

КИТАЙСКИЙ КОМПЛЕКС ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА

Хуэй Чжан

Новая опубликованная информация позволяет заново оценить действующие и строящиеся производственные мощности обогащения урана в Китае. В данной статье открытые источники информации и снимки с коммерческих спутников используются для идентификации и оценки мощности 10 действующих китайских обогатительных предприятий, расположенных на 4 площадках, и использующих технологию центрифуг, базирующуюся, скорее всего, на адаптации российской технологии. Полная производственная мощность действующих в настоящее время гражданских центрифуг для обогащения урана оценивается примерно в 4,5 миллиона единиц работы разделения в год (ЕРР/год); мощность дополнительных строящихся предприятий составляет около 2 миллионов ЕРР/год. Кроме того, еще примерно 0,6 миллиона ЕРР/год приходится на обогатительные мощности для военного применения (не для оружия; то есть, топлива для военно-морского флота), или для двойного назначения. Эти оценки значительно превышают опубликованные ранее оценки суммарных производственных мощностей Китая. Дальнейшее увеличение производственных мощностей Китая вполне вероятно, поскольку в 2020 году Китаю может потребоваться около 9 миллионов ЕРР/год для удовлетворения своих нужд в обогащенном урановом топливе для обеспечения планируемой на 2020 год электрической мощности атомных электростанций в 58 гигаватт (ГВт(эл.)) при его политике самодостаточности в предоставлении услуг по обогащению.

Хуэй Чжан работает в Центре Белфера по науке и международным отношениям Школы управления Джона Ф. Кеннеди Гарвардского Университета, Кембридж, Массачусетс, США.

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

Адрес электронной почты: huizhang@harvard.edu

Статья получена 27 мая 2015 года и принята к публикации 14 июля 2015 года.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Китае работают три обогатительных завода: завод обогащения урана в Ланьчжоу (завод 504) в провинции Ганьсу, завод обогащения урана в Ханьчжуне (завод 405) в провинции Шэньси, и завод 814 в провинции Сычуань, включающий в себя предприятия в округах Цзинькоухэ и Эмэйшань (см. таблицу 1). Национальная ядерная корпорация Китая (CNNC) является единственной организацией, предоставляющей услуги обогащения в Китае. Однако, эта ситуация может измениться, поскольку Генеральная корпорация ядерной энергетики Китая (CGN) планирует предоставлять такие услуги как в своей стране, так и за рубежом¹.

Развитие промышленного обогащения в Китае началось в конце 1950-х годов с целью производства высокообогащенного урана для своей программы ядерного оружия². Высокообогащенный уран для оружия в Китае производился на двух предприятиях: газодиффузионный завод (ГДЗ) в Ланьчжоу начал работать в январе 1964 года, и ГДЗ в Хэпине (завод 814 в округе Цзинькоухэ), предприятие "Третьей линии", начал работать в 1970 году³. Считается, что ГДЗ в Ланьчжоу и Хэпине прекратили производить высокообогащенный уран соответственно в 1979 и 1987 годах⁴. Завод в Ланьчжоу был закрыт в 2000 году и заменен заводом центрифужного обогащения (ЗЦО) в 2001 году. ГДЗ в Хэпине, по-видимому, продолжает работать⁵.

В октябре 1969 года в Китае было принято решение построить завод 405 в качестве предприятия "Третьей линии" и продолжить работы по технологиям обогащения урана. Исследования и разработки в области технологии центрифуг проводились в Китае с 1958 года, и с середины 1970-х годов работам по центрифугам стало уделяться основное внимание⁶. Ведущими участниками этих работ были Исследовательский институт физической и химической технологии атомной промышленности Национальной ядерной корпорации Китая в Тяньцзине и завод 405⁷. Активное участие принимали и другие академические организации, в том числе и университет Циньхуа⁸. В конце 1970-х и начале 1980-х годов еще более интенсифицировал свои исследования и разработки в области технологии центрифуг⁹. В середине 1980-х годов на заводе 405 по проекту 405-1

была построена и введена в эксплуатацию полупромышленная установка с центрифугами, которая, как представляется, была оборудована сверхкритическими центрифугами¹⁰. Сообщалось, что где-то в начале 1980-х годов Абдул Кадир Хан передал технологию центрифуг компании "Уренко" и помогал строить завод с центрифугами в Ханьчжуне¹¹. Однако, неясно, внес ли Абдул Кадир Хан существенный вклад в проект 405-1. По мере того, как в ядерной промышленности Китая в конце 1980-х годов усиливался "переход от военного направления к гражданскому", Национальная ядерная корпорация Китая стала активно стремиться использовать более дешевую технологию обогащения на центрифугах для замены своей газодиффузионной технологии. Однако, она работала не очень хорошо, и в начале 1990-х годов Китай решил импортировать российские центрифуги, заменив проект 405-1 на проект 405-1А¹².

Таблица 1. Китайские предприятия обогащения урана.

Проект	Мощность (миллионы ЕРР)	Площадь пола (м ²)	ЕРР/м ²	Примечание
ГДЗ в Ланьчжоу	0,2 (до 1979 г.) 0,3 (после 1979 г.)	36 300	(8)	Работает с 1964 г.; производство ВОУ закончено в 1979 г.; закрыт в 2000 г.
ЗЦО1 в Ланьчжоу (поставка из России, этап 3)	0,5	25 600	20	Работает с июля 2001 г.; российские центрифуги 6-го поколения.
ЗЦО2 в Ланьчжоу (отечественный демонстрационный проект)	0,5	18 750	27	Строительство начато 4 июля 2008 г.; работает с июля 2010 г.
ЗЦОЗ в Ланьчжоу (отечественный)	0,5	18 750	27	Строительство почти закончено в 2010 г. Введен в эксплуатацию в декабре 2012 г.
ЗЦО4 в Ланьчжоу (отечественный)	1,2	43 200	28	Строительство начато в 2013 г. В марте 2015 г. была закончена половина здания.
ЗЦО1 в Ханьчжуне (поставка из России, этап 1)	0,2	8 800	23	Работает с февраля 1997 г.; российские центрифуги 6-го поколения. Гарантии МАГАТЭ.
ЗЦО2 в Ханьчжуне (поставка из России, этап 2)	0,3	16 500	18	Работает с января 1999 г.; российские центрифуги 6-го поколения. Гарантии МАГАТЭ.
ЗЦОЗ в Ханьчжуне (поставка из России, этап 4)	0,5	16 200	31	Строительство начато в 2009 г.; испытания проведены в 2011 г. Нормальная работа с 2013 г. Российские центрифуги 7-го и 8-го поколения.
ЗЦО4 в Ханьчжуне (отечественный, проект Северного расширения центрифуг)	1,2	18 000	33 (для 2 слоев)	Строительство разрешено 4 января 2012 г. Испытания в 2013 г. Нормальная работа с 2014 г.
ГДЗ (ЗЦО?) в Хэпине, округ Цзинькоухэ	0,23 (до 2004 г.) 0,3 – 0,4 (после 2004 г.)			Производство ВОУ для оружия прекращено в 1987 г. После завод использовался для военного не оружейного или двойного назначения.
ЗЦО1 в Эмэйшане, завод 814	0,8	29 700	27	Гражданское назначение. Проект начат в 2008 г.; строится с 2010-11 г.г.; работает с 2013 г.
ЗЦО2 в Эмэйшане, завод 814?	0,8	29 700	27	Строительство начато в 2014 г.; продолжается в начале 2015 г.; будет работать с 2016 г.?
ЗЦОЗ в Эмэйшане, завод 814?	0,25	9 450	27	Возможно военное или двойное назначение. Работает с 2009г.?
<i>Примечание.</i> Завод в Ланьчжоу обозначается как завод 504; завод в Ханьчжуне обозначается как завод 405; завод 814 включает в себя площадки в округах Цзинькоухэ и Эмэйшань.				

По соглашениям 1993, 1998 и 2008 годов в Китае в четыре этапа строились установки с поставленными из России центрифугами на заводах в Ханьчжуне и Ланьчжоу с общей мощностью в 1,5 миллиона ЕРР в год. Компания "Минатом/Тенекс" (Техснабэкспорт) поставляла центрифуги и оказывала техническую помощь, а китайцы строили эти установки и эксплуатировали их¹³.

Поскольку установки с российскими центрифугами импортировались, Национальная ядерная корпорация Китая начала процесс локализации импортной технологии и разработала свои собственные центрифуги. Этот процесс ускорил активное развитие атомной энергетики Китая в период после 2004 года. В 2007 году Национальная ядерная корпорация Китая начала проект строительства установки с отечественными центрифугами на заводе в Ланьчжоу в качестве демонстрационной установки с производительностью 0,5 миллиона ЕРР/год; эта установка начала работать в 2010 году¹⁴. После этого Китай значительно увеличил производственные мощности обогащения на центрифугах отечественного производства. Национальная ядерная корпорация Китая заявила, что она будет поддерживать политику самодостаточности в предоставлении услуг обогащения¹⁵. В 2014 году Китаю требовалось примерно 3 миллиона ЕРР (единиц работы обогащения) в год. Ожидается, что в 2020 году спрос составит около 9 миллионов ЕРР/год¹⁶.

Многие западные источники указывают, что в настоящее время Китай не может удовлетворить свои потребности в работе разделения. Например, Всемирная ядерная ассоциация (WNA) оценивает общую производительность установок разделения в Китае в 2014 году в 2,2 миллиона ЕРР/год, включая 1,5 миллиона ЕРР/год от поставленных из России центрифуг и 0,7 миллиона ЕРР/год от отечественных установок; прогноз на 2015 год составлял 3 миллиона ЕРР/год¹⁷. Тем не менее, хотя и существует значительная неопределенность, оценки, основанные на полученных со спутников изображениях, китайских публикациях и обсуждениях с китайскими экспертами, позволяют предположить, что в Китае уже работают предприятия по обогащению, мощность которых может составлять около 4,5 миллиона ЕРР/год. Более того, строятся предприятия с отечественными центрифугами мощностью около 2 миллионов ЕРР/год, и может присутствовать возможность ежегодного увеличения дополнительных мощностей на миллион ЕРР/год. Кроме того, у Китая имеются обогатительные мощности около 0,6 миллиона ЕРР/год на специализированных предприятиях на заводе 814 для военного не оружейного и двойного применения. Эти оценки значительно больше, чем предыдущие опубликованные оценки полных мощностей обогащения в Китае¹⁸. Согласно текущим планам Национальной ядерной корпорации Китая, потребности в урановом топливе для запланированной мощности реакторов в 58 ГВт(эл.) в 2020 году будут удовлетворены в рамках ее политики самодостаточности в предоставлении услуг по обогащению.

Наконец, эксперты Национальной ядерной корпорации Китая указывают, что разделительная способность китайских моделей выше, чем у центрифуг, поставленных из России, по крайней мере для первых трех этапов соглашений¹⁹. Однако, некоторые западные эксперты ставят такое заявление под сомнение²⁰. Если в стойках китайских моделей столько же полок, как и в поставленных российских моделях, то есть три²¹ (за исключением 4-ой установки в Ханьчжуне, стойки которой вмещают вдвое больше полок, как это обсуждается ниже), и если имеется пропорциональное соотношение между производительностью обогащения и площадью пола главного зала обогащения, то тогда установки с поставленными из России центрифугами будут производить примерно 20 ЕРР на квадратный метр. Отечественные предприятия Китая в среднем производят примерно 28 ЕРР на квадратный метр (смотрите таблицу 1), что примерно на 40 процентов выше, чем для центрифуг, поставленных из России на трех первых этапах.

Сообщалось, что эти поставленные из России центрифуги принадлежат к 6-му поколению. С 2003 года в России работали центрифуги 8-го поколения, а сейчас работают центрифуги 9-го поколения²². В отличие от предыдущих поколений, в которых использовалась подкритическая технология центрифуг, в российских центрифугах, начиная с 9-го поколения, применяется сверхкритическая технология. Недавно в России были проведены испытания устройств 10-го поколения²³.

Считается, что разделительная мощность машин 7-го и 8-го поколения превышала мощность машин 6-го поколения на 28 процентов и 68 процентов, соответственно²⁴. Если разделительная мощность китайской машины на 40 процентов выше, чем у модели 6-го поколения, это может означать, что китайская центрифуга приближается к российской машины 8-го поколения. Кроме того, удельная производительность 3-го предприятия в Ханьчжуне (предприятие четвертого этапа соглашений) составляет около 30 ЕРР на квадратный метр, что на примерно на 50 процентов выше, чем для моделей 6-го поколения. Вероятно, это может означать, что на предприятии четвертого этапа используются центрифуги более позднего поколения, чем шестое. В самом деле, это согласуется с недавним сообщением о том, что "начиная с 2009 года, Россия поставляет в Китай центрифуги 7-го и 8-го поколения"²⁵. Учитывая, что строительство предприятий с российскими поставками трех первых этапов закончилось до 2001 года, и что строительство 3-го предприятия в Ханьчжуне (четвертый этап российских поставок) началось в 2009 году, эти российские центрифуги 7-го и 8-го поколения предназна-

чались именно для этого предприятия.

В июне 2013 года после начала производства низко обогащенного урана на предприятии с отечественными центрифугами в Ланьчжоу (3-ье предприятие Ланьчжоу) эксперты по обогащению из Национальной ядерной корпорации Китая еще раз подчеркнули, что эта корпорация разрабатывает новое поколение центрифуг, которые более развитыми, более экономичными, и представляющими существенный прогресс в ключевой технологии²⁶.

ЗАВОД ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА В ЛАНЬЧЖОУ

Завод обогащения урана в Ланьчжоу (китайское официальное название: компания с ограниченной ответственностью "Обогащение урана в Ланьчжоу" Национальной ядерной корпорации Китая, или завод 504) включает газодиффузионное предприятие и предприятия с центрифугами четырех проектов (смотрите рисунок 1).



Рисунок 1. Завод обогащения урана в Ланьчжоу. А: 1-ое предприятие в Ланьчжоу с центрифугами (III этап российских поставок); В: 2-ое предприятие в Ланьчжоу с центрифугами (отечественные, демонстрационный проект); С: 3-ье предприятие в Ланьчжоу с центрифугами (отечественные); D: 4-ое предприятие в Ланьчжоу с центрифугами (отечественные, строится); E: газодиффузионное предприятие. Снимок со спутника 18 января 2015 года (координаты: 36°08'53,30" с.ш. / 103°31'24,49" в.д.).

©DigitalGlobe. Воспроизведено с разрешения ©DigitalGlobe. Разрешение для повторного использования должно быть получено от правообладателя.

Высокообогащенный уран для оружия производился в Китае на двух комплексах: газодиффузионном заводе в Ланьчжоу и газодиффузионном заводе в Хэпине. Эти обогатительные предприятия использовались также для производства высокообогащенного урана для исследовательских реакторов и низко обогащенного урана для реакторов военно-морского флота. Газодиффузионный завод в Ланьчжоу начал работать в 1964 году и закончил производить высокообогащенный уран в 1979 году²⁷. В 1980 году на нем стали изготавливать низко обогащенный уран для гражданских реакторов атомных электростанций; этот завод прекратил работу

31 декабря 2000 года²⁸. В течение 2001 и 2002 годов на предприятии проводилась дезактивация перед выводом из эксплуатации. После этого предприятию был присвоен статус "опломбированного и поддерживаемого"²⁹. Считается, что в 1978 году производительность завода в Ланьчжоу достигла 0,18 миллиона ЕРР/год, и затем в течение 1980-х годов она была увеличена до 0,3 миллиона ЕРР/год. По оценкам, в период между 1964 и 1979 годами этот газодиффузионный завод произвел 1,1 миллиона ЕРР. Это было бы достаточным для производства около 6 тонн высокообогащенного урана оружейного качества (обогащенного до 90 процентов)³⁰.

По мере того, как в ядерной промышленности Китая в конце 1980-х годов усиливался переход от военного направления к гражданскому, Национальная ядерная корпорация Китая стала активно стремиться использовать в предоставлении услуг по обогащению для своих энергетических реакторов более дешевую технологию обогащения на центрифугах для замены своей газодиффузионной технологии. В период с 1991 по 1994 года в строй вступили три реактора с водой под давлением (PWR) с общей мощностью 2,3 ГВт(эл.) с потребностью в обогащении в 0,3 миллиона ЕРР/год. Однако, развитие собственной китайской технологии центрифуг шло медленно и Китаю пришлось импортировать технологию для создания новых мощностей.

В 1993 году Китай и Россия подписали соглашение по двум этапам строительства обогатительных предприятий с поставленными из России центрифугами на заводе в Ханьжуне с общей производительностью 0,5 миллиона ЕРР/год. Эти модули начали работу соответственно в 1997 и 1999 годах. В 1995 году в Китае было принято решение о строительстве в период с 1996 до 2002 года дополнительных восьми реакторов общей мощностью в 6,9 ГВт(эл.), включая два отечественных реактора с водой под давлением, и по два реактора, закупленных во Франции (с водой под давлением), в Канаде (с тяжелой водой) и в России (реакторы типа ВВЭР). Таким образом, в начале в начале 2000-х годов работало девять реакторов с водой под давлением с общей мощностью 7,7 ГВт(эл.), которым требовалась обогатительная мощность около 1 миллиона ЕРР/год. Поэтому в 1996 году Китай и Россия договорились о строительстве предприятия с центрифугами на заводе обогащения в Ланьчжоу с мощностью 0,5 миллиона ЕРР/год. Это предприятие было введено в строй в июле 2001 года. Таким образом, предприятия этих трех этапов с общей мощностью в 1 миллион ЕРР/год могли удовлетворить потребностью развития атомной энергетики в Китае, запланированного в 1990-х годах. Кроме того, Кроме того, при покупке реакторов у иностранных поставщиков у них нередко требовали поставить несколько первых загрузок топлива. Такие условия позволяли Китаю сэкономить как природный уран, так и обогатительную мощность. Однако, эта экономия составляла лишь небольшую долю от обогатительных мощностей Китая³¹. Кроме того, сообщалось, что Китай время от времени экспортировал обогащенный уран в другие страны, включая продажу низко обогащенного урана Индии в 1990-х годах³².

В то время как из России импортировались установки с центрифугами, Национальная ядерная корпорация Китая конструировала свои собственные центрифуги. Исследовательский институт физической и химической технологии ядерной промышленности Национальной ядерной корпорации Китая в Тяньцзине был основной организацией по конструированию и разработке центрифуг. В 2002 году там была изготовлена первая центрифуга³³. Процесс разработки и массового производства ускорился после 2004 года, когда в Китае началось активное развитие атомной энергетики.

Собственная технология китайских центрифуг вероятно базируется на российской технологии. Поставленные из России центрифуги, по крайней мере на первых трех этапах, были устройствами 6-го поколения³⁴. Вплоть до 8-го поколения российские центрифуги были подкритическими³⁵. Каждая центрифуга была сравнительно небольшой. Обычно полная длина центрифуги, включая узлы верхнего и нижнего подшипников, не превышала 1 метра, длина самого ротора примерно равнялась полуметру, а для того, чтобы оставаться подкритическим, диаметр ротора должен был быть по крайней мере в четыре раза меньшим, чем его длина³⁶. Разделительная способность каждой центрифуги 6-го поколения равнялась примерно 2,5 ЕРР/год. Российская практика состояла в сборке таких коротких подкритических центрифуг в стойки, обычно состоящие из трех или четырех полок, с высотой до семи слоев. На каждом уровне модуля устанавливалось по 20 машин, в два ряда по десять³⁷.

В июне 2007 года Национальная ядерная корпорация Китая формально начала работы по второму проекту центрифуг в Ланьчжоу (Коммерческий демонстрационный проект центрифуг в Ланьчжоу) в качестве отечественной демонстрационной установки рядом с поставленным из России предприятием. 4 июля 2008 года Национальная администрация ядерной безопасности Китая выдала разрешение для строительства по проекту³⁸.

Компания с ограниченной ответственностью "Синьэн, ядерные технологии" Национальной ядерной корпорации Китая отвечала за техническое проектирование, строительство, поставки, установку и регулировку³⁹. Демонстрационная установка начала работу 12 июля 2010 года⁴⁰. Ее обогатительная мощность оценивается примерно в 0,5 миллиона ЕРР/год⁴¹.

Строительство по третьему проекту центрифуг в Ланьчжоу началось где-то между концом 2009 года и началом 2010 года. Снимок со спутника 2 октября 2010 года показывает, что главное производственное здание было почти построено. Снимок со спутника 16 ноября 2012 года показывает законченное здание. В отчете Национальной администрации ядерной безопасности Китая за 2012 год указывается, что она проводила пробные испытания в 2012 году⁴². Национальная ядерная корпорация Китая сообщила, что предприятие вступило в строй в декабре 2012 года⁴³, а в июне 2013 года она объявила, что на своих собственных центрифугах была изготовлена первая партия обогащенного урана⁴⁴. Мощность этого коммерческого предприятия составляет примерно 0,5 миллиона ЕРР/год⁴⁵.

Итак, Национальная ядерная корпорация Китая объявила в июне 2013 года о том, что она достигла полной независимости в технологии обогащения урана (что означает собственную конструкцию, изготовление и эксплуатацию центрифуг) и что она достигла международного уровня конкурентоспособности в обогащении урана⁴⁶.

8 января 2013 года Национальная администрация ядерной безопасности Китая выдала разрешение для строительства по четвертому проекту центрифуг в Ланьчжоу⁴⁷. Считается, что мощность этого большого коммерческого предприятия с центрифугами будет равна 1,2 миллиона ЕРР/год⁴⁸. Как показано на рисунке 1, в начале 2015 года главное производственное здание было наполовину построено. Ожидается, что предприятие полностью вступит в строй в конце 2015 года. Китай планирует построить другое большое предприятие с центрифугами аналогичной мощности (пятый проект центрифуг в Ланьчжоу); могут последовать и другие проекты.

Эксперты Национальной ядерной корпорации Китая заявляют, что Китай обладает возможностью строить по одному предприятию с центрифугами мощностью в 1 миллион ЕРР/год⁴⁹. Они подчеркивают также, что Китай планирует в период с 2010 по 2020 годы ежегодно увеличивать свои обогатительные мощности⁵⁰. Руководитель завода в Ланьчжоу подчеркнул в июне 2013 года, что такая мощность в 2020 году будет способна удовлетворить все потребности Китая⁵¹.

ЗАВОД ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА В ХАНЬЧЖУНЕ

Завод обогащения урана в Ханьчжуне (китайское официальное название: компания с ограниченной ответственностью "Обогащение урана в Шэньси" Национальной ядерной корпорации Китая, или завод 405) включает четыре предприятия с центрифугами (смотрите рисунок 2): три предприятия с поставленными из России центрифугами (этапы I, II и IV по российско-китайским соглашениям) и большое отечественное предприятие.

По российско-китайскому соглашению 1993 года завод 405 в два этапа импортировал российские предприятия с центрифугами. Мощность установки первого этапа составляла 0,2 миллиона ЕРР/год; она начала работать в феврале 1997 года. Установка второго этапа мощностью 0,3 миллиона ЕРР/год вступила в строй в январе 1999 года⁵². Установка третьего этапа мощностью 0,5 миллиона ЕРР/год была построена в Ланьчжоу по соглашению 1995 года. После того как Китай в середине 2000-х годов принял политику активного развития атомной энергетики, Китай и Россия в мае 2008 года достигли соглашения о строительстве еще одной установки с центрифугами мощностью 0,5 миллиона ЕРР/год в Ханьчжуне в качестве четвертого и последнего этапа своих соглашений. Строительство этой установки было начато в 2009 году и закончено в 2011 году. 1 ноября 2013 года Национальная администрация ядерной безопасности Китая приняла эту установку для предварительных работ и нормальная работа предприятия началась в 2013 году⁵³.

На заводе в Ханьчжуне работает значительно большая установка с отечественными центрифугами (с мощностью около 1,2 миллиона ЕРР/год), официально называемая Северным расширением проекта центрифуг, поскольку она расположена к северу от российских установок. После того, как демонстрационный проект центрифуг в Ланьчжоу вступил в строй в 2010 году, на заводе в Ханьчжуне был начат собственный отечественный проект. 4 января 2012 года было получено разрешение на его строительство⁵⁴. Строительство было завершено в 2013 году, а эксплуатация была начата в 2014 году. В отличие от завода в Ланьчжоу, где имелось достаточно места для расширения, доступное пространство на заводе в Ханьчжуне было ограничено. Поэтому на этом предприятии использовались двухэтажные стойки центрифуг⁵⁵. Предприятие включало два основных цеха обогащения с общей мощностью около 1,2 миллиона ЕРР/год⁵⁶.

По соглашению о добровольном предложении гарантий, Китай предложил все три поставленные Россией установки (этапы I и II на заводе в Ханьчжуне и этап III на заводе в Ланьчжоу) на выбор для гарантий МАГАТЭ. Из-за нехватки средств МАГАТЭ выбрало только установки в Ханьчжуне⁵⁷. Две установки с поставленными Россией центрифугами этапов I и II были поставлены под гарантии МАГАТЭ по трехстороннему соглашению о гарантиях между МАГАТЭ, российским Минатомом и китайским Управлением атомной энергии⁵⁸.

Тот факт, что Китай предложил инспекторам МАГАТЭ доступ на заводы в Ханьчжуне и Ланьчжоу, может указывать на то, что они предназначены только для гражданских целей.



Рисунок 2. Завод обогащения урана в Ханьджуне. А: 1-ое предприятие в Ханьджуне с центрифугами (I этап российских поставок); В: 2-ое предприятие в Ханьджуне с центрифугами 1-ое предприятие в Ханьджуне с центрифугами (II этап российских поставок); С: 3-ье предприятие в Ханьджуне с центрифугами (IV этап российских поставок); D: 4-ое предприятие в Ханьджуне с центрифугами (отечественные, проект Северного расширения). Снимок со спутника 18 января 2015 года (координаты: 33°15'47,70" с.ш. / 107°25'52,74" в.д.). ©DigitalGlobe. Воспроизведено с разрешения ©DigitalGlobe. Разрешение для повторного использования должно быть получено от правообладателя.

УСТАНОВКИ ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА НА ЗАВОДЕ 814

Национальная ядерная корпорация Китая обогащает уран на заводе 814 как для военных, так и для гражданских целей. Завод 14 располагается в провинции Сычуань и в него входят обогатительные предприятия в округе Цзинькоухэ города Лэшань (рисунок 3) и в городе Эмэйшан (рисунок 4). Завод 814, часто называемый в западной прессе заводом обогащения урана в Хэпине, располагается в районе Хэпин Юйцзу округа Цзинькоухэ города Лэшань⁵⁹. Тем не менее, на июнь 2014 года завод эксплуатировал также установки с центрифугами вблизи города Эмэйшан. Здесь установка в Хэпине обозначается как завод 814 в Цзинькоухэ и установка в Эмэйшане обозначается как завод 814 в городе Эмэйшан.

Газодиффузионный завод в Хэпине начал работу 25 июня 1970 года (раньше, чем в предполагавшемся ранее 1975 году)⁶⁰. Считается, что этот завод прекратил производство высокообогащенного урана оружейного качества в 1987 году в результате политики военно-гражданской конверсии Китая⁶¹. Однако, в китайских публикациях отмечается, что предприятие продолжает работу⁶². Китаю все еще требуются изделия из обогащенного урана для иного военного использования, не связанного с производством ядерного оружия, включая низкообогащенный уран для реакторов военно-морского флота, высокообогащенный уран для реакторов по производству трития и некоторых исследовательских реакторов, а заводы с центрифугами в Ланьчжоу и

Ханьчжуне, по-видимому, предназначены для гражданских целей. Тот факт, что в Китае все еще используется кодовое название (завод 814), позволяет предположить, что этот завод является более секретным, чем заводы в Ланьчжоу и Ханьчжуне, имеющие официальные открытые названия, заменившие прежние кодовые имена завода 504 и завода 405, соответственно. Предприятие в Хэпине может поэтому быть либо военным, либо предприятием двойного назначения.



Рисунок 3. Газодиффузионный завод в Цзинькоухэ, Сычуань. Снимок со спутника 28 сентября 2015 года (координаты: 29°13'58,49" с.ш. / 103°03'49,95" в.д.).

©DigitalGlobe. Воспроизведено с разрешения ©DigitalGlobe. Разрешение для повторного использования должно быть получено от правообладателя.

Завод в Хэпине производил высокообогащенный уран с 1970 до 1987 года и, по оценкам, выработал 3 миллиона ЕРР, что достаточно для производства 15 тонн высокообогащенного урана оружейного качества (обогащенного на 90 процентов)⁶³. Вместе взятые, заводы в Ланьчжоу и Хэпине выработали 4,1 миллиона ЕРР, что достаточно для производства 21 тонны высокообогащенного урана оружейного качества. Принимая во внимание использование в исследовательских реакторах и реакторах для военно-морского флота, реакторах для производства трития, и попадание в отходы, общее количество высокообогащенного урана оружейного качества в арсенале Китая оценивается в 18 ± 4 тонны⁶⁴.

Считается, что мощность газодиффузионного завода в Хэпине до 1987 года составляла 230 тысяч ЕРР/год⁶⁵. Однако, новая информация показывает, что выход продукции с предприятия около 2004 года возрос на 45 процентов. Следовательно, мощность газодиффузионного завода в Хэпине могла возрасти до 0,3 – 0,4 миллиона ЕРР/год. Кроме того, сообщалось, что примерно в 2006 году завод 814 был обновлен и модернизирован⁶⁶.

Кроме того, для удовлетворения возросших потребностей Китая в обогащенном уране, на заводе, по-видимому, на заводе 814 было построено большое коммерческое предприятие с центрифугами (Эмэйшан 1) вблизи города Эмэйшан. Согласно официальным городским документам, проект центрифуг (упоминаемый как проект центрифуг 1, что может указывать на то, что должны быть и последующие проекты) планировалось

запустить в 2008 году⁶⁷. Хотя никакой опубликованной информации о местоположении предприятия не имеется, на основании изображения со спутника (рисунок 4) завод 814 может находиться в городе Шунфу в окрестностях города Эмэйшан.



Рисунок 4. Предприятия Эмэйшан 1 и Эмэйшан 2 в Шунфу в окрестностях города Эмэйшан. А: Эмэйшан 1 (действующее); В: Эмэйшан 2 (строящееся); С: место, подготовленное для дополнительного проекта с центрифугами. Снимок со спутника 5 октября 2014 года (координаты: 29°40'38,33" с.ш. / 103°32'04,65" в.д.). ©DigitalGlobe. Воспроизведено с разрешения ©DigitalGlobe. Разрешение для повторного использования должно быть получено от правообладателя.

Строительство предприятия Эмэйшан 1 было начато около 2011 года. Это предприятие могло начать действовать около 2013 года. Мощность этого предприятия может быть равна примерно 0,8 миллиона ЕРР/год⁶⁸.

Согласно изображению со спутника 5 октября 2014 года (рисунок 4), другой проект с центрифугами Эмэйшан 2, по-видимому, находился тогда на раннем этапе строительства. На основании другого снимка, полученного 16 февраля 2015 года и доступного на Google Earth, строительство существенно продвинулось. Обычно от начала строительства до ввода в строй обогатительного предприятия с центрифугами мощностью около 1 миллиона ЕРР/год проходит два года, включая один год на пробные испытания, настройку и рассмотрение и получение разрешения в Национальной администрации ядерной безопасности. Таким образом, предприятие может быть введено в строй в 2016 году. С учетом того, что общая площадь цеха обогащения аналогична площади цеха в Эмэйшан 1, можно предположить, что мощность предприятия Эмэйшан 2 также будет составлять примерно 0,8 миллиона ЕРР/год. Кроме того, изображение со спутника показывает, что готова площадка вдоль Эмэйшан 1 для размещения еще одного предприятия.

Из-за таких особенностей, как большая крыша и система охлаждения, еще одно меньшее предприятие (Эмэйшан 3) рядом с большим коммерческим обогатительным предприятием с центрифугами (рисунок 5) также может быть предприятием с центрифугами. Изображение со спутника показывает, что в марте 2009 года предприятие уже было построено. Площадь крыши составляет половину от площади в 3-ем предприятии в Ланьчжоу (с мощностью 0,5 миллиона ЕРР/год), и поэтому можно оценить, что обогатительная мощность предприятия может быть равна 0,25 миллиона ЕРР/год. Предположительно меньшее предприятие могло быть построено как полупромышленное отечественное предприятие около 2006 года. Оно могло представлять собой "техническую модернизацию и обновление" завода 814, о котором сообщалось около 2006 года⁶⁹. Учитывая, что в Китае в 2002 году уже была изготовлена первая центрифуга, и в 2004 году начала развиваться деятельность по коммерциализации, а в 2007 году стартовал коммерческий демонстрационный проект центрифуг в Ланьчжоу, было бы обоснованно ожидать строительства небольшой (полупромышленной) уста-

новки с центрифугами в 2006 году. Это согласуется с китайской моделью развития ядерной программы через полупромышленные, демонстрационные и коммерческие проекты.

И, наконец, учитывая, что площадка изолирована от системы общественного транспорта, и к ней подходит отдельная дорога к входу, она, скорее всего, предназначена для предприятия двойного или военного назначения.



Рисунок 5. Предприятие Эмэйшан 3 рядом с городом Эмэйшан. А: Здание цеха обогащения; В: Башенные охладители. Снимок со спутника 5 октября 2014 года (координаты: 29°38'38,70" с.ш. / 103°29'25,12" в.д.). ©DigitalGlobe. Воспроизведено с разрешения ©DigitalGlobe. Разрешение для повторного использования должно быть получено от правообладателя.

СТРЕМЛЕНИЕ К САМОДОСТАТОЧНОМУ ПРЕДОСТАВЛЕНИЮ УСЛУГ ОБОГАЩЕНИЯ

В дополнение к предприятиям с центрифугами в Ланьчжоу, Ханьджуне и Эмэйшане Национальная ядерная корпорация Китая планировала до июня 2013 года (инициировано в феврале 2012 года) построить крупный комплекс переработки урана в Хэшане в провинции Гуандун. Проект в Хэшане должен был стать обрабатывающим комплексом для очистки и переработки урана, обогащения урана и изготовления топлива; стоимость проекта должна была составить 40 миллиардов юаней (6 миллиардов долларов). Сообщалось, что продукты ядерного топлива должны были удовлетворить половину потребностей китайских атомных электростанций в 2020 году⁷⁰, откуда следует, что мощности обогащения должны были составлять около 5 миллионов ЕРР/год. Один из руководителей Генеральной корпорации ядерной энергетики Китая заявил, что мощность была бы равна 5 миллионов ЕРР/год⁷¹.

После крупных протестов, в которых принимало участие около тысячи человек, в июле 2013 года проект в Хэшане был отменен⁷². Протестующие выражали свои опасения общественного здоровья и влияния на окружающую среду. Они заявляли, что оценка воздействия на окружающую среду была неадекватной, и что десятидневные публичные обсуждения социальной стабильности были слишком кратковременными. Тем не менее, в настоящее время несколько провинциальных правительств конкурируют за строительство предприятия, потому что они считают, что проект ускорит их экономическое развитие⁷³. Несомненно, что у Национальной ядерной корпорации Китая и Генеральной корпорации ядерной энергетики Китая есть активный план расширения комплекса ядерного топлива⁷⁴.

Кроме того, на заводах в Ланьчжоу и Эмэйшане еще есть свободное место и существуют планы расширения их обогатительных мощностей. Учитывая текущие действующие мощности Национальной ядерной кор-

порации Китая в 4,5 миллиона ЕРР/год, строящиеся мощности в 1,2 миллиона ЕРР/год в Ланьчжоу и в 0,8 миллиона ЕРР/год на площадке Шуанфу в окрестностях города Эмэйшан, и около 7 миллионов ЕРР/год на планируемых новых площадках, Китай сможет легко удовлетворить свои потребности в обогащении, которые в 2020 году составят около 9 миллионов ЕРР/год. Стремление Китая требовать от иностранных поставщиков поставлять первую загрузку и несколько последующих позволит китайцам сэкономить и природный уран, и работу разделения⁷⁵. Недавняя сделка Генеральной корпорации ядерной энергетики Китая с Казахстаном по импорту обогащенной продукции также сэкономит дополнительную работу разделения⁷⁶.

Таким образом, мощности обогащения Китая до 2020 года могут превышать его домашние потребности. Это согласуется с политикой Национальной ядерной корпорации Китая "удовлетворения домашнего спроса и нацеленности на международные рынки" при предоставлении услуг обогащения⁷⁷. Китай стремился достичь полной независимости в своих работах по обогащению, включая исследования и разработки, машиностроение, производство и эксплуатацию. Как подчеркивал главный инженер Национальной ядерной корпорации Китая по технологии обогащения Лэй Цзэнгуан в интервью в июне 2013 года, для обеспечения развития атомной энергетики в Китае "технология обогащения должна быть полностью независимой. До сих пор Китай обладал мощностями производства центрифуг, которые могут полностью удовлетворить будущие потребности развития атомной энергетики. Хотя для Национальной ядерной корпорации Китая домашнее предоставление услуг обогащения является приоритетным, она будет постоянно расширять свои иностранные рынки и делать производство ядерного топлива в Китае конкурентоспособным на международном рынке"⁷⁸.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на заметную остающуюся неопределенность, свидетельства, основанные на изображениях со спутников, китайских публикациях и обсуждениях с китайскими экспертами, позволяют предположить, что Китай уже обладает действующими установками обогащения с мощностью, примерно составляющей 4,5 миллиона ЕРР/год, дополнительными строящимися предприятиями с мощностью, оцениваемой как 2 миллиона ЕРР/год, и может обладать способностью ежегодно добавлять дополнительные мощности в миллион ЕРР/год. Китай уже имеет существенно большие мощности обогащения, чем это предполагалось ранее, и они продолжают расширяться. Например, Всемирная ядерная ассоциация оценивает, что китайские мощности равны 2,2 миллиона ЕРР/год. Более того, у Китая достаточно обогатительных мощностей для удовлетворения своих потребностей в ядерном топливе для атомных электростанций для текущего десятилетия и после него. Китай будет обладать избыточными обогатительными мощностями и станет чистым экспортером коммерческих услуг по обогащению. Практика развития обогащения урана в Китае согласуется с китайским продвижением политики самодостаточности и "нацеленности на международные рынки" предоставления услуг по обогащению.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Автор благодарит Корпорацию Карнеги в Нью-Йорке и Фонд Джона Д. и Кэтрин МакАртур за финансовую поддержку этой работы.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Генеральная корпорация ядерной энергетики Китая (CGN) планирует заключить соглашение с Национальной ядерной корпорацией Китая (CNNC) по созданию совместного предприятия для нового комплекса изготовления ядерного топлива, включая обогащение; P. Chaffee, "Fuel Cycle: CNNC-CGN Guangdong Fuel Plant Rises From the Ashes," *Nuclear Intelligence Weekly* IX, 17 (24 April 2015): 4–5. В декабре 2014 года Генеральная корпорация ядерной энергетики Китая заключила сделку с "Казатомпромом" по совместному заводу изготовления топлива в Казахстане. Эта сделка может позволить Генеральной корпорации ядерной энергетики Китая импортировать топливные сборки, по которым приобретенный в других местах обогащенный уран может попасть на китайский рынок; P. Chaffee and K. Pang, "Washington Spot Price Weakens Again While Producers Shrug," *Nuclear Intelligence Weekly* IX, 17 (24 April 2015): 2. Такие планы Генеральной корпорации ядерной энергетики Китая могут подорвать доминирующее положение Национальной ядерной корпорации Китая на домашнем рынке услуг обогащения.
2. Hui Zhang, *Global Fissile Material Report 2010: Balancing the Books: Production and Stocks* (Princeton, NJ: Princeton University, 2011), 97–106. <http://fissilematerials.org/library/gfmr10.pdf>.
3. Wang Zhaofu, "60 Years of New China's Nuclear Energy Development Key Events," *China Nuclear Energy*, 5,

- (2009), <http://www.china-nea.cn/html/2009-11/4239.html>).
4. Zhang, *Global Fissile Material Report 2010* (ссылка 2).
 5. См., например, Cheng Lili, "Plant 814: The New Era of 'Small Yan'an'" *Workers' Daily*, 26 March 2010, на китайском языке. Яньань в провинции Шэньси играет важную роль в китайской истории, потому что он был основным местом раннего развития китайской революции.
 6. Li Jue, Lei Rongtian, Li Yi, and Li Yingxiang, eds., *China Today: Nuclear Industry* (Beijing: China Social Science Press, 1987), на китайском языке.
 7. Сообщения от экспертов Национальной ядерной корпорации Китая, октябрь 2014 года.
 8. Li et al., *China Today: Nuclear Industry*, 390 (ссылка 6).
 9. Сообщения от экспертов Национальной ядерной корпорации Китая, октябрь 2014 года.
 10. См., например, Huang Wenhui and Qian Xikang, "Persons of Tsinghua University in Qinbashan," *China Youth Science and Technology* 12 (2003), на китайском языке, <http://wuxizazhi.cnki.net/Search/QNKJ200312016.html>; см. также Liang Guangfu (бывший заместитель главного инженера завода 405), "To Cast the Light of the Century by Youth," доклад в университете Циньхуа, осень 2005 года, <http://www.newsmth.net/nForum#!article/TsinghuaCent/353223>.
 11. См., например, R. J. Smith and J. Warrick, "Pakistani Nuclear Scientist's Accounts Tell of Chinese Proliferation," *The Washington Post* 13, November 2009, <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2009/11/12/AR2009111211060.html>.
 12. Сообщения от экспертов Национальной ядерной корпорации Китая, октябрь 2014 года.
 13. Сообщения от экспертов Национальной ядерной корпорации Китая, октябрь 2014 года.
 14. Сообщения от экспертов Национальной ядерной корпорации Китая, октябрь 2014 года. См. также "China's Indigenous Centrifuge Enrichment Plant," *Nuclear Intelligence Weekly* 25 October 2010, http://www.energycompass.com/pages/eig_article.aspx?DocId = 691792.
 15. Li Guanxing, "Status and Future of China's Front-end of Nuclear Fuel Cycle," *China Nuclear Power* 3, (2010), на китайском языке.
 16. В предположении того, что полная мощность атомных электростанций Китая будет линейно возрастать от 20 ГВт(эл.) в 2014 году до 58 ГВт(эл.) в 2020 году (на основании текущего официального плана Китая на период до 2020 года), Рост полной мощности атомных электростанций Китая будет связан с реакторами с водой под давлением (PWR) и ежегодная потребность в ЕРР на гигаватт мощности реакторов PWR примерно равна 129 тонно-ЕРР (1000 кг-ЕРР). Начальная загрузка активной зоны каждого реактора PWR примерно эквивалентна утроенной ежегодной потребности в ЕРР. Следовательно, можно оценить, что ежегодная потребность в ЕРР возрастет примерно до 9 миллионов ЕРР в 2020 году по сравнению примерно с 3 миллионами ЕРР в 2014 году. Для оценки потребности в ЕРР в 2014 году, мы принимали полную мощность атомных электростанций в 2014 году равной 20 ГВт(эл.), которая включала новые добавленные мощности в 3 ГВт(эл.) в дополнение к 17 ГВт(эл.) в 2013 году, и учитывали соответствующую загрузку новых активных зон. Кроме того, из полной мощности 20 ГВт(эл.) вычиталось примерно 1,5 ГВт(эл.) двух реакторов типа "Candu" (которым не нужен обогащенный уран).
 17. World Nuclear Association: Uranium Enrichment (Updated April 2015), <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Conversion-Enrichment-and-Fabrication/Uranium-Enrichment/>.
 18. См., например, World Nuclear Association: Uranium Enrichment; P. Chaffee and K. F. Wong, "China's Indigenous Capacity May be Double Previous Estimates," *Nuclear Intelligence Weekly* 1 (March 2013): 3–4; Jeffrey Lewis, "China's New Centrifuge Plants," *Arms Control Wonk*, 17 September 2013, <http://lewis.armscontrolwonk.com/archive/6826/chinas-new-centrifuge-plants>. Эти предыдущие опубликованные оценки не включали новые установки с центрифугами в Эмэйшане, и в них неправильно недооценивалась мощность обогащения на отечественных установках на заводах в Ханьчжуне и Ланьчжоу. Например, мощность установки ЗЦО4 в Ханьчжуне составляет примерно 1,2 миллиона ЕРР/год (по сравнению с оцененной мощностью в 0,25 миллиона ЕРР/год).
 19. Сообщения от экспертов Национальной ядерной корпорации Китая, октябрь 2014 года.
 20. См., например, Lewis, "China's New Centrifuge Plants" (ссылка 18).
 21. Обычно в каждой стойке находится три или четыре полки (иногда до семи полок), см. Oleg Bukharin, "Russia's Gaseous Centrifuge Technology and Uranium Enrichment Complex," Working Paper, Program on Science and Global Security Woodrow Wilson School of Public and International Affairs Princeton University, January <http://www.partnershipforglobalsecurity-archive.org/Documents/bukharinrussianenrichmentcomplexjan2004.pdf>. С учетом того, что число полок на 4-ом предприятии в Ханьчжуне удвоилось по сравнению с другими, предполагалось, что число полок в других моделях равнялось трем.
 22. World Nuclear Association, Russia's Nuclear Fuel Cycle, Updated February 2015. <http://www.world->

- nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/Russia–Nuclear-Fuel-Cycle/#Enrichment.
23. "Russia 1st to Test 10th Generation Uranium Enrichment Centrifuges," 27 April 2015. <http://rt.com/news/253245-rosatom-uranium-enrichment-centrifuge/>.
 24. Считается, что разделительная способность машин 6-го, 7-го и 8-го поколений соответственно равна 2,5; 3,2 and 4,2. См., например, David Albright et al, *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996* (Oxford University Press, 1997). Bukharin, Russia's Gaseous Centrifuge Technology and Uranium Enrichment Complex (ссылка 21).
 25. "Russia 1st to test 10th Generation Uranium Enrichment Centrifuges" (ссылка 23).
 26. Lei Zengguang, "China has accomplished a complete self-independency of uranium enrichment technology" (на китайском языке), 25 June 2013. http://news.china.com.cn/tech/2013-06/25/content_29217256.htm.
 27. Zhang, *Global Fissile Material Report 2010* (ссылка 2).
 28. Jing Yongyu et al., Economic Analysis on Decommissioning of Lanzhou Gaseous Diffusion System, Proceedings of Workshop on Recycling Economics (на китайском языке), 1 July 2008.
 29. Jing, et al., Economic Analysis on Decommissioning of Lanzhou Gaseous Diffusion System (ссылка 28).
 30. Zhang, *Global Fissile Material Report 2010* (ссылка 2).
 31. Hui Zhang, *China's Uranium Enrichment Capacity: Rapid Expansion to Meet Commercial Needs*. (Cambridge, MA: Report for Project on Managing the Atom, Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School), August 20, 2015. <http://belfercenter.ksg.harvard.edu/files/chinasuraniumentrichmentcapacity.pdf>
 32. "Russia First off the NSG Block, Says it Will Supply Fuel to Tarapur," *Express News Service: New Delhi*, 14 March 2006. <http://archive.indianexpress.com/news/russia-first-off-the-nsg-block-says-it-will-supply-fuel-to-tarapur/463/0>
 33. Lei Zengguang, "China has Realized its Independent Uranium Enrichment" (на китайском языке), 17 May 2013.
 34. В докладе Всемирной ядерной ассоциации указывается, что поставленные Россией машины принадлежат к 6-му поколению (World Nuclear Association, China's Nuclear Fuel Cycle, Updated February 2015. <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-AF/China–Nuclear-Fuel-Cycle/>). Тем не менее, в недавнем отчете указывается, что на 3-ем предприятии в Ханьчжуне (этап IV российских поставок) используются российские центрифуги 7-го и 8-го поколений (см. "Russia 1st to Test 10Gen Uranium Enrichment Centrifuges" (ссылка 23).
 35. Центрифуги могут быть либо "подкритическими", либо "сверхкритическими". Отношение длины ротора подкритической центрифуги к ее диаметру таково, что он будет оптимально вращаться на угловой скорости, меньшей первой фундаментальной изгибной критической частоты. На такой критической частоте вращательная энергия вращающегося жесткого тела будет передаваться большим отклонениям от оси вращения, которые могут разрушить ротор, если только не будут предприняты механические действия для уменьшения амплитуды смещений. Сверхкритическая центрифуга работает на частоте, большей первой критической частоты, и связанные с резонансом разрушающие эффекты устраняются механическими воздействиями, такими, как механизмы демпфирования или сильфоны (гибкие соединения, соединяющие трубки ротора, и действующие как пружины).
 36. См., например, Albright et al, *Plutonium and Highly Enriched Uranium*, 106–107 (ссылка 24).
 37. Oleg Bukharin, "Russia's Gaseous Centrifuge Technology and Uranium Enrichment Complex" (ссылка 21).
 38. NNSA, Annual Report 2008.
 39. "Integrating Resources Advantages to Build Demonstration Project of Plant 504," China Nuclear Industry (на китайском языке), No.12, 2008.
 40. CNNC, "1995 to 2000" in "60 Events in 60 Years," <http://www.cnncc.com.cn/publish/portal0/tab904/info88022.htm>; also, NNSA, Annual Report 2010.
 41. См. "China's Indigenous Centrifuge Enrichment Plant." *Nuclear Intelligence Weekly*, 25 October 2010. http://www.energycompass.com/pages/eig_article.aspx?DocId=691792. Сообщалось, что мощность этой установки равна 0,5 миллиона ЕРР/год. Это согласуется также с сообщениями китайских ядерных экспертов в июле 2013 года.
 42. NNSA, Annual Report 2012.
 43. CNNC, "1995 to 2000," Li Jin, "China's Uranium Enrichment Centrifuges Achieved Industrial Application," *Workers' Daily* (на китайском языке), 1 March 2013, см. также, <http://news.xinhuanet.com/tech/2013-03/01/c124402348.htm>
 44. Zhang Xiaobo, "China Develops Own Tech to Enrich Uranium," *Global Times*, 25 June 2013. <http://www.globaltimes.cn/content/shtml#.UclTyj7k5YQ>. Also, NNSA, Annual Report 2013.
 45. Предполагается, что эта установка будет иметь ту же самую мощность, как в демонстрационный проект, если площади их крыш будут одинаковы. Эта оценка согласуется с сообщениями китайских ядерных экс-

- пертов в июле 2014 года.
46. Yu Siluan, reporter, "A completely independent uranium enrichment technology has achieved industrialization and is developing a new generation of centrifuges," *People's Daily* (на китайском языке), 2 June 2013. <http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2013-06/22/nw.D110000renmrb201306226-01.htm>.
 47. NNSA, Annual Report 2013.
 48. Как показывает таблица 1, полная площадь обогатительного корпуса примерно в 2,3 раза больше, чем на 3-ем предприятии в Ланьчжоу, мощность которого равна 0,5 миллиона ЕРР/год. Эта оценка также согласуется с сообщениями китайских ядерных экспертов в феврале 2015 года.
 49. Kang Rongyuan and Gong Yufeng, Suggestions on China's Nuclear Fuel Development and Strategy, 4 February 2013, www.China-nea.cn/html/2013-02/25688.html.
 50. Li Guanxing, "Status and Future of China's Front-end of Nuclear Fuel Cycle" (ссылка 15).
 51. Zhang, "China Develops Their own Technology to Enrich Uranium"
 52. Wang, "60 Years of New China's Nuclear Energy Development Key Events."
 53. NNSA Annual Report 2012 and 2013.
 54. NNSA Annual Report 2012.
 55. Сообщения от экспертов Национальной ядерной корпорации Китая, ноябрь 2014 года.
 56. Оценка, основанная на сравнении полных площадей крыш обогатительных корпусов с площадью корпуса предприятия Ланьчжоу 2, при учете того, что на предприятии используются стойки с двумя рядами установок Ланьчжоу. Эта оценка также согласуется с сообщениями китайских ядерных экспертов в ноябре 2014 года.
 57. Сообщения от экспертов Национальной ядерной корпорации Китая, октябрь 2014 года.
 58. A. Panasyuk, A. Vlasov, S. Koshelev, T. Shea, D. Perricos, D. Yang, and S. Chen, "Tripartite Enrichment Project: Safeguards at Enrichment Plants Equipped with Russian Centrifuges," IAEA-SM-367/8/02 (IAEA, 2001).
 59. Zhang, *Global Fissile Material Report 2010* (ссылка 2).
 60. Смотрите Wang, "60 Years of New China's Nuclear Energy Development Key Events" (ссылка 3). Also available at: <http://www.china-nea.cn/html/2009-11/4239.html>.
 61. Zhang, *Global Fissile Material Report 2010* (ссылка 2).
 62. См., например, Cheng, "Plant 814: the New era of 'Small Yan'an" (ссылка 4).
 63. Для нового периода эксплуатации с 1970 по 1987 год, основываясь на следующих предположениях: а) в 1970 – 74 годах, линейный рост от 50 000 до 100 000 ЕРР в год с содержанием U-235 в отвалах 0,3 процента; б) в 1975 – 79 годах, линейный рост от 100 000 до 230 000 ЕРР в год с содержанием U-235 в отвалах 0,3 процента; в) в 1980 – 87 завод работал на мощности 230 000 ЕРР в год с содержанием U-235 в отвалах 0,3 процента. Следовательно ГДЗ в Хэпине произвел 3 миллиона ЕРР, что достаточно для производства примерно 15 тонн высокообогащенного урана.
 64. Это обновление предыдущей оценки в 16 ± 4 тонны (см. Zhang, *Global Fissile Material Report 2010* (ссылка 2)). Основная причина обновления связана с годом начала работы ГДЗ в Хэпине.
 65. Zhang, *Global Fissile Material Report 2010* (ссылка 2).
 66. Cheng, "Plant 814: the New era of 'Small Yan'an" (ссылка 4). Однако, не ясно, относится ли "модернизация и обновление" завода 814 только к ГДЗ в Хэпине (учитывая, что в то же время завод 814 мог включать предприятие Аймесан 3). Если это относится только к ГДЗ в Хэпине, то это может означать переход на центрифуги. Эксперты Национальной ядерной корпорации Китая также подчеркивали в 2009 году, что Китай закончил переход от технологии газовой диффузии к технологии газовых центрифуг (см. Li, "Status and Future of China's Front-end of Nuclear Fuel Cycle" (ссылка 15)), что может указывать что в конце 2000-х годов ГДЗ в Хэпине превратился в предприятие с центрифугами. Однако, для подтверждения этого нет убедительных доказательств.
 67. "Development and Reform Bureau of Emeishan City, Key Work Points in 2008," March 18, 2008. <http://www.leshan.gov.cn/UploadFile/UploadFile/emeishan/20084159272366099.doc>. Этот правительственный документ указывает, что одним из ключевых пунктов работ была помощь проекту центрифуг в Эмэйшане, включая выделение земли и другие подготовительные работы, и отмечает стремление начать строительство в 2008 году.
 68. Его полная площадь обогатительного корпуса примерно в 1,6 раза больше, чем на 3-ем предприятии в Ланьчжоу, мощность которого равна 0,5 миллиона ЕРР/год. Эта оценка также согласуется с сообщениями китайских ядерных экспертов в июне 2015 года.
 69. См. Cheng, "Plant 814: the New era of 'Small Yan'an" (ссылка 4).
 70. Liu Qingshan, "Waiting for Knowing the EastWind: Heshan Setback," *China SOE* (2014) 28–29. Это основано на интервью с президентом Национальной ядерной корпорации Китая Сунь Цинем. Китайские государст-

венные предприятия управляются Надзорной и административной комиссией Государственного Совета по государственным активам.

71. См. подробности в P. Chaffee, "Fuel Cycle: CNNC-CGN Guangdong Fuel Plant Rises from the Ashes" (ссылка 1).
72. Liu, "Waiting for Knowing the East Wind: Heshan Setback" (ссылка 70).
73. Сообщения от экспертов Национальной ядерной корпорации Китая, октябрь 2014 года.
74. См. P. Chaffee, "Fuel Cycle: CNNC-CGN Guangdong Fuel Plant Rises From the Ashes" (ссылка 1).
75. Например, компания AREVA поставит свежее топливо на 15 лет работы своих двух экспортируемых реакторов с водой под давлением EPR на атомной электростанции Гуандун Тайшань; компания "Вестингауз" поставит первые загрузки для своих четырех проданных Китаю реакторов AP1000. По соглашению 2008 года изделия с обогащенным ураном для первых четырех реакторов AP1000 будут поставляться из России компанией "Тенекс" в период с 2010 по 2021 год; компания "Уренко" поставит 30 процентов обогащенного урана для двух реакторов Дая Бау в провинции Гуандун; российские ТВЭЛ будут поставляться как топливо для реакторов Тяньвань 3 и 4 (два реактора ВВЭР) до 2025 года. Подробности смотрите в Zhang and Bai, "China's Access to Uranium Resources."
76. P. Chaffee and Kevin Pang, "Washington Spot Price Weakens Again While Producers Shrug" (ссылка 1).
77. Li, "Status and Future of China's Front-end of Nuclear Fuel Cycle" (ссылка 15).
78. Yu, "A completely independent uranium enrichment technology: has achieved industrialization and is developing a new generation of centrifuges" (ссылка 46).