сценарии, работая непрерывно на полной производительности до 1987 года, завод в Хепине произвел бы 2.7 миллиона ЕРР, что достаточно для получения около 14 тонн ВОУ.

Вместе ГДЗ в Ланчжу и Хепине поэтому произвели бы, грубо говоря, 3.8 миллионов ЕРР, что достаточно для изготовления около двадцати тонн ВОУ оружейного качества (смотрите Рис. 2 и 3). Эта оценка предполагает, что Китай использовал в качестве начального материала только естественный уран для своей программы обогащения. Возможно, что некоторая часть китайского ВОУ была получена от переработанного урана, возвращенного из производственных плутониевых реакторов²⁶. Обогащение переработанного урана, содержащего меньше урана-235, чем естественный уран, потребует больше ЕРР на кг произведенного ВОУ, но эффект не будет значительным²⁷.

Кроме производства ВОУ для ядерного оружия китайские газодиффузионные заводы поставляли также обогащенный уран для исследовательских и морских реакторов.

Топливо исследовательских реакторов

У Китая было два исследовательских реактора с ВОУ-топливом: экспериментальный испытательный реактор с большим потоком нейтронов и мощностью (по теплу) 125 МВт (HFETR), а также испытательный реактор Минь Джан (MJTR) на 5 МВт²⁸. Реактор HFETR достиг критичности в 1979 году и был переведен на НОУ-топливо в 2007 году. Реактор MJTR достиг критичности

в 1991 году и переведен на НОУ-топливо в 2007 году. До этого перевода оба реактора вместе потребили около тонны ВОУ²⁹. Это соответствует примерно 200 тысячам ЕРР при 0.3%-ном содержании урана-235 в отходах.

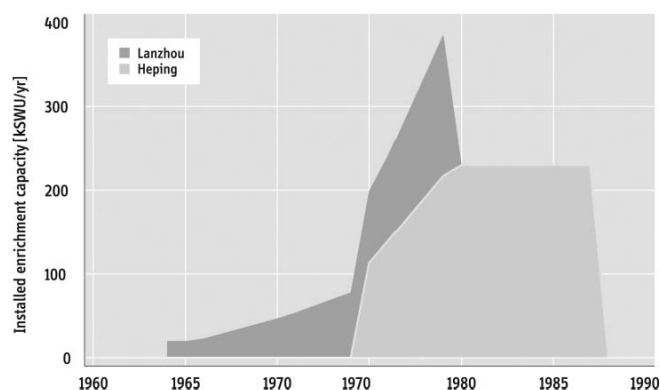


Рис. 2. Реконструированная история полной работы по обогащению, проделанной на ГДЗ в Ланчжу и Хепине в то время, когда они производили ВОУ (тысячи ЕРР/год). По вертикальной оси отложена установленная производительность (кЕРР/год), а по горизонтальной оси годы. Данные по Ланчжоу окрашены в более темный фон, в данные по Хепину – в более светлый.

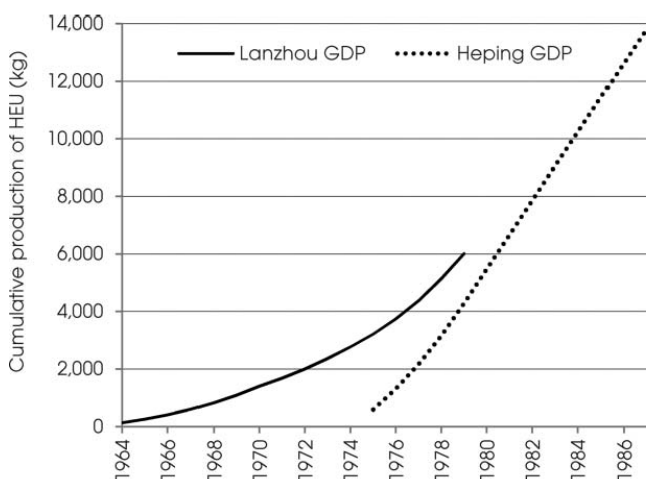


Рис. 3. Совокупное производство ВОУ на ГДЗ в Ланчжу и Хепине. По вертикальной оси отложено совокупное производство ВОУ (кг), а по горизонтальной – годы. Сплошной линией показаны данные по ГДЗ в Ланчжоу, а точечная линия относится к данным по ГДЗ в Хепине.

Россия снабжала Китай некоторым количеством ВОУ для топлива исследовательских реакторов³⁰. По оценкам на 2003 год Китай имел около тонны гражданского ВОУ, обогащенного в Китае и в России³¹. Такого количества хватало для питания китайских исследовательских реакторов. В будущем использование Китаем исследовательских реакторов может оказаться несущественным.

Китайский экспериментальный быстрый реактор (CEFR), достигший критичности в июле 2010 года, впервые был загружен 240 килограммами ВОУ (с обогащением до 64.4 процентов), которые были поставлены Россией³². При последующих загрузках CEFR будет применять топливо из смеси урана и плутония, как и будущие планируемые китайские быстрые реакторы.

Топливо морских реакторов

Китай начал программу атомных подводных лодок в 1958 году. Желая, чтобы эти подлодки не конкурировали с программой ядерного оружия для ВОУ, Китай решил использовать НОУ-топливо с обогащением менее пяти процентов для морских реакторов³³. Наземный прототип реактора начал испытания в мае 1970 года и стал полностью операционным в июле 1970 года. Испытания в течение

полного срока жизни активной зоны реактора завершились в декабре 1979 года и отработанное топливо было выгружено в 1981 году³⁴.

Первая китайская атомная атакующая подлодка типа 091 класса *Хань* вышла на службу в 1974 году и ушла в отставку в 2000 году. Сообщается, что сейчас Китай имеет четыре действующих атомных подлодок класса *Хань* и две новые атомные подлодки типа 093 класса *Шань*³⁵. Первая стратегическая атомная подлодка с баллистическими ракетами (по американской классификации это SSBN) типа 092 класса *Ксиа* была запущена в 1982 году и вышла на патрулирование в 1986 году. Одна SSBN класса *Ксиа* сейчас находится в действии, но она никогда не выходила на патрулирование³⁶.

Каждая из этих подлодок имеет по одному реактору с водой под давлением, обладающему мощностью 90 МВт³⁷. Если активные зоны реакторов спроектированы на срок работы 10 лет, то из оценок следует, что на каждую загрузку китайского морского реактора потребуется около 2.3 тонн пятипроцентного НОУ³⁸. Заводам в Ланчжоу и/или в Хепине пришлось произвести НОУ для десяти активных зон морских реакторов до 1980 года для удовлетворения требований на одну зону для наземного реактора-прототипа, пяти зон для подлодок класса *Хань*, одну зону для SSBN класса *Ксиа* и на несколько запасных³⁹. Это уменьшит количество ЕРР, доступных для производства оружейного ВОУ, примерно на 170 тысяч ЕРР при содержании урана-235 в остатках 0.3%⁴⁰.

Всего двум китайским ГДЗ пришлось затратить примерно 360 тысяч ЕРР обогащенного урана на невоенные цели. Это оставило, как оценивается, 3.4 миллиона ЕРР на производство оружейного ВОУ, достаточных для производства примерно семнадцати тонн ВОУ оружейного качества.

Потери и использование ВОУ, произведенного для оружия

Некоторое количество произведенного для оружия ВОУ было потреблено в испытаниях ядерного оружия и утеряно в процессе изготовления.

Ядерные испытания

Китай провел 45 испытаний ядерного оружия⁴¹. Первые семь были проведены до того, как Китай получил доступ к оружейному плутонию. По-видимому, все они были оружием на основе ВОУ, включая испытание трехмегатонного термоядерного оружия в июне 1967 года. В этих семи испытаниях могло быть затрачено около 200 кг урана оружейного качества⁴². В последующих испытаниях Китай мог перейти на более компактные плутониевые заряды для оружия на делении или в качестве "первичного компонента" для двухступенчатого термоядерного оружия. Если предположить, что испытания с мощностью свыше 20 килотонн связаны с термоядерным оружием, где вторая ступень содержит ВОУ оружейного качества, то около 550 кг ВОУ будет израсходовано в этих термоядерных испытаниях⁴³. Всего на испытания ядерного оружия было затрачено около 750 кг ВОУ или эквивалент в 150 тысяч ЕРР.

Производственные потери

Мы предполагаем, что производственные потери составляют около одного процента, что немного выше по сравнению с опубликованными данными по программе обогащения урана в США. Это составит около 200 кг урана оружейного качества, потерянных во время производства⁴⁴.

Другие источники

Китай мог потратить десятки кг ВОУ в качестве топлива для реактора, производившего третий – скажем, 10 тысяч ЕРР.

Абдул Хан утверждал, что Китай передал 50 кг ВОУ оружейного качества Пакистану в 1982 году⁴⁵. Но многие китайские эксперты сомневаются в этом. Все приведенные выше оценки просуммированы в Таблице 2.

Оценено, что Китай мог бы иметь текущий запас около 16 ± 4 тонн оружейного ВОО⁴⁶. Это значение находится вблизи нижней границы предыдущих оценок.⁴⁷

Табл. 2. Оценки китайского производства и применения обогатительной работы.

Деятельность	Миллионы ЕРР, произведенные или затраченные
Обогатительная работа, произведенная за период, когда Китай изготовлял ВОО	3,8
Обогатительная работа, использованная для невоенных целей	
Топливо исследовательских реакторов	-0,2
Топливо морских реакторов	-0,17
Топливо реакторов для производства трития	-0,01
Производственные потери	-0,04
Ядерные испытания	-0,15
Передано Пакистану ?	-0,01
Полное оставшееся количество, доступное для оружейного ВОО	3,2

ПРОИЗВОДСТВО И ЗАПАСЫ ПЛУТОНИЯ

Китай производил плутоний для оружия на двух площадках:

1. В комплексе по атомной энергии Джукване (его называют также заводом 404) около Юменя в провинции Ганьсу. На этой площадке находятся первый китайский плутониевый реактор и связанные с ним установки по переработке топлива.
2. В производственном плутониевом комплексе (завод 821), расположенном в Гванджуняне (провинция Сычуань). На этой площадке "третьей линии" находятся плутониевый реактор и перерабатывающая установка.

Считается, что производство плутония для оружия завершилось на обеих площадках. Однако Китай заинтересован в переработке топлива гражданских энергетических реакторов и поэтому построил опытный коммерческий завод по переработке. По состоянию на конец 2010 года установка еще не начала нормальные операции.

Комплекс в Джукване

Плутониевый производственный реактор в Джукване имеет замедлитель из графита и водяное охлаждение (см. Рис. 4). Он был сконструирован в 1958 году при советской помощи, и сооружение началось в марте 1960 года. Но Китай не получил ключевые компоненты реактора, когда Советский Союз прекратил свою помощь в августе 1960 года⁴⁸. Завершение проекта реактора существенно затянулось, поскольку Пекин решил сконцентрировать усилия на завершении обогатительного завода в Ланчжоу. Работы над реактором в Джукване возобновились после того, как обогатительный завод приступил к работе в 1964 году. Реактор вступил в строй в октябре 1966 года и вышел на полные операции в 1967 году⁴⁹.

В первые годы реактор столкнулся с рядом технических проблем и часто останавливался. В конце 60-х и в начале 70-х годов на его операции также повлияли политические беспорядки культурной революции⁵⁰. Но после 1970 года реактор заработал без непредусмотренных остановок до тех пор, когда в 1974 году его закрыли на срок более года для испытаний, ремонта и технического обслуживания⁵¹.

Реактор вышел на свою проектную мощность в первой половине 1975 года⁵². После этого мощность и производительность реактора значительно выросли⁵³. В результате этих улучшений в конце 70-х годов производство плутония выросло на 20% (была реализована задача "1.2 реактора"⁵⁴). Реактор закрыли, скорее всего, в 1984 году⁵⁵.

Сооружение опытного перерабатывающего завода вблизи площадки реактора началось в 1965 году, а завод начал работать в сентябре 1968 года. Завод имел две производственные линии, которые вместе могли обрабатывать 0.4 тонны отработанного топлива в день, и они были

заняты 250 дней в году⁵⁶. При такой производительности можно было выделить около 70 кг плутония оружейного качества в год⁵⁷. Завод разделял плутоний для первого китайского испытания оружия на плутонии, которое произошло в декабре 1968 года⁵⁸. Опытный перерабатывающий завод прекратил выделение плутония, когда приступил к работе более крупный завод, также расположенный около площадки реактора, в апреле 1970 года.



Рис. 4. Плутониевый производственный реактор в Джукване. Снимок сделан 25 февраля 2004 года. (Координаты: $40^{\circ}13'23.32''$ N/ $97^{\circ}21'21.26''$ E). Источник: Space Imaging. Стрелка слева указывает охлаждающие башни, в центре – корпус реактора, справа – отвалы.

Мощность реактора

Один из подходов к оценке мощности реактора в Джукване связан с размерами его шести охлаждающих башен. Если опираться на снимки с коммерческих спутников, то кажется, что башни имеют верхний диаметр около 30 метров, что предполагает проектную мощность 14-140 МВт на башню⁵⁹. Если предположить, что 85% тепла рассеивается охлаждающими башнями, а две башни могут использоваться для замены, мощность реактора лежит в пределах 70-600 МВт⁶⁰. Таким образом, размеры башен охлаждения не дают основания для точной оценки, но, по крайней мере, обеспечивают проверку соответствия других оценок.

Поскольку Россия помогла проектированию реактора в Джукване в конце 50-х годов, мощность российских производящих плутоний реакторов с графитовым замедлителем, находившихся в то время на Маяке, может иметь отношение к делу. Первый российский производственный реактор (реактор А) имел проектную тепловую мощность 100 МВт и в период между 1950 и 1954 годами работал на мощности около 180 МВт. Последующие реакторы на Маяке были спроектированы на мощность 300 МВт⁶¹. Отсюда можно сделать вывод, что китайский реактор в Джукване мог иметь начальную проектную мощность в диапазоне 200-300 МВт.

Новая рассекреченная информация о незаконченном китайском реакторе для производства плутония (завод 816) в Фулине (провинция Сычуань) также дает возможность ограничить оценки мощности реактора в Джукване. Пекин решил в 1966 году построить три производственных плутониевых реактора с графитовыми замедлителями и водяным охлаждением на 80 МВт каждый и связанные с ними установки для переработки в пещерах под горой вблизи Фулина в рамках проекта "третьей линии". Если целью проекта было создание запасного варианта для реактора в Джукване, то запланированная полная мощность 240 МВт на новом месте, возможно, совпадает с мощностью реактора в Джукване.

Сооружение реакторов в Фулине началось в феврале 1967 года. В 1969 году с учетом очень медленного прогресса работ по очистке пещеры и увеличенной напряженности в отношениях с Советским Союзом Пекин решил удовлетворить свою острую необходимость иметь запасной вариант комплекса в Джукване быстрым строительством комплекса по производству плутония в Гванджуняне. В 1984 году, когда уже работал реактор в Гванд-

жияне и ситуация с международной безопасностью перестала быть опасной, Пекин решил закрыть проект 816 в Фулине. К тому времени было завершено 85% гражданских инженерных работ и установлено свыше 60% заводского оборудования. Однако, ни один из реакторов не был никогда загружен топливом. Завод был переведен на производство удобрений, проект рассекретили в 2003 году, а в 2010 году часть площадки была открыта для привлечения домашних туристов (Рис 5).



Рис. 5. Слева: Вход в ядерный комплекс Фулин. Над входом в туннель написано "816 ядерный подземный проект". Источник: <http://news.qq.com/2/20100426/000373.htm>. Справа: Контрольная комната реакторов проекта 816. На снимке видны ключевые схемы трех реакторов на трех экранах (два слева и один справа от экрана общего дисплея). Источник: <http://news.qq.com/a/20100426/000373.3.htm>

Производство плутония

Скорость производства плутония определяется тепловой мощностью реактора, коэффициентом загрузки и количеством плутония, произведенного на МВт-день работы⁶³. Оцененное производство плутония реактором в Джукване основано на приведенной ранее информации и на следующих предположениях.

- С 1967 года по июнь 1976 года мощность реактора росла линейно от 0.5% проектной мощности до полной проектной мощности, которая предполагается равной 250 МВт. Коэффициент загрузки в 1967-69 предполагается равным 40%, а затем 80% (288 дней в году) за исключением 1974 года, когда реактор в основном был остановлен на техническое обслуживание.
- - С июля 1975 года по 1979 год реактор линейно увеличивал темпы производства плутония до 120%, как было доложено в конце 1979 года.
- С 1980 года до остановки в 1984 году темпы производства плутония оставались выше проектных значений в 1.2 раза.

С такими допущениями реактор в Джукване мог произвести в общей сложности 1050 ГВт-дней энергии деления и выработать около 0.9 тонн плутония оружейного качества⁶⁴.

Комплекс в Гванджуане

Как уже отмечалось, в 1968 году с учетом низких темпов работ на подземном комплексе реакторов в Фулине Пекин решил построить альтернативный комплекс производства плутония "третьей линии" – завод 821 в Гванджуане (также в провинции Сычуань). Как и реактор в Джукване, реактор в Гуанджуане имел замедлитель из графита и охлаждался водой. Скорее всего, оба реактора обладали одинаковой проектной мощностью (см. рис. 6).

Строительство началось в 1969 году и реактор достиг критичности в декабре 1973 года, а в октябре 1974 года проектной мощности⁶⁵. С увеличением мощности и выгорания урана-235 темпы производства плутония этим реактором выросли к 1978 году на 30%. В результате реактор стали называть "1.3 реактором". Таким образом, в сочетании с "1.2 реактором в Джукване оба реактора (в Джукване и Гванджуане) стали называться "2.5 реакторами" к концу 70-х годов⁶⁷. Такой подход усиливает предположение о том, что оба эти реактора имеют сходные проектные мощности.

Разумно предположить, что завод в Гванджуане прекратил производство плутония в 1989 году, когда, следуя

новой политики "конверсии военного в гражданское", завод стал переходить на гражданские рельсы, включая производство алюминия⁶⁸. Судя по сообщениям, завод в Гванджуане закрылся к 1991 году⁶⁹. Комплекс списывается.

Перерабатывающий завод при комплексе приступил к операциям в 1976 году и достиг проектной производительности к 1977 году⁷⁰. По-видимому, он закрылся в начале 90-х годов после переработки последней партии реакторного топлива.

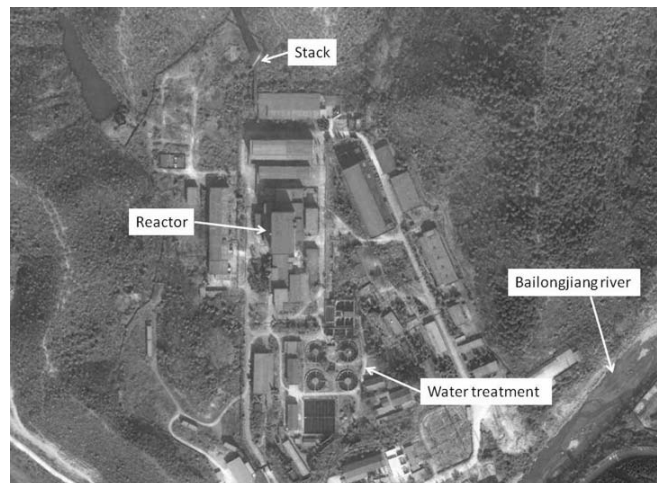


Рис. 6. Площадка реактора в Гванджуане. Изображение получено 31 августа 2007 года со спутника DigitalGlobe. (Координаты 32°29'44.27" N/105°35'24.48" E). Источник: DigitalGlobe и Google Earth. На снимке отмечены: сверху – склады, в центре – реактор, справа – река Байлонжиян, снизу – очистка воды.

Производство плутония

Оценки производства плутония на реакторе в Гванджуане основаны на изложенной информации и на следующих предположениях:

- От декабря 1973 года до октября 1974 года мощность реактора выросла до проектного значения 250 МВт при коэффициенте использования 40%.
- С ноября 1974 года по декабрь 1978 года производство плутония линейно росло до значения, превышавшего проектные темпы производства на реакторе в Джукване в 1.3 раза.
- Реактор сохранял эти увеличенные темпы производства до 1988 года. Предполагается, что в конце 1988 года реактор прекратил производство плутония.

При этих предположениях реактор в Гуанджуане мог произвести в общей сложности 1300 ГВт-дней и генерировать около 1.1 тонны плутония оружейного качества (смотрите Рис. 7 и 8).⁷¹

Использование в ядерных испытаниях

Китай выполнил 38 ядерных испытаний после того, как он начал производить плутоний. Большинство этих испытаний могло содержать плутоний оружейного качества либо в простом оружии на делении, либо в компактном оружии на делении с повышенным выходом, или же в качестве первичной ступени на делении в двухступенчатом термоядерном оружии. Всего около 200 кг плутония было использовано в этих испытаниях, если предположить, что в среднем на каждое испытание уходит 5 кг плутония оружейного качества.⁷²

Запасы плутония

Итак, два китайских производственных реактора произвели по оценкам 2 ± 0.5 тонны плутония оружейного качества⁷³. Если вычесть 200 кг плутония, которые, как считают, потрачены в китайских ядерных испытаниях, текущие запасы плутония оружейного качества составят

1.8 ± 0.5 тонны.

Эта оценка находится в нижнем конце оценочного диапазона Министерства энергетики США, появившегося в 1999 году (1.7-2.8 тонны оружейного плутония⁷⁴) и она меньше большинства предыдущих неправительственных оценок. Она меньше в основном из-за предположения о том, что реакторы в Джукване и Гуанджуане имели проектную мощность в 250 МВт в то время, как в более ранних оценках предполагалось, что реактор в Гуанджуане имел мощность, в два раза более высокую, чем реактор в Джукване. Более ранние оценки полагали, что мощность этих реакторов возросла сильнее, чем на 20-30%, приведенных в нашей статье.⁷⁵ Результирующее уменьшение в оценке производства плутония, обусловленное более низкими уровнями мощности реакторов, может быть в какой-то степени скомпенсировано предположениями о более высоких коэффициентах использования.

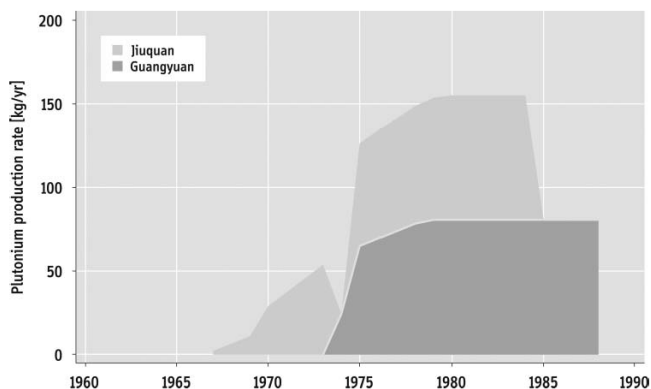


Рис. 7. Реконструированная история полного производства плутония оружейного качества реакторами в Джукване и Гуанджуане (кг/год). По горизонтальной оси отложены годы, а по вертикальной оси – темпы производства плутония (кг/год). В светлый тон окрашены данные по Джуквану, а в темный – по Гуанджуану.

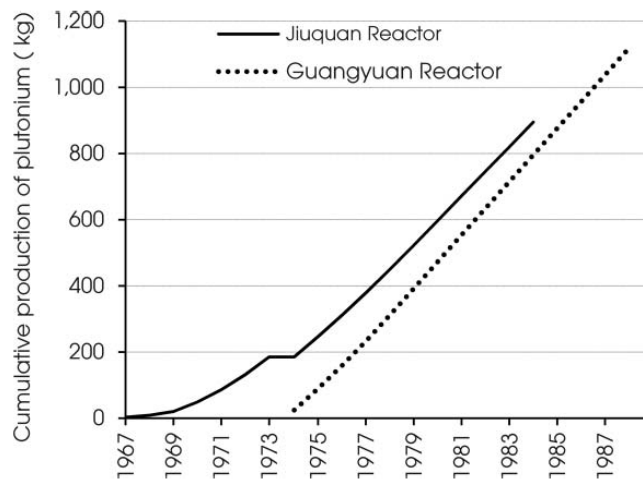


Рис. 8. Совокупное производство плутония оружейного качества на реакторах в Джукване и Гуанджуане. Сплошная линия показывает данные по Джуквану, а точечная – по Гуанджуану. По горизонтальной оси отложены годы, а по вертикальной совокупное производство плутония (кг).

Китай не сообщал о запасах выделенного гражданского плутония в своих декларациях Международному агентству по атомной энергии (МАГАТЭ), самая последняя из которых относится к концу 2007 года⁷⁶. Однако, можно ожидать, что такая ситуация скоро изменится. В 2010 году Китай завершил сооружение и начал испытания опытного коммерческого завода по переработке отработанного топлива с производительностью 60 тонн в год. Китайская национальная ядерная корпорация предложила также построить завод по переработке коммерческого масштаба на 800 тонн в год к 2025 году⁷⁷. Такой завод сможет выделить около 8 тонн плутония в год. Это быстро обеспечит Китай гражданским запасом выделен-

ного плутония, гораздо более значительным, чем его военный запас.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Хотя Китай официально не заявил об окончании производства ВОУ и плутония для оружия, на основании новой информации верится, что Китай прекратил производить ВОУ в 1987 году, а плутоний – примерно к 1990 году. Все его установки, ранее занятые военным производством, были закрыты, переведены на новую тематику или же вообще списаны.

На основе новой опубликованной информации в этой статье оценивается, что Китай произвел 20 ± 4 тонн ВОУ и 2 ± 0.5 тонны плутония, а в настоящее время обладает запасами в 16 ± 4 тонн ВОУ и $1,8 \pm 0.5$ тонны плутония, доступными для оружия. Эти новые оценки значительно меньше большинства предыдущих независимых оценок, занимавших диапазон 17-26 тонн ВОУ и 2.1-6.6 тонн плутония. Представленные в этой статье оценки показывают, что Китай может иметь самые малые военные запасы ВОУ и плутония, доступные для оружия, среди пяти известных государств с ядерным оружием, что совпадает с китайской политикой минимального ядерного сдерживания.

Следует отметить, что без официального ознакомления с историей операций и мощностью китайских реакторов, производивших плутоний, а также с производительностью заводов по обогащению урана, любые оценки запасов китайских делящихся материалов будут обладать большими неопределенностями. Однако, оценки и подходы, представленные здесь, будут использованы для дальнейшего сокращения неопределенностей по мере поступления новой информации.

Существующий наименьший китайский запас делящегося материала будет достаточным для текущих программ модернизации. Но если Соединенные Штаты будут продвигать свои планы по ПРО и космическому оружию, что заставит Китай создавать больше МБР для нейтрализации таких угроз, то Китаю может понадобиться больше делящихся материалов. Поэтому Китай сохранит свою возможность возобновить производство делящихся материалов и отсутствие желания присоединяться к договору о сокращении делящихся материалов.

Более того, китайские ограниченные запасы делящихся материалов наложат ограничения на оружейный арсенал, что может повлиять на решение Китая о том, когда он вступит на путь многостороннего ядерного разоружения.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Предполагается, что китайский ВОУ содержит 90% урана-235, а плутоний оружейного качества – 94% плутония-239.
2. Для предыдущих оценок запасов китайского делящегося материала смотрите, например: Норрис, Барроуз и Филдхауз, *Справочник по ядерному оружию, том пятый: британское, французское и китайское ядерное оружие* (Washington, DC; Westview Press, 1994); Олбрайт, Беркаут и Уолкер, *Плутоний и высокообогащенный уран*, 1996 (Oxford University Press, 1997); Дэвид Райт и Лизбет Гронлунд, "Оценка производства Китаем плутония для оружия", *Science and Global Security* 11 (2003): 63; Дэвид Олбрайт и Кори Хиндерстайн, "Китайские запасы военного плутония и ВОУ," *ISIS*, 30 июня 2005. Эти оценки были взяты в основном из перевода официальной ядерной истории Китая *Китай сегодня: ядерная промышленность* (Пекин: издательство по социальным наукам, 1987). Отдельные выдержки переведены на английский язык и опубликованы американской Информационной службой иностранного радиовещания, JPRS –CST-88-002, 15 января 1988 года и JPRS-CST-88-008, Washington, DC, 26 апреля 1988 года, а также использованы в книге Джона Льюиса и Литая Ксю, *Китай создает бомбу* (Стэнфорд, Калифорния, Пресса Стэнфордского университета, 1988).
3. Оценка Министерства энергетики США впервые упомянута в статье Билла Гертца и Роуана Скорборо "Нация в кругу", *The Washington Times*, 9 июля 1999 года. Более детальное сообщение появилось в статье Роберта Норриса и Уильяма Аркина "Мировые запасы плутония", *Bul-*

letin of the Atomic Scientists, (сентябрь/октябрь 1999 года), стр. 71. В оценке Министерства энергетики США Китаю отведено 1.2 тонны гражданского плутония.

4. Сообщалось, что в Китае также работал собственный демонстрационный завод для обогащения при помощи центрифуг вблизи Ланчжу, *Uranium Intelligence Weekly*, Vol. IV, No. 43, 25 октября 2010 года.

5. *China Today: Nuclear Industry* (смотрите ², стр.172). Последующие ссылки на эту книгу приводятся на китайском языке.

6. Специальная оценка национальной разведывательной службы США (SNIE) 13-2-63, "Продвинутая военная программа коммунистического Китая", 24 июля 1963 года, Архив национальной безопасности, <http://www.nsarchive.org>.

7. "Итоги и оценки последнего свидетельства продвинутых оружейных возможностей китайских коммунистов." Агентство США по контролю над вооружениями и разоружением, ACDA-957, 10 июля 1963 года. Еще в августе 1964 года разведывательные агентства США верили в то, что урановый обогатительный завод в Ланчжу не был готов. Центральное разведывательное агентство США (CIA) предполагало, что у Китая нет достаточного количества делящегося материала для испытания до окончания 1964 года. Так заявил директор специальной разведки: "Шансы неизбежного ядерного взрыва коммунистическим Китаем", SNIE, 13-4-64, 26 августа 1964 года. Рассекреченный вариант этого доклада помещен в серию докладов об участии CIA в холодной войне (редактор Кевин Конли Раффнер), *Корона: первая американская спутниковая программа* (Washington, D.C.:Center for the Study of Intelligence, 1995).

8. Джоэл Уллоу, "Обогащенный уран или плутоний: предпочтения распространителя при выборе делящегося материала", *Nonproliferation Review* 2 (1994): 1, 1-5. На ядерном комплексе в Бату при полете У-2 в марте 1963 года был обнаружен реактор. Разведка США ошибочно поверила, что это был производственный реактор с тепловой мощностью 30 МВт, способный произвести плутоний для одной-двух бомб в год. Она оценила, что вероятная дата испытания Китаем своего первого устройства на основе плутония приходится на конец 1964 или на начало 1965 года. Смотрите ACDA -957.

9. Уильям Барр и Джеффри Ричелсон, "Стоит ли душить ребенка в колыбели," *International Security* 25 (2001/2001): 3, 91.

10. Смотрите, например, Лоуренс и Бу, "Инфракрасное изображение при разведке сверху," *Studies in Intelligence* 11 (1967): 2, 17-40.

11. Оборонное разведывательное агентство США, "Политика и стратегия использования ядерного оружия Народной республики Китай," Доклад TCS-654775-72, Washington, D.C., март 1972 года. Физик Ральф Лэпп из Манхэттенского проекта воспользовался ранним опытом своей работы в Окридже на газодиффузионном заводе для оценки в 1971 году, что завод в Ланчжу после начала своей работы мог производить около 130 кг в год ВОУ оружейного качества и обладал возможностью удвоить свое производство к 1966 году по мере того, как операторы набирали опыт работы с процессом обогащения. Лэпп предположил, что производительность может вырасти до значений свыше 350 кг ВОУ в год к 70-м годам, [Чарльз Мэрфи](#), "Меняющееся ядерное сдерживание континентального Китая", *Bulletin of the Atomic Scientists*, январь 1972 года, стр. 28-35.

12. Олбрайт и Хиндерстайн (смотрите ²). Они предположили, что китайский ВОУ оружейного качества имел 93% урана-235. Если предположить, что содержание урана-235 составит 90%, такие темпы производства эквивалентны 23-51 тысячам ЕРР в год при содержании урана-235 в отходах 0.5% или 29-64 тысячам ЕРР в год при 0.3% в отходах.

13. Смотрите ⁵, стр. 179.

14. Кси Вужан, "Завод 504 - лидер китайского обогащения урана", *Gansu Daily*, 31 мая 2008 года.

15. "Континентальный Китай разговаривает с французами и немцами относительно ядерной энергии", *Nucleonics Week*, 12 января 1978 года.

16. "Обогащение урана и производство топлива в Китае", 28 марта 2009 года, <http://www.cn.nuclar.cn/2009/0328/189.html>, и обсуждение с китайскими экспертами.

17. Смотрите ⁵, стр. 180.

18. Энн Маклэхлен и Марк Хиббс, "Китай прекратил производство военного топлива: Все ЕРР теперь для гражданского использования", *Nuclear Fuel*, 13 ноября 1989 года.

19. Марк Хиббс, "Говорят, что Китай готовится к списыванию оборонных заводов," *Nuclear Fuel*, 17 мая 1999 года.

20. Нет ясности, будет ли контракт разрешать производство НОУ для топлива морских реакторов.

21. Оставляя больше урана-235 в отходах (то есть, 0.5% вместо 0.3%), Китай может добиться заданных темпов производства ВОУ с меньшей производительностью обогащения. Но это потребует увеличения почти вдвое количества топлива из естественного урана.

22. Смотрите ¹².

23. Эта предполагаемая производительность меньше, чем значение в оценке Оборонного разведывательного агентства США (DIA) 1972 года. В своей оценке DIA предположило, что этот завод мог производить 759-2950 кг урана оружейного качества в год. Это соответствует примерно 145 – 569 тысячам ЕРР в год при содержании урана-235 в отходах, равном 0.3%. Поскольку эта оценка была сделана за несколько лет до ввода завода в действие, неясно, основана ли она на существовавшем здании или на допущении, что существующее здание будет расширено. Смотрите ¹¹.

24. Ниже отмечается, что производивший плутоний реактор в Гуанджуняне, который строился как установка третьей линии, имел такую же проектную мощность, что и реактор в Джикване, который он мог заменить.

25. Смотрите ¹⁶.

26. Китай начал в 1970 году обогащать уран, выделенный из облученного топлива, разгруженного из его реакторов по производству плутония. Смотрите ¹⁷, стр. 186.

27. Производство около двух тонн плутония (это обсуждается в следующем разделе) даст а результате около 4000 тонн переработанного топлива. Чтобы обогатить весь этот уран до 90-процентного ВОУ (с содержанием урана-235 в отходах, равном 0.3%), потребуется около 3.2 миллионов ЕРР. Это на 154 тысячи ЕРР больше, чем потребовалось бы для производства того же самого количества ВОУ из естественного урана.

28. Китай имеет также около четырех миниатюрных реакторов – источников нейтронов (MNSR). Каждому требуется долгоживущая активная зона примерно с одним килограммом 90-процентного ВОУ. Один из них был закрыт в 2007 году и Китай решил закрыть остальные три MNSR с заменой их на нейтронные источники с НОУ-топливом. Кроме того, Китай продал по одному MNSR Гане, Ирану, Нигерии, Пакистану и Сирии. Китай собирается переделять эти реакторы на активные зоны из НОУ <<http://www.nti.org/db/heu/china.html>>.

29. Предположим, что исследовательский реактор HFETR с мощностью 125 МВт имеет в среднем 40-процентное выгорание урана-235 в топливе и работает 12 недель в году (данные МАГАТЭ), а также допустим, что на МВт-день тепла тратится 1.26 грамма урана-235 (Александр Глейзер, *Нейтронные расчеты, касающиеся перевода исследовательских реакторов на НОУ-топливо*. Диссертация, Дармштадт, 2005). Тогда HFETR затратит около 994 кг 90-процентного ВОУ до конверсии на НОУ-топливо. Реактору MJTR с мощностью 5 МВт и средним выгоранием 45%, работающему 14 недель в году (данные МАГАТЭ), надо будет затратить примерно 25 кг до конверсии.

30. Т.Дедик, И.Болшинский и А.Красс, "Программа возвращения топлива российского исследовательского реактора начинается отправку топлива в Россию", статья, представленная на международной встрече 2003 года по RERTR, Чикаго, Иллинойс, США, 5-10 октября 2003 года <http://www.rertr.anl.gov/RERTR25/PDF/Dedik.pdf>.

31. Дэвид Олбрайт и Кимберли Крэмер, "Наблюдение за гражданским ВОУ: проверка запасов гражданского высокообогащенного урана," *ISIS*, февраль 2005, пересмотрено в августе 2005 года http://isis-online.org/global/stock/end2003/civil.heu_watch2005.pdf.

32. "Вступление в новую эру", *Nuclear Engineering International*, 8 января 2010 года <<http://www.neimagazine.com/story.asp?storyCode=2055118>>.

33. Смотрите ⁵, стр. 239; а также *Секретный курс* (второе издание) (Пекин: издательство по атомной энергии, 1993), стр. 301 (на китайском языке).

34. Смотрите ⁵, стр. 305-306.

35. Ожидается, что китайская первая атакующая подлодка третьего поколения (тип 095) поступит на службу где-то в 2015 году. Ханс Кристенсен, "Китайские шумящие атомные подлодки," <http://www.fas.org/blog/ssp/2009/11/subnoise.php>.

36. Сообщается, что Китай построил две подлодки с баллистическими ракетами (тип 094 класса *Жинь*) в 2003-2004 годах. Ожидается, что примерно пять таких SSBN будет еще создано. Ханс Кристенсен, "Засечены еще две китайские SSBN", <<http://www.fas.org/blog/ssp/2007/10/two.more.chinese.ssbns.spotted.php>>.

37. Смотрите, например, атакующую атомную подлодку типа 091 класса *Хань* <http://www.sinodefence.com/navy/sub/type091han.asp>.

38. Предполагается, что реактор работает со средним выходом порядка одной шестой полной мощности, а отработанное топливо содержит выгоревший на 50% уран-235 и один кг урана-235 вырабатывает при делении около 940 МВт-дней энергии. Смотрите Фрэнк фон Хиппель и Чуньян Ма, "Завершение производства ВОУ для морских реакторов", *Nonproliferation Review* 8, (весна 2001 года); 95.

39. Если подлодка была запланирована для запуска до 1985 года, НОУ мог быть произведен до 1980 года, чтобы иметь время для изготовления топлива, его загрузки в реактор и на возможные задержки. Ниже приведены сроки спуска на воду и получения операционных возможностей (ПОВ) подлодок класса *Хань*: Чанжень 1 (спуск в декабре 1970 года, ПОВ в августе 1974 года); Чанжень 2 (спуск в декабре 1977 года, ПОВ в декабре 1980 года); Чанжень 3 (спуск в октябре 1983 года, ПОВ в декабре 1984 года); Чанжень 4 (спуск в декабре 1985 года, ПОВ в декабре 1987 года); Чанжень 5 (спуск в апреле 1990 года, ПОВ в декабре 1990 года). Если предположить, что интервал перезагрузок активной зоны составляет 10 лет, то было использовано всего пять активных зон для подлодок, запущенных до 1985 года: две для Чанжэня 1, по одной для Чанжэня 2-4 и ни одной для Чанжэня-5. "Атомные подлодки типа 091 (класс *Хань*), <http://www.sinodefence.com/nsvy/sub/type091han.asp>.

40. Для топлива из естественного урана, производящего 1 кг НОУ с обогащением 5% и с содержанием 0.3% урана-235 в отходах, потребуется 7.2 ЕРР.

41. "Китайские ядерные испытания: даты, мощности, типы, методы и комментарии", <http://www.nti.org/db/china/testlist.htm>.

42. Это предполагает, что в каждом испытании оружия деления использовалось 20 кг ВОУ. В июне 1967 года в испытании термоядерного оружия также предполагалось, что 20 кг полной мощности идут от первичного деления и одна четверть выхода вторичной термоядерной компоненты исходит от деления урана, причем разделилась половина урана (личное сообщение Фрэнка фон Хиппеля из Принстонского университета, сентябрь 2010 года). В этом испытании было истощено около 100 кг ВОУ во вторичной компоненте. После того, как стал доступен плутоний в 1968 году, Китай мог перейти на применение плутония или уран-плутониевого запала, поскольку при этом позволялось иметь более компактную первичную компоненту.

43. Всего было проведено 18 испытаний после 1968 года с выходами более 20 кт, которые по предположениям были испытаниями термоядерного оружия. Полный выход от этих 18 испытаний составил около 19 Мт.

44. В обогатительной программе США "нормальные операционные потери" составили около 5 тонн на 1000 тонн от газодиффузионных заводов, то есть, примерно 0.5%.

45. Саймон Хендерсон, "Ядерный скандал: д-р Абдул Квадир Хан," *The Sunday Times*, 20 сентября 2009 года.

46. Один из вкладов в неопределенность $\pm 25\%$, предполагаемый при оценке производства ВОУ, связан с разбросом значений для возможных отходов. Для исходного топлива в виде естественного урана, производящего 90%-ный ВОУ, при данной производительности разделительной работы отходы с содержанием 0.5% урана-235 произведут на 25% больше ВОУ, чем при содержании урана-235 в отходах 0.3%. Не существует официальной

информации о содержании отходов в программе китайских газодиффузионных заводов.

47. Это значительно меньше, чем 21.5 ± 4.5 тонны по оценке Олбрайта и Хиндерстайна.

48. Смотрите ⁵, стр. 205.

49. Там же, стр. 210-211.

50. Льюис и Ксю, "Китайское стратегическое оружие и варианты с плутонием", *Critical Technologies Newsletter*, Министерство энергетики США, апрель-май 1988 года, стр.12.

51. Смотрите ⁵, стр.211.

52. Там же, стр. 212.

53. Там же, стр. 214. Мощность реактора была увеличена на 10-15% путем улучшений в системе охлаждения. Выгорание топлива также увеличилось и число дней на полную общности также стало больше начального проектного значения 288 дней и дошло до 324 дней в году.

54. Смотрите, например, Жу Жи, "Воспоминания о новаторстве на заводе 404", 10 августа 2007 года (на китайском языке). Автор был заместителем министра в бывшем Министерстве ядерной промышленности, <<http://qkzz.net/Announce/Announce.asp?BoardID=17100&ID=10015168>>.

55. В начале 80-х годов Китай планировал преобразование реактора на двойную задачу – получение электроэнергии и одновременно с этим плутония. Работа началась в сентябре 1984 года и ее планировали завершить в 1987 году, но модификация, похоже, осталась неоконченной. На фотографиях со спутников не было заметно ни электрической подстанции, ни передающих проводов к площадке. Смотрите ⁵, стр. 91.

56. Смотрите ⁵, стр. 227.

57. При выгорании 800 МВт-день/тонна в каждой тонне отработанного топлива будет содержаться около 0.7 кг плутония. Смотрите Приложение В к Докладу Международной группы по делящимся материалам "Производство ВОУ и плутония для оружия", 2010. <http://www.fissilematerials.org/ipfm/site.down/gfmr10.pdf>.

58. Смотрите ⁴¹.

59. Ху Жань и Фрэнк фон Хиппель, "Использование фотографий с коммерческих спутников для обнаружения операций на реакторах для производства плутония и на газодиффузионных заводах," *Science and Global Security* 8 (2000): 219. Рис. А-2 показывает, что при средней сезонной температуре 10°C и типичном возрастании температуры от 5°C до 15°C количество рассеянного тепла охлаждающими башнями будет лежать в диапазоне от 0.02 МВт/м² до 0.2 МВт/м². При верхнем диаметре башни 30 метров это соответствует 14-140 МВт для каждой башни.

60. При работе с коэффициентом использования 80% реактор с мощностью 70-660 МВт может произвести 20-200 кг оружейного плутония в год. Это большой разброс, но он не учитывает оценку разведки США 1972 года, что реактор в Джукване производил 300-400 кг плутония в год. Смотрите также доклад DIA¹¹.

61. Смотрите Доклад 2010 года о глобальном запасе делящихся материалов в мире (⁵⁷), раздел "Россия: плутоний", стр.46.

62. Например, две статьи в газете *China Daily*: "Бывший ядерный завод открыт для привлечения туристов" (13.04.2010) и "Ядерная реакция для привлечения туристов" (22.06.2010) <<http://www.chinadaily.com.cn/cndy/2010-06/22/content.100000111.htm>>.

63. Количество плутония, производимое за год реактором, оценивается по формуле $R = 365C\alpha P_{th}$, где R – темпы производства плутония (кг./год), C – коэффициент использования, P_{th} – тепловая мощность реактора (МВт) и α – количество плутония, произведенное на МВт-день работы.

64. Предполагалось, что количество плутония, произведенное на МВт-день реактором в Джукване, такое же, как и на американских реакторах с графитовыми замедлителями и с водяным охлаждением в Хэнфорде (смотрите ⁵). В 1967-69 годах реактор работал со средним выгоранием около 400 МВт-день/тонна и производил 0.9 грамма плутония на МВт-день. С 1970 года по 1984 год реактор работал со средним выгоранием около 800 МВт-дней/тонна и производил 0.85 г/МВт-день.

65. Блог бывшего старшего инженера завода 821 "Дни гонки для завершения завода 821" (на китайском языке), 26 сентября 2009 года.

<<http://blog.163.com/zjd.8213701/blog/static/335820262009826631110991>>

66. Смотрите ⁶⁵. “Разумная жизнь двух героев ядерного завода” (веб-документ, опубликованный на китайском языке 14 мая 2007 года)

<<http://hi.baidu.com/lovechild/blog/item/f43d1a00leaec2e73b359.html>>.

67. Смотрите ⁶⁶.

68. Новое предприятие называлось промышленной компанией Сычуань Вужу – дочкой Китайской национальной ядерной компании. Дочерняя компания объявила о банкротстве в 2009 году и сотрудники комплекса вынуждены были переменить место жительства. <<http://www.com.cn/publish/portal0/tab283/info47848.htm>>.

69. Смотрите ², Норрис и др., стр.350.

70. Смотрите, например, ⁶⁶.

71. Предполагается также, что количество плутония, произведенного на МВт-день реактором в Гванджуане, совпадает с показаниями реакторов в Хэнфорде, имеющих графитовые замедлители и водное охлаждение (смотрите доклады Международной группы по делящимся материалам ⁵⁷). За весь операционный период реактор, как считается, проработал со средним выгоранием 800 МВт-день/тонна и производил 0.85 грамма плутония на МВт-день.

72. Это находится между 6 кг, использованными в первых американских образцах плутониевого ядерного оружия, и 4 кг, предполагаемыми для запалов современного ядерного оружия.

73. Неопределенность $\pm 25\%$ исходит в основном от неопределенности начальных проектных мощностей двух реакторов.

74. Смотрите ³.

75. Смотрите Райт и Гронлунд ². Для реактора в Джукване они предположили проектную мощность 250 МВт, которая затем увеличилась до 500 МВт. Для реактора в Гванджуане они предположили начальную мощность 500 МВт, которая выросла до 1000 МВт.

76. Сообщения из Китая, связанные с его политикой по управлению плутонием, МАГАТЭ, INFCIRC/549/Add.7/8, 1 апреля 2008 года.

77. Дэн Гугвин, Китайская национальная ядерная корпорация, “Обзор управления отработанным топливом в Китае,” Международная конференция по управлению отработанным топливом от ядерных энергетических реакторов, Вена, 31 мая – 4 июня 2010 года <http://www-ns.iaea.org/meetings/rw-summaries/vienna-2010-management-spent-fuel.htm>.