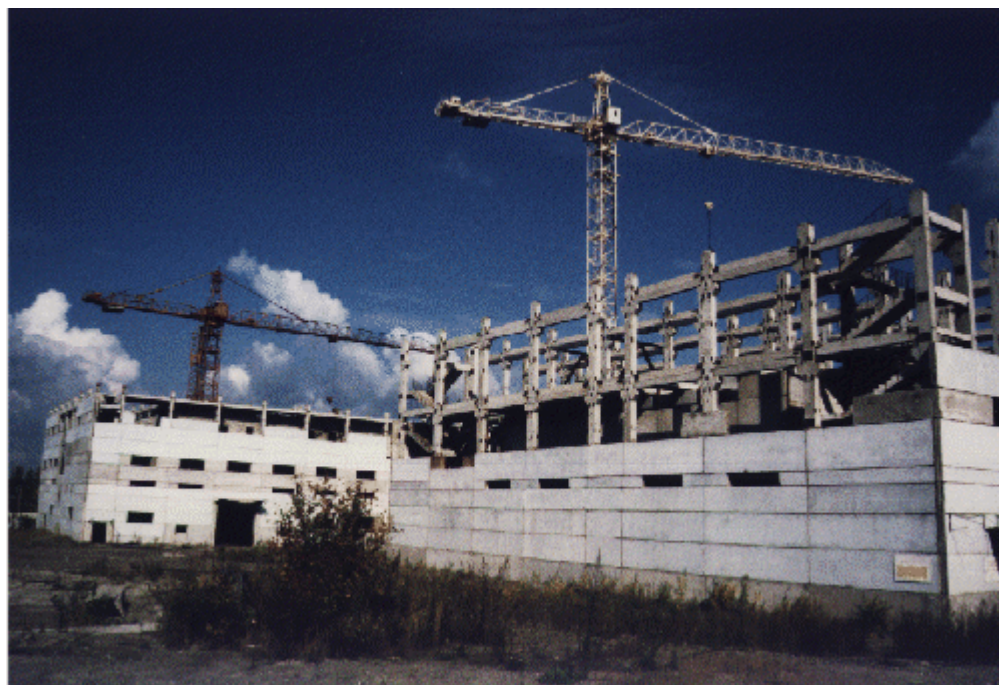


# **ИМПОРТ ЯДЕРНЫХ ОТХОДОВ** **минимум прибыли – максимум РАО**



Москва  
2005

Об авторах:

**Владимир Сливяк** - сопредседатель экологической группы «Экозащита!», директор российского отделения Всемирной Службы Информации по Энергетике (WISE). Со-автор ряда исследовательских работ, среди которых «Практика транспортировок ядерных материалов и радиоактивных отходов в России», «Использование МОКС-топлива в реакторах ВВЭР-1000» и др.

**Петер Диль** (Peter Diehl) - директор уранового проекта Всемирной Службы Информации по Энергетике (WISE).

Иллюстрации: **Алиса Никулина**

Использованы фотографии, принадлежащие следующим авторам и организациям: «Беллона», ИТАР-ТАСС, «Экозащита!», GlobalSecurity.org, Алиса Никулина.

На обложке: Недостроенный завод по переработке ОЯТ РТ-2, Железногорск.

С вопросами и предложениями обращайтесь:

«Экозащита!»

Тел. в Москве - (095) 7766546, 7766281

e-mail: [ecodefense@online.ru](mailto:ecodefense@online.ru)

<http://www.antiatom.ru>

## СОДЕРЖАНИЕ

Часть 1. Ввоз ОЯТ на переработку и захоронение:

Россия, как радиоактивная свалка для восточно-европейских соседей

1. Введение.
2. Планы по импорту ОЯТ в Россию - переговоры, позиция иностранных государств, перспективы.
3. Деятельность по ввозу в РФ ОЯТ и прочих ядерных материалов - существующие контракты, одноразовые операции.
4. Мощности по хранению и переработке ОЯТ.
5. Заключение.
6. Источники.
7. Приложение «Список портов РФ, которые будут использованы для ввоза ОЯТ».

Часть 2. До-обогащение урановых «хвостов»:

Россия в роли свалки для западных ядерных корпораций

### **1. Обедненный уран: замалчиваемая проблема отходов**

- 1.1. Обогащение урана: происхождение обедненного урана
- 1.2. Баллонное хранение обедненного гексафторида урана
- 1.3. Обедненный уран: отходы или ресурс?
- 1.4. Возможные способы использования обедненного урана
- 1.5. Долговременное хранение или захоронение

### **2. До-обогащение обедненных урановых хвостов**

- 2.1. Обогащение хвостов - сделка
- 2.2. Массовый баланс до-обогащения процесса
- 2.3. Финансовый баланс до-обогащения процесса
- 2.4. Производство материала для разбавления ВОУ
- 2.5. Политические, торговые и правовые аспекты до-обогащения хвостов

### **3. Приложения: Массовый и экономический балансы**

- Вариант N
- Вариант В

### **4. Глоссарий**

### **5. Используемая литература**

## Часть 1. Ввоз ОЯТ на переработку и захоронение: Россия, как радиоактивная свалка для восточно- европейских соседей

### 1. Введение

В 2001 году в России были приняты законы, допускающие ввоз иностранного отработавшего ядерного топлива, также называемого высокорadioактивными или ядерными отходами. Принятие законов о ввозе ОЯТ происходило на фоне массовой оппозиции со стороны населения и многих политиков. Так, губернатор Кемерово назвал принятие законов об ОЯТ «национальным позором», а его нижегородский коллега – «аморальным поступком». Некоторые средства массовой информации сообщали о том, что Минатом оплачивал услуги депутатов, которые голосовали за ввоз ядерных отходов **(1)**. По результатам социологических опросов 2001 года, 93% россиян выступали против ввоза ядерных отходов в Россию **(2)**. В следующем году, в 16-ю годовщину Чернобыльской аварии в 82 городах (53 региона) страны прошли акции протеста против ввоза в Россию иностранных ядерных отходов **(3)**. Опросы общественного мнения в 2002 году показали, что около 90% россиян относятся к атомной энергетике с опасением, а свыше 93% выступают против ввоза ОЯТ. **(4)**

Еще во время принятия законов о ввозе ОЯТ весной 2001 года под давлением общественности был вынужден уйти в отставку министр по атомной энергии Евгений Адамов. После принятия законов из Минатома были вынуждены уйти руководители, участвовавшие в их разработке. Помимо близости к экс-министру Адамову, большинство чиновников, уволенных в течение 2001-2002, объединяет «причастность» к бизнесу на ядерных отходах. Прежде всего, это «идеологи» импорта ОЯТ – бывшие заместители министра Булат Нигматуллин и Валентин Иванов. **(5)** В 2004 году Минатом был расформирован, а на его месте было образовано Федеральное Агентство по Атомной Энергии (Росатом). Однако это никак не повлияло на положение в энергетической политике или на ситуацию с импортом ОЯТ.

Многие специалисты в атомной промышленности связывали большие надежды на возрождение отрасли в связи с провозглашенным в 2001 году курсом на ввоз иностранного ОЯТ, однако по состоянию на 2005 г. каких-либо заметных улучшений не замечено. После того, как летом 2001 г. президент одобрил законопроект, допускающий ввоз зарубежных ядерных отходов в Россию, Минатом не смог подписать ни одного нового контракта. Весенние заявления 2002 г. Главы Минатома о скором подписании контрактов на импорт ядерных отходов из некоторых стран, в частности из Великобритании, Японии и других азиатских государств, оказались не соответствующими действительности (опровергнуты компетентными представителями упомянутых стран). Более поздние заявления министра о том, что в ноябре 2002 г. Россия начнет принимать зарубежное ОЯТ, также оказались далекими от реальности. В настоящий момент сохраняется перспектива продолжения ввоза ОЯТ из Болгарии, Украины, возможно Венгрии.

Между тем, мощности по хранению и переработке ОЯТ находятся в изношенном состоянии. Строительство нового завода по переработке ядерных отходов в

Красноярске-26 заморожено на неопределенный срок. Место в хранилищах для ОЯТ подходит к концу, о чем Ростехнадзор официально проинформировал правительство в 2005 г. Новых хранилищ или могильников пока не строится, до сих пор лишь заявлялось о намерении расширить вместимость хранилища в Красноярске-26 с 6 до 9 тыс. тонн.

Одним из наиболее важных событий в 2003 году стал отзыв лицензии у единственного российского предприятия, перерабатывающего ядерные отходы. В начале 2003 года впервые в истории России на комбинате «Маяк» в Челябинской области была приостановлена переработка ОЯТ. Не смотря на то, что «Маяк» не смог ликвидировать те нарушения закона, из-за которых лицензия была отозвана, в марте 2003 года Госатомнадзор под давлением правительства возобновил лицензию для предприятия. **(6)** В 2005 году проблемы предприятия с властями продолжились: Прокуратура начала расследование по факту сброса с ПО «Маяк» в открытые водоемы жидких низкорadioактивных отходов. По состоянию на окончание 2005 года расследование продолжается, к нему привлечены даже экологические организации.

Другим значимым событием в области регулирования ввоза ОЯТ стало утверждение президентской комиссии, которая будет рассматривать все предлагаемые другими странами сделки **(7)**. После двухлетнего бездействия, в 2005 году состав комиссии был пересмотрен. Предполагается, что эта комиссия будет рассматривать комплексный эффект от ввоза ядерных отходов, а также советовать властям, как бороться с негативными последствиями от ввоза ОЯТ. Вначале одним из членов комиссии был назначен депутат ГД Сергей Шашурин, который известен своими попытками организовать ввоз в Россию радиоактивных отходов (РАО) из азиатских стран с целью захоронения. В 2000 г. экологи из группы «Экозащита!» обнародовали ряд документов, из которых следует, что Шашурин, а также представители «Курчатовского Института», подписали договор об операциях с РАО с компанией Asia TAT, базирующейся в Японии и на Тайване. Из документов следует, что российские подписанты приложат усилия к тому, чтобы изменить законодательство России (в настоящий момент ввоз радиоактивных отходов запрещен в статье 48 Закона об охране окружающей среды), а также пролоббировать строительство на российском Дальнем Востоке могильника для РАО стоимостью около 2 млрд долл. В 2005 году состав комиссии претерпел изменения – Жорес Алферов больше не руководит комиссией, а Шашурин не может выполнять свои функции в связи с тем, что был заключен под стражу незадолго до выборов в Государственную Думу в 2003 г. В настоящий момент комиссию возглавляет известный сторонник переработки ОЯТ академик Лаверов.

Единственным успехом Росатома стало активизирование сотрудничества с Международным Агентством по Атомной Энергии (МАГАТЭ), которое горячо поддерживает желание российского правительства организовать международное хранилище ядерных отходов в Сибири (Красноярс-26). Однако большинство ядерных стран отнеслись к этой инициативе весьма холодно; шансы на успех этого проекта туманны. По сообщению Financial Times, в начале ноября 2005 г. МАГАТЭ заявило о том, что идею создания международного хранилища поддерживают Россия и США. Но если Россия хотела бы импортировать ОЯТ в Красноярск-26, то США придерживаются идеи создания могильника на одном из островов в Тихом океане.

По состоянию на конец 2005 года в России накоплено около 18500-19000 тонн отработавшего ядерного топлива. Рост количества ОЯТ составляет 800-1000 тонн в год. Долговременной стратегии обращения с ядерными отходами, включая ОЯТ, по-прежнему нет. Очевидно, что какого бы мнения не придерживался Росатом о дальнейшей судьбе отработавшего топлива, единственный путь – его долговременное хранение, а затем и захоронение. Большая часть накопленного в России ОЯТ - с реакторов типа РБМК и ВВЭР-1000 - не может быть переработана по причине отсутствия мощностей, а новых заводов строить пока никто не собирается.

## 2. Планы Министерства по атомной энергии РФ по ввозу иностранного ОЯТ в Россию – переговоры, позиция иностранных государств, перспективы

Росатом предполагает принимать на временное хранение и переработку отработавшее ядерное топливо из Восточной Европы, Азии и Финляндии. **(8)**

Страны Восточной Европы, в особенности Болгария и Венгрия, действительно рассматривают возможность воспользоваться услугами Росатома в области обращения с ОЯТ. Теоретически, к ним может присоединиться Словакия **(9)**. Это связано, прежде всего, со вступлением этих стран в Европейский Союз, что может привести к резкому удорожанию как хранения ОЯТ, так и его перевозки. Пример Венгрии показывает, что вывоз ОЯТ в Россию после вступления в ЕС становится крайне затрудненным. Однако эти страны нельзя назвать стабильными партнерами для сотрудничества в области ОЯТ в связи с тем, что они не способны платить за услуги по мировым ценам, а также изначально не имеют долговременных планов такого сотрудничества.

Власти стран Азии, а также Западной Европы и Америки относятся к предложенным Росатомом услугам более осторожно и пока не склонны ими пользоваться.

Усилия по привлечению Финляндии к приобретению услуг в области ОЯТ пока не принесли Росатому какого-либо результата. В 1996 году власти этой страны заявили о прекращении практики вывоза ядерных отходов в Россию по причинам экологического характера. Этому предшествовала масштабная кампания финских и российских экологов по информированию властей Финляндии о катастрофическом положении в Челябинской области около комбината «Маяк».

Германия отвергла предложение России по ввозу ядерных отходов на хранение и переработку по экологическим соображениям **(10)**. США заняли аналогичную позицию не только по экологическим, но и по политическим соображениям.

В этой ситуации некоторые деятели атомной индустрии уже сделали ряд заявлений о том, что план по импорту ОЯТ бесперспективен. Среди них оказался даже Виталий Садовников, руководитель единственного перерабатывающего ОЯТ предприятия (ПО «Маяк»). **(11)**

Министр по атомной энергии РФ Александр Румянцев в интервью газете «Коммерсант» публично усомнился в реальности получения 20 млрд., однако новую цифру так и не назвал. Выступление министра произошло на следующий день после подписания президентом законов об импорте ОЯТ. В период с 2001 по 2005 гг. никаких оценочных заявлений о судьбе проекта по ввозу ОЯТ чиновники Минатома, а затем и Росатома так и не сделали.

В некоторых регионах России власти открыто сомневаются в безопасности и целесообразности ввоза ОЯТ. Ярким примером является Краснодарский край, где депутаты Законодательного собрания серьезно обеспокоены возможностью превращения Новороссийска в перевалочный пункт для ввоза ядерных отходов из других стран. Заключение Росатомом контрактов на ввоз отработавшего

ядерного топлива (ОЯТ) из таких стран, как Болгария или Иран, неизбежно приведет к использованию порта Новороссийск для перегрузки опасного груза в течение ближайших 10 лет **(12)**. Подобную позицию властей можно видеть не только в приграничных, но и в транзитных регионах. Здесь наиболее ярким примером можно назвать Кемерово, где губернатор является последовательным противником ввоза ОЯТ. Даже в Красноярске отдельные депутаты выступают резко против организации международного хранилища ядерных отходов, а губернатор Хлопонин занимает в этом вопросе крайне осторожную позицию.

### **Переговоры: Венгрия**

13 марта 2003 г. активисты экологических организаций из 7 российских городов провели перед зданием венгерского посольства в Москве акцию протеста против ввоза в Россию отработавшего ядерного топлива из Венгрии. Поводом для проведения акции послужили планы по проведению в марте переговоров между представителями Минатома РФ и его компании ОАО "ТВЭЛ" с одной стороны и представителями АЭС Пакш (Венгрия) с другой. Предметом переговоров являлся ввоз в Россию 12 тыс. сборок с отработавшим ядерным топливом, которые в данный момент хранятся в Венгрии. В случае успешного завершения переговоров, ядерные отходы были бы перевезены на поезде в Челябинскую область. В 1997 году Минатом подписал контракт на импорт 3,5 тыс. сборок с ОЯТ из Венгрии, позднее Верховный суд РФ признал эту сделку незаконной. Венгерские ядерные отходы до сих пор хранятся на комбинате "Маяк" в Челябинской области, где их ждет утилизация в том или ином виде. **(20)**

В начале сентября 2003 г. в Будапеште представители Минатома и АЭС Пакш снова обсуждали контракт, включающий вывоз в Россию ОЯТ. Речь шла наиболее крупном за все время контракте - на 1500 тонн ОЯТ. Министр экономики Венгрии заявил, что контракт на вывоз ядерных отходов в Россию "может быть подписан до конца 2003г." **(21)**

В 2004 г. Венгрия и Россия подписали протокол к межправительственному договору от 1956 г. Этот документ обеспечивает возможность продолжать транспортировки ОЯТ в Россию после вступления Венгрии в Европейский Союз. Церемония подписания состоялась за 1 день до вступления страны в ЕС.

В ответ на подписание российско-венгерского протокола экологические группы обеих стран активизировали давление на правительство Венгрии как на местном уровне, так и через европейские институты власти – Европарламент и Европейскую Комиссию. Кульминацией этого давления стала акция протеста 25 апреля 2005 г., которая состоялась в около здания парламента в Будапеште. Трое российских граждан – Владимир Сливяк из организации «Экозащита!», Госман Кабиров и Рамзис Файзуллин, пострадавшие в результате аварии на комбинате «Маяк» – попытались публично передать премьер-министру Венгрии обращение, а также образцы радиоактивных воды, земли и оленьих рогов из Челябинской области. В результате активисты были арестованы, что вызвало огромное внимание прессы как в России, так и в Венгрии. После акции экологи получили официальное письмо из венгерского правительства, в котором утверждалось, что транспортировок ОЯТ в Россию пока не планируется.

### **Проект: Симушир**



В 2000 г. международная экологическая группа "Экозащита!" обнародовала ряд конфиденциальных документов о проекте депутата ГосДумы РФ Сергея Шашурина по захоронению радиоактивных отходов (РАО), а также ОЯТ из Тайваня и Японии на Сахалине. В частности из этих документов следует, что в 1998 году тайваньско-японская компания Asia Tat Trading Ltd. (АТТ) заказала Шашурину лоббирование внутри России проекта ввоза на захоронение радиоактивных отходов из нескольких азиатских стран в обмен на крупную финансовую помощь. Компания разработала проект строительства ядерного могильника на острове Симушир стоимостью 2,5 млрд. долл. Вместе с этим, ожидаемая от ввоза отходов прибыль должна составить около 10 млрд. долл. По мнению местных специалистов, на острове Симушир нельзя строить радиационно-опасные объекты. Например, сахалинский ученый из Института вулканологии и геодинамики РАН Александр Соловьев заявил, что Симушир состоит из нескольких действующих вулканов, извержение которых может начаться в любой момент. Симушир, как и вся Курильская гряда, считается одной из самых сейсмически опасных зон в мире. Вместе с этим, российский Закон об охране окружающей природной среды (ст.48) запрещает ввоз радиоактивных отходов из-за рубежа на территорию РФ с целью захоронения. **(13)**

Двойственную позицию в этом вопросе занял Минатом. 28 марта глава Минатома Александр Румянцев заявил, что его ведомство не было бы против импорта в Россию низко-радиоактивных отходов из азиатских стран. (Известия, 28 марта 2002) Интересно, что днем позже слова министра были опровергнуты пресс-службой Минатома. «Минатом РФ очередной раз заявляет о том, что не ведет переговоров по ввозу в Россию радиоактивных отходов», - сообщила пресс-служба министерства **(14)**. В конце 2003 года депутат Шашурин был арестован и препровожден в следственный изолятор в Казани, что не позволило ему избраться в качестве депутата ГосДумы на новый срок. С тех пор, о могильнике на Симушире ничего не слышно.

### **Переговоры: Словения**

В конце сентября 2003 г. председатель правительства РФ Михаил Касьянов провел в Москве переговоры с премьер-министром Республики Словении Антоном Ропом. По итогам переговоров М.Касьянов сообщил журналистам, что Россия и Словения планируют заключить протокол о поставках ядерного топлива в Словению. Речь на переговорах также шла и о том, что Минатом может забрать из Словении отработавшее ядерное топливо. Это стало бы первым прецедентом ввоза в Россию отходов, которые образовались в результате использования ядерного топлива на реакторе западного производства. Интересно, что Минатом не в состоянии перерабатывать такое топливо в связи с отсутствием мощностей и технологий. Таким образом, если словенское топливо будет импортироваться, то в России его переработать невозможно, речь может идти только о захоронении. **(15, 16, 17)** Однако этот план до сих пор не реализован, а переговоры о нем приостановлены.

### **Импорт: Украина**

Стоимость хранения украинского отработавшего ядерного топлива в России с 1995 года возросла на 70%, а долги Украины Красноярскому краю составляют на данный момент около 10 млн. долл. С тех пор, как были подписаны законы об импорте ОЯТ, в Россию поступило около 10 украинских эшелонов.

Существующее российское законодательство запрещает захоронение зарубежных ядерных отходов на территории России. В связи с этим Росатом заявил, что с 2011 года планируется начать отправку радиоактивных отходов, возникших в процессе переработки украинского ОЯТ, обратно. Однако это заявление невозможно осуществить по техническим причинам, ведь завод по переработке ОЯТ в Красноярске, по словам министра по атомной энергии, вряд ли будет построен до 2020 года. Таким образом, переработка украинского ОЯТ пока не планируется вообще.

Украина намерена прекратить вывоз в Россию ОЯТ. С этой целью на Запорожской АЭС построено новое хранилище для ядерных отходов, что позволит Украине экономить до 250 млн. гривен в год. Кроме того, украинский Энергоатом рассматривает проект строительства более крупного объекта, предназначенного для хранения ядерных отходов. **(18)** Новое хранилище будет предназначено для приема ОЯТ с Ровненской и Южно-Украинской атомных станций, которые ранее отправляли отходы в Озерск (комбинат «Маяк») и Железногорск (Горно-Химический Комбинат).

### **Переговоры: Япония**

Власти Японии не ведут переговоров об отправке ОЯТ в Россию и не получали подобных предложений. Об этом говорится в письме Министерства экономики, торговли и индустрии Японии, ответственного за решения в области обращения с отработавшим ядерным топливом в ответ на запрос группы «Экозащита». Ранее в ряде СМИ министр по атомной энергии РФ Александр Румянцев заявлял, что к маю 2002 г. Минатом подпишет контракт на ввоз японских ядерных отходов. **(19)**

### **Переговоры: Англия**

10 апреля 2002 г. министр по атомной энергии РФ Александр Румянцев встретился с представителями экологических организаций. Во время встречи со слов министра Румянцева стало известно, что в течение года Минатом надеется подписать один "небольшой" контракт на поставку ОЯТ с исследовательских реакторов в Англии. Стоимость контракта и количество ввозимого ОЯТ не оглашались. Позднее стало известно, что в Англии еще не знают о намерении главы Минатома Александра Румянцева подписать такой контракт. В период с 11 по 17 апреля группа «Экозащита» опросила представителей британской государственной ядерной компании БНФЛ (BNFL), государственного управления по атомной энергии Великобритании (UKAEA) и крупнейшего британского хранилища ОЯТ исследовательских реакторов в Доунрее (Dounreay). Представители всех этих организаций ответили, что в первый раз слышат о контракте с Минатомом. Пресс-секретарь Британского управления по атомной энергии (UKAEA) Джун Лав сообщила в своем письме следующее: "UKAEA не осведомлена о каких-либо переговорах с Минатомом об импорте [в Россию] и переработке британского отработавшего ядерного топлива".

### **Переговоры: США**

В 2001 г. Госдепартамент США в своем ответе группе российских и американских экологических организаций сообщил, что вопрос о разрешении ввоза в Россию контролируемого ими ОЯТ «на повестке дня пока не стоит».

Переговоры на тему ввоза "подконтрольного" США ОЯТ в Россию между Росатомом и американским Министерством энергетики могут начаться только после подписания межгосударственного договора о сотрудничестве в ядерной области. Такой договор сейчас не подписан. Между тем, «Известия» в середине 2002 года сообщали, что между чиновниками двух стран проходят консультации по этому вопросу (22, 23).

### **Проект: Иран**

Чиновники Минатома неоднократно заявляли, что Россия будет поставлять ядерное топливо в Иран, а затем вывозить ОЯТ с АЭС в Бушере для последующего хранения в России. (24) Процесс согласования межправительственного договора по этому вопросу проходил в течение 2001-2004 гг. В конце концов, документ был подписан сроком на 10 лет. В нем предусмотрен вывоз ОЯТ из Ирана в Россию (Красноярск-26), который начнется в 2010-2012 гг. Маршрут перевозки включает в себя порты России на Дальнем Востоке.

В соответствие с последними заявлениями Росатома, в 2005-2006 гг. будет рассматриваться новый вариант снабжения Ирана ядерным топливом, который, возможно, изменит план импорта иранского ОЯТ в Россию. Основной идеей плана является организация в Иране совместного предприятия по производству ядерного топлива и, возможно, хранение топлива на этой предприятии.

### **Переговоры: Тайвань, Швейцария, Чехия**

В 2000 году, еще до изменения российского законодательства, Минатом активно вел переговоры о заключению контрактов с Тайванем и Швейцарией на хранение в Красноярском крае около 4 тыс. тонн ОЯТ. Однако в самом Минатоме эту информацию в 2000 году опровергали. Через год факт переговоров все-таки был подтвержден заместителем министра по атомной энергии РФ Валерием Лебедевым. В Тайване переговоры велись с компанией Taipower, а в Швейцарии – с компанией Elektrizitaetgesellschaft Layfenberg AG (25). Лебедев также отметил, что предварительные консультации идут и с рядом других стран. В том числе с Чешской республикой, где работают атомные реакторы российского образца ВВЭР-440. По словам В.Лебедева, ранее в Советский Союз поставлялись партии ОЯТ из Чехословакии, в начале 90-х годов поставки прекратились. В 2001 году Минатом вел переговоры о возобновлении поставок, однако позднее они были приостановлены. (26)

Однако уже в ноябре 2000 г., после переговоров между представителями тайваньского МИДа, Taipower и международной делегацией экологов, было заявлено, что Тайвань больше не рассматривает возможность отправки ядерных отходов в Россию. Представитель ядерной компании Taipower и председатель комиссии по атомной энергии Тайваня опровергли заявления Минатома РФ о том, что страна готовится к экспорту ОЯТ в Россию. Днем ранее группа экологических активистов из России, Тайваня, Японии и Южной Кореи провела в офисе Taipower акцию протеста против возможной транспортировки ядерных отходов из Тайваня в Россию. (27)

### 3. Деятельность по ввозу в РФ ОЯТ и прочих ядерных материалов - существующие контракты, одноразовые операции

Начиная с момента вступления в силу законов, допускающих ввоз ОЯТ (июнь 2001), в Россию прибыло около 12-15 составов с ОЯТ из Украины и Болгарии. Кроме того, в Россию были ввезены небольшие партии ядерных материалов из исследовательских институтов Югославии и Румынии, однако эти услуги выполнялись Минатомом на некоммерческой основе.

Убеждая в 2001 году депутатов ГосДумы одобрить три законопроекта, допускающие ввоз в Россию зарубежного ОЯТ, Минатом настаивал на том, что это принесет в госбюджет около 20 млрд. долл. в течение 10 лет. Согласно этим расчетам, в течение первых четырех лет прибыль от ввоза ОЯТ должна была составить около 8 млрд. долл. Однако, операции с зарубежным ОЯТ в течение 2001-2005 гг. принесли Росатому лишь около 120 млн. долл., что в 66 раз меньше объявленной суммы. Таким образом, подтвердились прогнозы не специалистов Минатома, а независимых экспертов и экологических организаций, которые уже в 2001 году утверждали, что прогнозируемая прибыль атомной индустрии сильно завышена.

#### **События**

В сентябре 2002 года было заключено новое межправительственное соглашение с Украиной, которое открыло путь новому циклу импорта в Россию отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) с болгарской атомной электростанции Козлодуй. Для продолжения ядерных транспортировок между Россией и Болгарией было необходимо разрешение на транзит со стороны Украины, которое и было закреплено в новом договоре.

Комментарии, которые удалось получить от представителя болгарского правительства, дают основания предположить, что за ядерным сотрудничеством с Россией стоит намерение очистить Болгарию от как можно большего количества радиоактивных отходов, и при как можно меньших расходах, прежде чем вступит в юридическую силу членство Болгарии в Европейском Союзе (2007). Это членство повлечет за собой ограничения, не позволяющие отсылать токсичные или радиоактивные отходы в страны, которые руководители Европейского Союза не считают технологически приспособленными для хранения или переработки этих отходов. **(28)**

Первая с 1998 года транспортировка ОЯТ из Болгарии прошла вскоре после изменения российского законодательства. Она была встречена протестами на Украине и в России, где выступления состоялись в семи городах, расположенных на Транссибирской магистрали. В конце ноября 2001 г. в Россию была ввезена 41 тонна облученного ядерного топлива с болгарской атомной электростанции. Пунктом его назначения стал Горно-химический комбинат (ГХК) в Железногорске (Красноярск-26).

В это же время российские экологические организации обнародовали контракт между ОАО "Техснабэкспорт" и АЭС "Козлодуй". На основе этого документа

генпрокуратура РФ уличила Минатом в финансовых махинациях, поскольку зарегистрированная на Вирджинских островах оффшорная фирма Energy Invest and Trade Corporation, названная ответственной за оплату приема ОЯТ Россией, была ликвидирована еще в марте 2001 г. Несмотря на это, болгарское ОЯТ поступило на Железнодорожный ГХК.

В 2002-2005 гг. болгарское и украинское ОЯТ неоднократно доставлялось как на ГХК, так и на «Маяк».

Ввоз болгарского ОЯТ является спорным с экономической точки зрения. ГХК принимает болгарские ядерные отходы на хранение по цене 120 долл/кг. Ранее «Маяк» принимал их на хранение и переработку по 620 долл. за 1 кг в то время, как другие перерабатывающие предприятия (Франция и Великобритания) получают за переработку от 1200 до 2000 долл. В 1998 г. основным идеологом проекта импорта ОЯТ, в то время глава Минатома Евгений Адамов утверждал, что экономическая целесообразность ввоза отходов наступает при цене не менее 1000 долл. Тяжелая экономическая ситуация на «Маяке» подтверждает этот тезис, ведь комбинат принимает ядерные отходы по демпинговым ценам - от 300 долл. за кг (Украина) до 620 долл. за кг (Болгария). По словам директора комбината Виталия Садовникова, в 2002 году переработка ОЯТ не окупала затрат «Маяка» и комбинат получал дотации из бюджета России. **(29)**

### **Ввоз ядерных материалов с исследовательских реакторов**

Ядерные материалы с югославского исследовательского реактора Винца были перевезены в Россию в конце лета 2002 г. Транспортировка была организована наиболее опасным образом - по воздуху. Груз был доставлен в Научно-Исследовательский Институт Атомных Реакторов (НИИАР) в Димитровграде. Операция по транспортировке осуществляется в соответствии с ранее подписанным договором об очистке территории ядерного исследовательского центра, находящегося в 35 км. от Белградского аэропорта. Американское правительство выделило около 10 млн. долл. на организацию вывоза ядерных материалов из Югославии. Россия не получила какой-либо оплаты за услуги по приему ядерных материалов. **(30)**

21 сентября 2003г. осуществлен ввоз в Российскую Федерацию свежего высокообогащенного топлива из Института ядерных исследований (город Петешти, Румыния). Всего было вывезено 50 тепловыделяющих сборок остановленного исследовательского реактора ИРТ-2М (80% обогащения по урану 235) и 150 отдельных ТВЭЛов С-36 (36% обогащения). Общее количество U235 в изделиях составляет 9703,04 г., сумма изотопов урана - 14166,58 г. Перевозка осуществлялась по заказу Международного агентства по атомной энергии, финансировалась за счет Минэнерго США. В настоящее время ядерное топливо поступило в АО «Новосибирский завод химических концентратов». **(31)**

В конце 2003 года планируется очередная транспортировка ядерных материалов с исследовательского реактора Винца. В начале октября в Вене представители Минатома РФ, а также ведомств США, Франции и Германии провели конфиденциальные переговоры о ввозе в Россию ядерных материалов, включая радиоактивные отходы, из бывшей Югославии. В конце ноября российские представители должны сообщить властям Сербии, в компетенции которых находится ядерный исследовательский институт Винца недалеко от

Белграда, о порядке и условиях вывоза ядерных материалов. Количество таких материалов, складированных в Винце, достигает 2 тонн. **(32)**

### *Соппротивление импорту и транспортировкам ОЯТ*

Перед тем, как зарубежное ОЯТ впервые после принятия законов, допускающих его импорт, прибыло на ПО «Маяк» из Болгарии, экологические организации провели первую в истории России масштабную акцию против ядерных транспортировок. 24 октября были проведены акции протеста в Ярославле, Екатеринбурге, Новосибирске, Томске, Белогорске, Биробиджане и Уссурийске, расположенных вдоль Транссибирской магистрали. Многие акции состоялись непосредственно на рельсах Транссиба.

Ввоз ядерных отходов в Красноярск и Челябинск планируется осуществлять с использованием двух крупнейших железнодорожных магистралей России – Транссиба и Южно-Уральского хода. На этих дорогах расположены следующие города: Пенза, Самара, Киров, Пермь, Екатеринбург, Тюмень, Омск, Новосибирск, Иркутск, Чита, Хабаровск, Владивосток и даже Москва.

Росатом предполагал ввезти около 20 000 тонн высоко ОЯТ в течение 10 лет. В среднем, это 2 поезда в неделю, а всего от 670 до 1000 эшелонов, в зависимости от компоновки состава. Сегодня очевидно, что эти планы вряд ли реальны. Вместе с тем, если действия МАГАТЭ по организации в России международного хранилища ядерных отходов увенчаются успехом, то план Росатом может снова оказаться актуальным.

Озабоченность экологов также вызывает ситуация с негодными контейнерами для перевозки ОЯТ, используемыми Минатомом. Учитывая состояние транспортных магистралей и значительно возросшую аварийность на железнодорожном транспорте, в 2000 г. Госатомнадзор запретил перевозить ОЯТ в контейнерах старого типа 11 и 12, которые изготовлены в 1967-1985 годах, так как они не отвечают современным требованиям безопасности. Однако Минатом проигнорировал это решение и продлил сроки действия сертификатов-разрешений на перевозку ОЯТ в контейнерах этого типа. Кроме этого, Госатомнадзор установил факт изготовления транспортных упаковочных контейнеров (ТУК) со значительными отклонениями от утвержденных требований. Контейнеры, которые поступали на разделительные заводы Минатома России (СХК, АЭХК и другие) значительно отличались от опытных образцов, которые прошли испытания и рассматривались в соответствующих организациях при оформлении сертификата-разрешения на транспортный упаковочный комплект ТУК-27. Нередко сотрудники атомной индустрии отказываются соблюдать даже минимальные требования безопасности: например, Госатомнадзор установил факт перевозки грузов с ядерными материалами без каких-либо знаков радиационной опасности (Сибирский химический комбинат, Томск-7). **(34)**

Летом 2002 года экологи из 20 городов России провели серию акций протеста против ввоза отработавшего ядерного топлива на Горно-Химический Комбинат (ГХК) в г. Железногорске. **(35)**

Параллельно с акциями протеста в 2002 году шла кампания по организации краевого референдума за запрещение ввоза ОЯТ в Красноярский край, организованная местными экологическими организациями. В течение трех месяцев инициативной группой активистов было собрано около 90 тысяч подписей жителей за проведение референдума, однако избирком

Красноярского края отбраковал 90% подписей, как недействительные. Судебные разбирательства не привели к существенному изменению ситуации. **(36)** Сбор подписей для референдума сопровождался такими акциями протеста, как выход на железнодорожные рельсы около 600 человек в г. Сосновоборск, расположенном непосредственно около въезда в Железногорск.

В 2001-2002 экологические активисты совершили ряд турне по различным странам (США, Тайвань, Германия, Япония), в ходе которых были организованы встречи с государственными чиновниками и общественными организациями. В ходе встреч российские активисты приводили информацию о массовой оппозиции (93% по данным РОМИР) в России ввозу зарубежного ОЯТ и недемократической позиции российских властей, не реагирующих на общественное мнение. В некоторых странах проводились акции протеста. Активность общественных организаций во многом обусловила настороженное отношение к возможности вывоза ОЯТ в Россию со стороны государств, которые назывались Минатомом в качестве наиболее перспективных клиентов для подобных услуг. **(37)**

#### 4. Существующие мощности по хранению и переработке отработавшего ядерного топлива, а также ситуация созданием новых – изменения в 2001-2003 гг.

Российская Федерация обладает двумя централизованными хранилищами для ОЯТ – на ПО «Маяк» (Челябинская область) и Горно-Химическом Комбинате (Красноярский край). Вместимость – 2500 и 6000 тонн соответственно. По нашим данным, на «Маяке» хранилища заполнены примерно на 90%, на ГХК – не менее 70%. Оба предприятия обеспечивают хранение ОЯТ как с российских, так и с зарубежных АЭС.

В начале марта 2003 г. в Госдуме РФ, в рамках "Правительственного часа" перед депутатами выступил глава Минатома Александр Румянцев, признавший в своем выступлении ряд острых проблем, стоящих перед отраслью. Главной проблемой ядерной промышленности в России Румянцев назвал переработку и захоронение отработавшего ядерного топлива. По словам министра, в хранилищах накоплены миллионы тонн радиоактивных отходов: как низкоактивных, так и высокоактивных. Большая часть отходов содержится в хранилищах и водных бассейнах. Румянцев подчеркнул, что наиболее остро ситуация со складами сложилась на заводе "Маяк" в г. Озёрск Челябинской области. Прежде всего необходимо решить проблему Теченского каскада водоемов, а именно сброса радиоактивных отходов в открытое хранилище, заявил министр. **(38)**

##### **ПО «МАЯК» (ОЗЕРСК, ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Переработка ОЯТ осуществляется в России только на ПО «Маяк». Установка была построена в 1979 году, мощность – 400 тонн. В начале марта 2003 г. на конференции трудового коллектива этого предприятия было заявлено, что по итогам 2002 г. выявилась экономическая неэффективность производства. Доходы от ввоза ОЯТ на Маяке не покрыли расходы завода РТ-1, а износ оборудования комбината составляет более 60%.

По информации, распространенной на конференции трудового коллектива ПО "Маяк", в 2002 году поставки ядерных отходов уменьшились на 16%. Доходы предприятия от переработки ОЯТ в общей структуре доходов составили лишь 13%. **(39)**

28 января 2003 г. главой Госатомнадзора РФ было заявлено, что концерн "Росэнергоатом" проводит работы по расширению мощностей для хранения РАО и ОЯТ на атомных электростанциях России в не достаточном объеме. Также было заявлено, что в 2002 году ГАН РФ принимались меры по недопущению ввоза на территорию Российской Федерации радиоактивных отходов при ОЯТ с АЭС "Козлодуй" (Болгария), а "ПО "Маяк" было отказано в выдаче лицензии на эксплуатацию хранилища жидких радиоактивных отходов (Теченский каскад водоемов) **(40)**. В марте 2003 г. Госатомнадзор РФ задним числом утвердил лицензию для ядерного перерабатывающего комбината "Маяк". Лицензия была получена 5 марта директором предприятия Виталием Садовниковым **(41)**. «Маяк» сбрасывает радиоактивные отходы в открытые водоемы, что запрещено





Контейнеры с отработавшим ядерным топливом на ПО «Маяк» (Озерск, Челябинская обл.)



Бассейн выдержки ОЯТ на ПО «Маяк»



Разгрузка состава с ОЯТ на ПО «Маяк»



Разгрузка состава с ОЯТ на ГХК

Законом об охране окружающей среды. По условиям новой лицензии предприятие обязано прекратить сбросы лишь в 2008-2010 гг.

Интересно, что не все чиновники в системе Минатома негативно оценили действия Госатомнадзора. Например, в конце января критиковать "Маяк" принялся директор Белоярской АЭС Николай Ошканов. Директор Он заявил, что "Маяк" давно уже должен встать на реконструкцию. "На аналогичных предприятиях в Европе, где мне удалось побывать, стоит такая аппаратура, что нашим до нее далеко, - сказал Ошканов, - Я в этом очень хорошо разбираюсь, поэтому могу с уверенностью сказать, что наш "Маяк", по сравнению с европейскими заводами, это как ручной арифмометр и компьютер". **(43)**

В начале 2005 года прокуратура Уральского федерального округа открыла уголовное дело по факту сброса более 60 тысяч кб.м. низкорadioактивных отходов с ПО «Маяк» в открытые водоемы. К этому расследованию были также привлечены экологические организации, к которым сотрудники прокуратуры обратились за информацией о других нарушениях на «Маяке».

Переработка ОЯТ приводит к быстрому увеличению количества радиоактивных отходов: одна тонна переработанного топлива "рождает" около 150-200 тонн радиоактивных отходов дополнительно, и атомная индустрия до сих пор не знает, как решить эту проблему. Общая радиоактивность отходов, накопленных «Маяком», равняется примерно 20 чернобыльским выбросам, т.е. свыше 1 млрд Ки. **(42)**

### **ГОРНО-ХИМИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ (КРАСНОЯРСК-26)**

На ГХК хранится ОЯТ с реакторов ВВЭР-1000 четырех украинских АЭС (Запорожской, Ровенской, Хмельницкой, Южно-украинской) и трех российских (Балаковской, Калининской, Нововоронежской). Перевозится ОЯТ в 110-тонных контейнерах и спецвагонах под охраной. По прибытии эшелона сборки перегружаются на дно хранилища, представляющего собой громадный бассейн. Предполагаемый срок "мокрого" хранения – около 30 лет. Железногорское хранилище эксплуатируется с 1985 года, загружено более чем наполовину. Платежи за хранение ОЯТ составляют половину всего дохода комбината. Вторая половина дотируется из госбюджета. По словам начальника бюро общественной информации ГХК Павла Морозова, 15 процентов заработка ГХК дают российские АЭС, а 35 -украинские. **(44)**

Сейчас на комбинате идет интенсивная разборка зданий так и не достроенного завода РТ-2, поскольку его проект был выполнен 30 лет назад и уже давно устарел. Вместе с этим, хранилище ОЯТ для РТ-2 функционирует. Строительство завода было начато в 1980-х для того, чтобы атомная индустрия получила возможность перерабатывать ОЯТ с реакторов типа ВВЭР-1000. ПО «Маяк» в Челябинской области такие отходы перерабатывать не может по техническим причинам. По словам главы Росатома А.Румянцева, «строительство на ГХК комплекса по переработке ОЯТ может быть завершено не ранее, чем через 20 лет, если вообще будет завершено». **(45).**

В середине октября на ГХК ученые из ведущих НИИ отрасли и специалисты комбината обсуждали технические вопросы реализации проекта строительства на предприятии сухого хранилища отработанного ядерного топлива вместимостью до 30 тысяч тонн. Сейчас разрабатывается новый проект

строительства сухого хранилища ОЯТ на фундаментах разобранных зданий завода РТ-2. По мнению специалистов ГХК, срок сухого хранения отработанных тепловыделяющих сборок составляет примерно 100 лет, тогда как хранить ОЯТ под водой можно только 30 лет. А на комбинате уже есть сборки с 20-летним "стажем". **(46)**

ГХК принимает на хранение ОЯТ в основном с Украины, иногда из Болгарии, а также с российских АЭС. Сотрудничество с Украиной постоянно тормозится в связи с долгами. Например, в 2003 году вместе 4 запланированных эшелонов на предприятие поступило лишь два. В октябре 2003 года министр топлива и энергетики Украины Сергей Ермилов в связи с тяжелым экономическим положением Украины попросил очередную отсрочку. А к концу месяца украинская компания «Энергоатом» заявила о том, что приостанавливает сотрудничество с Россией в области хранения ОЯТ. Задолженность Украины перед бюджетом Красноярского края в 2003 году оценивалась в 10 миллионов долларов **(47)**

### **Социальные программы**

В сентябре 2003 года на заседании постоянной комиссии Законодательного Собрания Красноярского края по промышленности, жилищно-коммунальной политике и коммуникационному комплексу под председательством Виктора Зубарева выступила начальник инспекции Счетной палаты края Надежда Егорова. Она довела до сведения депутатов заключение Счетной палаты по результатам проверки поступлений в краевой бюджет средств за отработавшее ядерное топливо от ФГУП "Горно-химический комбинат" и их целевого использования в 2001-2002 годах. Из 15 объектов здравоохранения и жилищно-коммунальной сферы в эксплуатацию не было введено ни одного (!), хотя их строительство и финансирование ведется за счет средств, поступающих на ГХК, с 1986 года. Результаты проверки показали, что ограниченное бюджетное финансирование этих строек и реконструкций привело к тому, что к 2001-2002 годам они по-прежнему остаются недостроенными, буквально - руинами. При этом остаточная сметная стоимость завершающего этапа строительства составляет 665 млн. руб., а время строительства - 87 лет. Все своевременные платежи ГХК не смогут покрыть заявленную сумму. **(48)**

### **Физическая защита**

Не смотря на общемировую тенденцию повышения уровня физической защиты ядерных объектов после 11 сентября 2001 года, подтвержденных сведений о принципиальном повышении качества физзащиты на объектах Росатома пока нет. Напротив, ряд фактов свидетельствуют о том, что уровень физзащиты остался на низком уровне. Территорию охраняемой зоны ядерного предприятия в Красноярске-26 с завидной регулярностью посещают несанкционированные «гости». В 2002 г. журналисты и экологи даже зафиксировали факт своего проникновения, а затем придали его огласке на одном из телеканалов России (НТВ). Позднее, в отношении того же предприятия был проведен ряд не связанных между собой проверок, имитирующих террористическую активность - сначала местными экологами, а затем Федеральной Службой Безопасности. Обе проверки показали, что охрана предприятия не готова к предотвращению террористических актов.

По-прежнему остается крайне несовершенным уровень охраны некоторых ядерных ЗАТО (закрытых административно-территориальных образований). На охраняемые территории сегодня может несанкционированно проникнуть любой человек, способный заплатить охране несколько сот рублей. В частности, такие сведения неоднократно поступали из ЗАТО Озерск, а также из некоторых других уральских закрытых городов. Напряженной остается социальная ситуация во многих ЗАТО, а также городах, населенных сотрудниками атомных станций, где широкое распространение имеют алкоголизм и наркомания. **(49)**

## **МОГИЛЬНИКИ**

### *ГХК - Канский массив*

Могильники радиоактивных отходов (РАО), вероятно, появятся в России только в Красноярском крае, однако до 2003 года эту информацию распространяли исключительно экологи. Первым из чиновников такое заявление сделал руководитель департамента безопасности, экологии и чрезвычайных ситуаций Минатома России Александр Агапов 29 августа 2003 года в Санкт-Петербурге. **(50)** В 2004-2005 гг. эту информацию в различных выступлениях подтвердили практически все высокопоставленные чиновники Росатома. Известно, что именно в Красноярске-26 планируется обустроить международное хранилище для ОЯТ, основным идеологом которого является Международное Агентство по Атомной Энергии.

Впервые о могильнике недалеко от Красноярска заявила экологическая организация "Экозащита!" осенью 2001 года. По данным экологов, есть и другие места предположительного размещения могильников - в Озерске Челябинской области и на Кольском полуострове. В частности, эти данные подтверждаются многочисленными докладами российских и немецких ученых на конференциях МАГАТЭ. **(51)**

Между тем, красноярский вариант является наиболее проработанным не только в России, но и в США. В 2001 году экологи придали огласке исследование, профинансированное Департаментом энергетики США, в котором шла речь об организации вблизи Красноярска могильника для ОЯТ иностранного происхождения. В нем обсуждался вариант перевозки ОЯТ из Тайваня в Красноярск (начиная с 2012 года). После того, как в январе этот доклад был обнародован британской газетой «Гардиан» (Guardian), представитель Госдепартамента США заявил о том, что подобные планы в данный момент не прорабатываются. Кроме того, Госдепартамент США заявил, что ОЯТ, находящийся под контролем США, не может быть перевезен в Россию по политическим и экологическим соображениям. **(52)**

## **Новая Земля**

В 2002 году Минатом обнародовал план захоронения радиоактивных отходов на Новой Земле (Архангельская область). По данным министерства, стоимость строительства сооружений – около 70 млн. долл. 21 мая на коллегии Минатома было заявлено о намерении складировать на Новой Земле только низко- и среднерадиоактивные отходы, которые в данный момент находятся на Мироновой горе в Северодвинске. Минатом попытался получить финансирование для захоронения ОЯТ на Новой Земле со стороны Северного

Совета (объединение Скандинавских стран). **(53)** Однако летом того же года планы резко изменились. Министр Румянцев заявил, что научные исследования выявили возможность исчезновения вечной мерзлоты из-за потепления климата, а это может привести к утечкам радиоактивных отходов через 100-150 лет. Однако независимые наблюдатели связывают это решение российских властей не с экологической озабоченностью, а с намерением реанимировать в будущем полигон для ядерных испытаний на Новой Земле.



## 5. Заключение

В течение более чем 4 лет с момента подписания президентом В.В. Путиным трех законопроектов, допускающих ввоз ОЯТ, существенных изменений в атомной промышленности не произошло. Отрасль не смогла существенно поправить свое финансовое состояние или открыть новые программы по реабилитации загрязненных территорий. Два основных предприятия, которые занимаются операциями с ОЯТ (ПО «Маяк» и ГХК) являются экономически неэффективными и дотируются из государственного бюджета не менее чем на 50%.

Ситуация с ввозом ОЯТ за 4 года никак не изменилась – у Минатома остались лишь те клиенты, которые были до изменения законов, а переговоры с новыми по разным причинам остаются безуспешными. Более того, наиболее крупный клиент (Украина) продолжает движение в сторону организации хранения ОЯТ на своей территории. Полное прекращение отправки украинского ОЯТ в Россию может произойти в 2006-2007 гг.

Сумма, поступившая на счета Росатома за прием ОЯТ из-за рубежа, за последние 4 года составила около 120 млн. долл., что примерно в 66 раз меньше по сравнению с прогнозом 2001 года. Количество иностранного ОЯТ, поступившего на предприятия Росатома, составляет около 300 тонн.

Важную роль в том, что наращивания импорта ОЯТ не происходит, по-прежнему играют экологические организации, которые в состоянии организовать эффективное международное сотрудничество по предотвращению «торговли отходами», а также мобильно реагировать на действия атомной индустрии. Минатом приложил массу усилий к «нейтрализации» оппонентов ввоза ОЯТ, в т.ч. через попытку организовать «управляемый» диалог с общественностью, что привело к созданию «Общественного совета при Минатоме». Однако в этот совет не вошли многие влиятельные антиядерные группы, которые продолжили активную критику действий министерства. В результате этот совет был расформирован в момент реорганизации (образования Росатома на базе Минатома).

Состояние хранилищ и мощностей по переработке ОЯТ по-прежнему оставляет желать лучшего. На сегодняшний день атомная индустрия располагает местом для хранения примерно 1500 тонн ОЯТ. Этого недостаточно для обеспечения услугами российских АЭС и приема крупных партий иностранного ОЯТ.

Российская атомная индустрия ориентирована на хранение ядерных отходов, а не на переработку, как это неоднократно декларировалось Росатомом. Введение в строй нового завода (РТ-2, ГХК) по переработке ядерных отходов невозможно до 2020 года, а старому (РТ-1, ПО «Маяк») недостает мощности, а также требуется дорогостоящая. С другой стороны, в контрактах Минатома, как правило, отсутствует пункт о возвращении отработавшего топлива или же радиоактивных отходов его переработки. Таким образом, нет никаких гарантий к тому, что ОЯТ, после длительного хранения в России, будет вывезено из страны.

## 6. Источники

1. Деловая Хроника, № 2002/15, 18.04.2002.
2. Информационное агентство «Ореанда», 22.03.2001.
3. Regions.ru, 27.04.2002.
4. Агентство Бизнес Новостей, 30.04.2002.
5. Волгаинформ, 9.07.2002.
6. Анализ событий и тенденций в атомной индустрии 2002 // Антиатом.ру, 16.01.2003.
7. Указ президента РФ № 858 от 31.07.2003.
8. Страна.Ру, 14.06.2001
9. Газета.ру, 22.10.2001
10. НТВ, 13.06.2001
11. Анти-атом пресс 359, 29.03.2002
12. Антиатом.ру, 15.08.2002
13. газета «Сегодня», 01.07.2000
14. Агентство Бизнес Новостей, 21.08.2002
15. Департамент правительственной информации, 30.09.2003
16. Агентство Бизнес Новостей, 30.09.2003
17. Антиатом.ру, 1.10.2003
18. Антиатом.ру, 10.06.2003
19. РБК, 15.05.2003
20. Regions.ru, 14.03.2003
21. Агентство Бизнес Новостей, 10.09.2003
22. Вести-РТР, 05.07.2002
23. Известия, 5.07.2002
24. Вести-РТР, 25.06.2002
25. Газета.ру, 22.08.2001
26. Агентство Бизнес Новостей, 24.09.2001
27. Агентство Бизнес Новостей, 06.11.2001
28. Rusenergy, 25.09.2002
29. Агентство Бизнес Новостей, 16.05.2003
30. Associated Press, 26.08.2002; Bloomberg, 26.08.2002; Антиатом.ру, 26.08.2002
31. Агентство Бизнес Новостей, 23.09.2003
32. Newsru.com, 8.10.2003
33. Вести-РТР, 21.04.2003
34. Regions.ru, 24.10.2001
35. НТВ, 5.07.2002
36. Rusenergy, 21.02.2002
37. Экозащита, 22.11.2003
38. Антиатом.ру, 12.03.2003
39. Агентство Бизнес Новостей, 04.03.2003

40. Агентство Бизнес Новостей, 30.01.2003
41. Встреча с В.Садовниковым, 5.03.2003
42. Антиатом.ру, 6.03.2003
43. Информ-Экология, 2.02.2003
44. REGNUM, 08.04.2003
45. Министр по атомной энергии РФ А.Румянцев // Выступление на встрече с экологическими организациями, 10.04.2002
46. Антиатом.ру, 15.10.2003
47. РИА "Пресс-Лайн", Антиатом.ру, 14.10.2003
48. Независимое Информационное Агентство, 5.09.2003; Антиатом.ру, 5.09.2003
48. Анализ событий и тенденций в атомной индустрии 2002 // Антиатом.ру, 16.01.2003.
50. Агентство Бизнес Новостей, 29.08.2003
51. REGNUM, 5.09.2003; Антиатом.ру, 5.09.2003
52. Экозащита, 5.02.2001
53. Регионы.ру, 24.05.2002



## 7. Приложение

### **«Список портов РФ, которые будут использованы для ввоза ОЯТ»**

РАСПОРЯЖЕНИЕ от 14 октября 2003 г. N 1491-р

Утвердить прилагаемый перечень морских портов Российской Федерации, в которые разрешается заход (выход) судов и иных плавсредств, транспортирующих ядерные материалы, радиоактивные вещества и изделия, их содержащие, в транспортных упаковочных комплектах.

Председатель Правительства Российской Федерации М.Касьянов

УТВЕРЖДЕН распоряжением Правительства Российской Федерации от 14 октября  
2003 г. N 1491-р

ПЕРЕЧЕНЬ морских портов Российской Федерации, в которые разрешается заход (выход) судов и иных плавсредств, транспортирующих ядерные материалы, радиоактивные вещества и изделия, их содержащие, в транспортных упаковочных комплектах:

- Архангельский морской торговый порт, г.Архангельск
- Порт, г.Большой Камень
- Владивостокский морской торговый порт, г.Владивосток
- Высоцкий морской торговый порт, г.Высоцк
- Морской порт Диксон, пос.Диксон
- Морской порт Дудинка, г.Дудинка
- Морской торговый порт Калининград, г.Калининград
- Кандалакшинский морской торговый порт, г.Кандалакша
- Мурманский морской торговый порт, г.Мурманск
- Морской торговый порт Певек, г.Певек
- Морской торговый порт Провидения, Чукотский автономный округ, пос.Провидения
- Морской торговый порт Санкт-Петербург, г.Санкт-Петербург
- Морской порт Усть-Луга, Ленинградская область.



Акция против ввоза урановых «хвостов». Екатеринбург, Август 2005.



Акции против ввоза ОЯТ. Посольство Венгрии в Москве. Площадь Ленина в Челябинске.



Акция против ввоза ядерных отходов у резиденции губернатора Челябинской обл., 2000.

## **Часть 2. До-обогащение урановых «хвостов»: Россия в роли свалки для западных ядерных корпораций**

Начиная с 1996 года, западно-европейские компании по обогащению урана Urenco и Eurodif отправляют обеденные урановые хвосты в Россию на дообогащение. В России эти материалы используются в циклическом урано-обогащительном процессе вместо природного сырья. В результате процесса дообогащения получают в основном эквивалентный природному уран и некоторое количество низкообогащенного реакторного урана. Эти продукты отправляются обратно Urenco и Eurodif, в то время как вторичные отходы, возникшие в процессе дообогащения, остаются в России, где подвергаются повторному дообогащению с целью получения урана, приближенного по составу к природному, и/или слегка обогащенному.

Последний затем смешивается с высоко-обогащенным оружейным ураном для получения низко-обогащенного уранового реакторного топлива. Отходы, возникающие в конечном итоге, объем которых равен, по крайней мере, 2/3 объема исходного импортированного материала, остаются в России.

В данном документе собрана немногочисленная информация по этому таинственному бизнесу, представлен его массовый баланс, рассмотрены его скрытые экономические и политические нюансы. Определены три движущие силы: цель компаний Urenco и Eurodif избежать трат, связанных с утилизацией хвостов; нехватка урана в России; а также торговые ограничения для российских обогащательных услуг.

## 1. Обедненный уран: замалчиваемая проблема отходов

### 1.1. Обогащение урана: происхождение обедненного урана

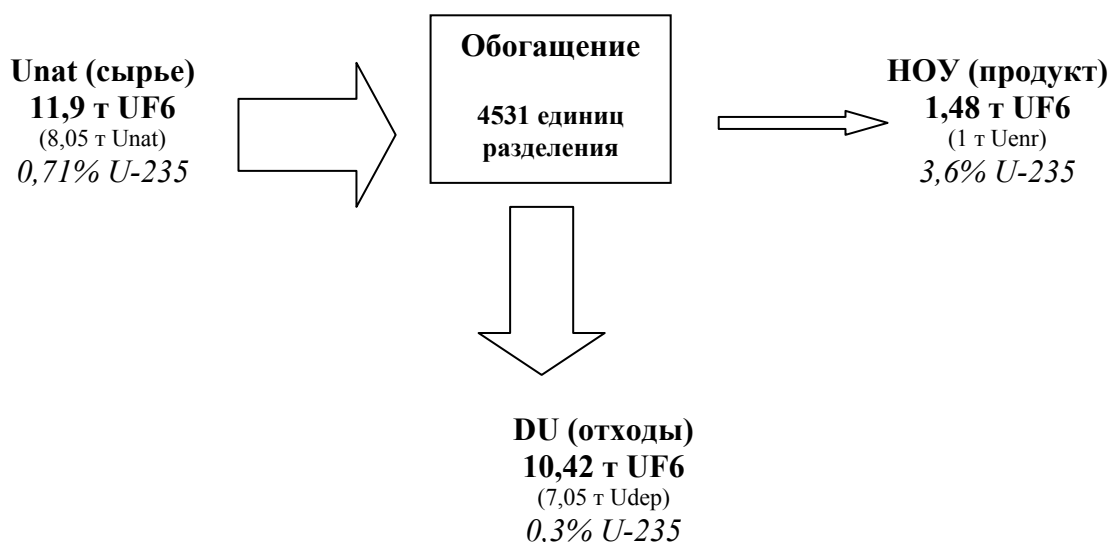
Для того чтобы использовать уран в качестве топлива для легко-водного реактора, его необходимо обогатить, т. е. повысить процентное содержание расщепляющегося изотопа урана U-235 с 0,71% в природном уране до 3-5%. В настоящее время применяются две технологии обогащения урана: метод диффузии и метод центрифуги. Обе требуют предварительного обращения урана в газообразную форму – гексафторид урана (UF<sub>6</sub>). Обогащенный UF<sub>6</sub> затем обращается в UO<sub>2</sub> для дальнейшей переработки в ядерные топливные сборки. Таблица 2 дает информацию – частично устаревшую – о действующих обогатительных мощностях в мире.

В процессе обогащения производится не только обогащенный продукт, но и отходы («хвосты») гексафторида урана с низким содержанием U-235 (0,2% - 0,35%) - обедненный уран (DU). Остаточное содержание U-235 («степень обогащения хвостов») в обедненном уране является экономическим параметром, который можно использовать в зависимости от стоимости свежего природного урана (выраженной в долларах за фунт U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) и стоимости обогащения (выраженной в долларах на единицу разделения (изотопов)). В таблице 1 показан типичный массовый баланс процесса обогащения. Как можно увидеть, объем истощенных урановых отходов приблизительно в семь раз превышает объем обогащенного уранового продукта. 88% используемого материала превращается в окончательные отходы - хвосты. В таблице 3 представлены типичные изотоповые составы урана.

**Таблица 1**

**Типичный массовый баланс урано-обогажительного процесса**

(на т обогащенного урана, степень обогащения продукта - 3,6%, степень обогащения хвостов – 0,3%)



**Таблица 2****Урано-обогащительные мощности в мире**

| Страна  | Владелец / контролер              | Название предприятия / местоположение  | Мощность (а) [млн. единиц разделения] |
|---|-----------------------------------|--|---------------------------------------|
| <b>Предприятия, работающие по технологии газовой диффузии</b> |                                   |  |                                       |
| Китай   | CNNC                              | Lanzhou  | 0,90                                  |
| Франция   | Eurodif                           | Tricastin  | 10,80                                 |
| США   | U.S. Enrichment Corp.             | Paducah, Kentucky  | 11,30                                 |
| <i>Всего по предприятиям такого типа</i>                      |                                   |  | <i>23,00</i>                          |
| <b>Предприятия, работающие по технологии центрифуги</b>       |                                   |  |                                       |
| Китай   | CNNC                              | Hanzhong   | 0,50                                  |
|   |                                   | Lanzhou  | 0,50                                  |
| Германия  | Urenco                            | Gronau   | 1,46                                  |
| Япония  | JNC                               | Ningyo Toge  | 0,20                                  |
|   | Japan Nuclear Fuel Limited (JNFL) | Rokkasho-mura  | 1,05                                  |
| Нидерланды  | Urenco                            | Almelo   | 1,95                                  |
| Россия  | Росатом                           | Уральский электрохимический комбинат (УЭХК), Новоуральск (бывший Свердловск-44, около Екатеринбурга) | 7,00                                  |
|   |                                   | Сибирский химический комбинат (СХК, Северск (бывший Томск-7)   | 4,00                                  |
|   |                                   | Электрохимический завод (ЭХЗ), Зеленогорск (бывший Красноярск-45)                                    | 3,00                                  |
|   |                                   | Анграсский электролитический химический комбинат (АЭХК), Ангарск                                     | 1,00                                  |
| Великобритания  | Urenco                            | Capenhurst   | 2,44                                  |
| <i>Всего по предприятиям такого типа</i>                      |                                   |  | <i>23,10</i>                          |
| <b>ВСЕГО</b>  |                                   |  | <b>46,10</b>                          |

(а) номинальная мощность

**Таблица 3****Типичные изотопные составы урана [процент по массе]**

|                                    | U-235   | U-234   | U-238   |
|------------------------------------|---------|---------|---------|
| Обедненный уран - DU (0,2%)        | 0,200%  | 0,0009% | 99,799% |
| Природный уран                     | 0,711%  | 0,0053% | 99,284% |
| Низкообогащенный уран - НОУ (3,5%) | 3,500%  | 0,0288% | 96,471% |
| Высокообогащенный уран - ВОУ (93%) | 93,000% | 1,0100% | 5,990%  |

Примечание: DU, НОУ и ВОУ, полученные в результате обогащения природного урана.





**Ангарский Электро Химический Комбинат (АЭХК, Ангарск, Иркутская обл.)**



**АЭХК**



**Новоуральск (Свердловск-44)**



**Сибирский Химический Комбинат (Томск-7)**



**Зеленогорск (Красноярск-45)**

## 1.2. Баллонное хранение обедненного гексафторида урана

### Объем хранимого материала

Большая часть произведенного к настоящему времени обедненного урана хранится в виде UF<sub>6</sub> на открытых площадках в стальных баллонах – так называемых баллонных площадках, расположенных при обогатительных заводах. В баллоне содержится до 12,5 тонн UF<sub>6</sub>. Опись мировых запасов обедненного урана дана в таблице 4. Но, к сожалению, там представлены неполные и устаревшие данные. Например, только в США за период с апреля 2003 года накопилось около 739 тысяч тонн обедненного урана, хранимого в баллонах в виде UF<sub>6</sub>, а не 480 тысяч тонн, как указано в таблице [USEC Apr. 11, 2003]

**Таблица 4**

#### *Мировые запасы обедненного урана*

*(т U в виде UF<sub>6</sub> на конец 1999, если не указано иначе)*

|                  | Запасы [т U] | Примечания   |
|------------------|--------------|--|
| США              | 480 000      | Середина 2000  |
| Россия           | 460 000      | 10 000 тонн из которых в металлической и оксидной форме      |
| Франция          | 190 000      | 140 000 тонн из которых в виде U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> |
| Великобритания   | 30 000       | только не компании Urenco (BNFL)                             |
| Urenco           | 16 000       | В Великобритании, Нидерландах и Германии                     |
| Япония           | 10 000       | На февраль 2001  |
| Китай            | 2 000        | На конец 2000  |
| Германия         | 300          | Только не Urenco (ANF)                                       |
| Республика Корея | 200          |  |
| Южная Африка     | 73           | В основном в металлической и оксидной форме                  |
| Всего в мире     | 1 188 573    |  |

Источник: [NEA 2001]

### Опасности хранения DU на баллонных площадках

При атмосферной температуре UF<sub>6</sub> представляет собой кристаллизованное твердое вещество, но уже при температуре +56,4°C переходит в газообразную форму. UF<sub>6</sub> отличается высокой способностью к вступлению в реакцию: при его реакции с водой (влажность воздуха!) возникает высоко-коррозионная гидрофторидная кислота и высоко-токсичный фторид уранила (UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>). В случае утечки UF<sub>6</sub>, гидрофторидная кислота может вызвать кожные ожоги, а при вдыхании – повреждения легких. Кроме того, уран как токсичное вещество оказывает воздействие на почки и является источником радиации (альфа-излучение).

Радиоактивная опасность для работников баллонных площадок присутствует и в обычных условиях. Хотя опасность урана как источника радиации сама по себе невелика, за несколько месяцев хранения образуются продукты распада, являющиеся источником гамма-радиации. Кроме того, некоторое количество нейтронной радиации возникает в результате так называемых ядерных (альфа, n)-реакций, возникающих во

фторном компоненте UF<sub>6</sub> под влиянием альфа-радиации урана. 20% радиационного фона вблизи баллонов с обедненным ураном приходится на долю нейтронной радиации [Urenco 2002].

Находящиеся на площадках баллоны подвержены коррозии. Необходимо периодически проверять целостность баллонов и обновлять их покраску. Эти процедуры требуют перемещения баллонов, что в свою очередь повышает вероятность повреждения подвергшихся коррозии баллонов.

Если баллоны, содержащие UF<sub>6</sub>, попадут в зону возгорания на 30-60 минут и будут повреждены огнем, может произойти внезапный выброс большого количества UF<sub>6</sub>. Если все содержимое баллона попадет в атмосферу, смертельная концентрация токсичных веществ в воздухе будет сохраняться в радиусе 500-1000 метров.

При оценке возможных рисков, в качестве худшего сценария может рассматриваться падение на баллонную площадку вышедшего из строя самолета.

### **1.3. Истощенный уран: отходы или ресурс?**

Обедненный уран со степенью обогащения 0,3% все еще содержит 42% расщепляемых изотопов урана U-235, обнаруживаемых в природном уране. Извлечение U-235 технически возможно, но экономически неосуществимо при нынешних ценовых и рыночных условиях. Ядерное лобби утверждает, что перемены на рынке или появление новых обогатительных технологии могли бы создать экономические условия для извлечения остаточного U-235. Следовательно, обедненный уран должен рассматриваться не как отход, а как будущий ресурс, который необходимо помещать в хранилища.

Однако мнения индустрии и органов надзора по этому вопросу выглядят не вполне определенными:

- 5 ноября 1998 года французский апелляционный суд постановил, что обедненный уран есть не отход, а «сырье, подлежащее прямому использованию в разнообразных целях», и, соответственно, DU подлежит хранению в форме U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> в специальных хранилищах, согласно просьбе материнской компании Eurodif – французской Cogema (см. ниже).
- 8 сентября 2004 года Комиссия по ядерному урегулированию США представила свое видение обедненного урана как отходов, и, соответственно, DU следует направлять в Департамент энергетики для захоронения, согласно просьбе американской дочерней компании Urenco - Louisiana Energy Services (LES).
- 26 сентября 2001 года Департамент здравоохранения штата Техас одобрил проект могильника DU на объекте, не имеющем даже лицензии на захоронение радиоактивных отходов, согласно просьбе компании Philotechnics Ltd.

Кажется странным, что позиция американской дочерней компании Urenco диаметрально противоположна позиции компании Cogema во Франции, но в данном случае LES интересовала возможность избавиться от хвостов самым дешевым в США способом. Кроме того, похоже, что мнение органов надзора скорее подчиняется конкретным пожеланиям ядерной индустрии, чем какой-либо общей концепции.

### **1.4. Возможные способы использования обедненного урана**

Когда-то уран использовался как красящее вещество в керамике. В настоящее время уран используется в сталеплавительной промышленности и как катализатор в химических процессах. Благодаря высокой плотности урана (18,9 г/см<sup>3</sup>, что на 67%



выше плотности свинца и лишь чуть ниже плотности вольфрама), он может использоваться в производстве таких металлических конструкций, как противовесы и маховые колеса. Например, при строительстве первых 550-ти самолетов Боинг-747 контргрузы из обедненного урана были использованы для весового баланса подвесного грузоподъемника и рулевой конструкции. Однако использование обедненного урана в виде металла имеет свои недостатки: при каждой плановой проверке самолетов более 20% урановых грузов, несмотря на никелево-кадмиевое покрытие, оказывались подверженными коррозии и должны были быть удалены [USNRC 1983]. В более современных моделях самолетов использование противовесов снижено благодаря усовершенствованным технологиям и дизайну. В военном секторе уран в виде плотного металла используется в изготовлении танковой брони.

В процессе изготовления металлических деталей из урана создает проблему способность мелких металлических частиц воспламеняться. Эти частицы – мельчайшие металлические стружки и осколки – обладают способностью спонтанного возгорания, что вызывает множество несчастных случаев. Вдыхание пыли, образующейся в очаге возгорания урановых металлических частиц, способствует получению высоких доз радиации.

Еще один способ использования высокой плотности обедненного урана – в изготовлении радиационно-защитных конструкций: хотя уран сам по себе – альфа-радиоактивный материал, он подходит для защиты от проникновения гамма-радиации больше, чем свинец.

Для всех способов применения урана, кроме использования его в качестве ядерного топлива, низкое содержание изотопа урана-235 не имеет значения.

К настоящему времени, ни один из способов гражданского применения обедненного урана не привел к заметному сокращению запасов этого материала; не достиг в этом успеха и военный сектор, который является основным потребителем обедненного урана. Поэтому Департамент энергетики США, обеспокоенный усугублением проблемы содержания баллонных площадок, приступил к осуществлению первых шагов в направлении широкомасштабного использования обедненного урана в гражданских целях. В июле 1993 года, согласно описи ДЭ, в США в 46422 баллонах содержалось 559 тысяч тонн обедненного UF<sub>6</sub>; а в 1998-м ДЭ принял под свою ответственность еще 137 тысяч тонн (11400 баллонов), произведенных USEC. Вариант, которому ДЭ отдает предпочтение, состоит в том, чтобы использовать весь имеющийся в наличии материал в форме металла или оксида в основном для радиационной защиты в контейнерах для хранения отработавшего ядерного топлива или высоко-радиоактивных отходов, а также для других промышленных целей, требующих дальнейшей разработки. Таким образом, обедненный уран, сейчас находящийся на немногочисленных объектах, распространится повсеместно через широкий спектр предметов и материалов. ДЭ планирует строительство двух новых предприятий (стоимостью около 200 млн. долл. каждое) по переводу UF<sub>6</sub> в более стабильные формы, пригодные для производства или для захоронения.

### **1.5. Долговременное хранение или захоронение**

Та часть обедненного урана, которая не найдет своего применения, должна будет быть захоронена или помещена на долгосрочное безопасное хранение для возможного использования в будущем.

Для долгосрочного хранения или захоронения обедненный UF6 должен быть переведен в менее активную химическую форму, например, UF4, U3O8 или UO2. UF4 имеет то преимущество, что может быть легко превращен в UF6, в то время как U3O8 – наиболее стабильная форма, существующая также в природных минералах.

### **Проект долгосрочного хранилища обедненного урана в Bessines (Франция)**

Французская ядерная компания Cogema первой выдвинула идею долгосрочного хранения своего обедненного урана в форме оксида. Обедненный уран компании хранится в виде U3O8 на заброшенной урановой шахте в Bessines-sur-Gartempe (Haute Vienne) около Лиможа. Опираясь на решение апелляционного суда, поддержавшего проект хранения обедненного урана на том основании, что этот материал является скорее сырьем, чем отходом, 12 ноября 1998 года Cogema отправила в Bessines первую партию DU.

Обедненный уран компании Cogema возникает в процессе работы обогатительного предприятия компании Eurodif - Tricastin в долине Роны (метод газовой диффузии). Остаточное содержание U-235 (степень обогащения хвостов) в нем равно 0,2-0,3%. Для хранения UF6 переводится в химически более стабильную форму U3O8 на заводе Pierrelatte. Затем материал железнодорожным путем доставляется в Bessines и в виде порошка хранится в железных контейнерах. Контейнеры (по 8,5 или 11 тонн каждый) содержатся в 11 специальных зданиях. В каждом здании может разместиться 2500 контейнеров; заложенная вместительная способность хранилища - 199900 тонн, при общем объеме инвестиций 9,15 млн. евро на 15 лет. Максимальная доза радиации, которую человек может получить, находясь у забора предприятия, оценивается в 0,7 мЗв в год.

### **Проект хранилища обедненного урана компании Urenco в Gronau**

Тем временем и Urenco планирует хранить обедненный уран в виде оксида: вместе с проектом увеличения мощностей своего предприятия в Гронау (Германия) – обогатительного завода до 4 миллионов единиц разделения в год, Urenco подала заявку на строительство двух новых помещений для хранения своего обедненного урана. В настоящее время он хранится в виде гексафторида урана на расположенных при заводе баллонных площадках, рассчитанных на 38100 тонн UF6. Для последующего хранения обедненный уран должен быть переведен в более стабильную форму U3O8 на заводе Pierrelatte во Франции. Вместительная способность зданий будет рассчитана на 50 тысяч тонн U3O8. [Urenco 2002]

### **Проект хранилища обедненного урана компании Urenco в Capenhurst**

На своем объекте в Capenhurst (Великобритания), Urenco планирует разместить урановые хвосты в виде UF6 до 2020 года. Затем, со скоростью 3000 тонн урана в год, начнется и продлится 2042 года перевод материала в форму U3O8. U3O8 будет храниться в «соответственно оборудованных помещениях» в Capenhurst. Согласно плану, транспортировка U3O8 к месту окончательного хранения начнется в 2120 году (!), когда хранилище будет готово, а закончится в 2142. [HSE 2004]

### **Стоимость захоронения**

Что касается стоимости окончательного захоронения обедненного урана, здесь могут быть даны только предварительные подсчеты, поскольку ни одного крупного могильника для хвостов пока не существует. Практически весь обедненный уран,

произведенный к настоящему времени, хранится во временных хранилищах и ждет решения относительно его окончательного захоронения.

Доклад под названием «Анализ стоимости долгосрочного обращения с обедненным гексафторидом урана», выполненный ДЭ США, дает анализ стоимости нескольких вариантов. Один из них, наиболее многообещающий с точки зрения защиты окружающей среды, предлагает захоронение обедненного урана в форме  $U_3O_8$  в зацементированной шахте. Стоимость этого варианта оценивается в 4,57 долл. на 1 кг  $UF_6$ , см. таблицу 5 [Elayat 1997]. Но даже в этом варианте остается неясным, как будут удовлетворены требования к контейнерам для долгосрочного хранения урана и продуктов его распада (таких, как радий).

В 2003 году USEC, американская уранообогатительная компания, представила в ДЭ США еще более низкие расчеты затрат, связанных с захоронением своих хвостов в 2004: 2,99 долл. / кг U, плюс транспортные расходы в размере 0,21 долл. / кг U [USEC 2003]. Для  $UF_6$  это соответствует 2,02 и 0,14 долл. / кг  $UF_6$ .

В сводных балансах компании Urenco в качестве стоимости захоронения хвостов представлена цифра 7,03 евро на 1 кг урана (см. ниже). Что касается немецкого отделения Urenco, расчеты должны вестись на основе проекта хранилища для высоко-активных отходов в Горлебене, поскольку, хотя обедненный уран и пригоден для хранения в хранилище для низко-активных отходов, единственное в Германии хранилище низко-активных отходов, «Schacht Konrad», сможет принять всего около 100 тонн обедненного урана. [Wingender 1994].

**Таблица 5**

**Предварительная стоимость захоронения обедненного  $UF_6$  со скидкой (ДЭ США)**

(Вариант: захоронение в виде  $U_3O_8$ , зацементированного в шахте, сухая дефторизация w/AHF Prod.)

|                                    | Общая стоимость<br>для 560 000 т $UF_6$ | Стоимость на кг материала |              |
|------------------------------------|---|---------------------------|--------------|
|                                    | [млн. долл.]                            | [долл./кг $UF_6$ ]        | [долл./кг U] |
| Продолжительное хранение           | 197                                     | 0,35                      | 0,52         |
| Транспортировка                    | 702                                     | 1,25                      | 1,85         |
| Перевод в стабильную хим.<br>форму | 267                                     | 0,48                      | 0,71         |
| Захоронение                        | 1395                                    | 2,49                      | 3,69         |
| <b>ВСЕГО</b>                       | <b>2561</b>                             | <b>4,57</b>               | <b>6,77</b>  |

Источник: [Elayat 1997], стоимость на кг материала добавлена

Окончательная стоимость захоронения обедненного урана в Горлебене оценивается в приблизительно 10,2 долл. на 1 кг  $UF_6$  в отвалы в виде  $U_3O_8$ , или в 22,5 долл. на 1 кг  $UF_6$  в зацементированном могильнике в виде  $U_3O_8$  (или 15,1 и 33,3 на 1 кг урана содержащегося в  $UF_6$  соответственно).

(Эти подсчеты основаны на следующих цифрах: стоимость хранения 200-литрового контейнера на хранилище высоко-активных отходов в Горлебене оценивается в 7670 евро; объем, требуемый для захоронения хвостов в виде  $U_3O_8$  в контейнерах, составляет 550 литров/тонн  $U_3O_8$  для зацементированного могильника и 250 литров/тонн  $U_3O_8$  для захоронения в отвалы; стоимость перевода  $UF_6$  в  $U_3O_8$  – 1, евро за кг  $UF_6$ ; 1 доллар = 0,79 евро).

Сравнение предварительных расчетов стоимости захоронения хвостов демонстрирует их необыкновенно широкий диапазон. И становится ясно, что для немецкого отделения Urenco затраты неприемлемы, так как они будут забирать около половины поступлений от обоганительного бизнеса. Этим можно объяснить, почему немецкое отделение Urenco торопится во что бы то ни стало избавиться от своих урановых хвостов, иначе ему будет не выжить на рынке.

**Таблица 6**

**Предварительная стоимость захоронения хвостов**

(только перевод в хим. форму и захоронение, без скидок)

|   | <b>Стоимость<br/>захоронения хвостов (а)<br/>[долл./кг UF<sub>6</sub>]</b> | <b>Процент от стоимости<br/>обогащения (б)</b> |
|---|--|--|
| USEC  | 2,02   | 4,2%   |
| US DOE (в виде U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ,<br>зацементированного в шахте) | 2,97   | 6,2%   |
| Расчеты Urenco (в виде U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )                        | 6,02   | 12,6%  |
| Горлебен (в виде U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , в отвалы)                    | 10,20  | 21,4%  |
| Горлебен (в виде U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ,<br>зацементированного)       | 22,50  | 47,0%  |

а) 1 долл. = 0,79 EUR

б) 110 долл./SWU, хвосты по 2,3 кг UF<sub>6</sub>/SWU (степень обогащения продукта 3,6%; степень обогащения хвостов 0,3%)

## 2. Дообогащение обедненных урановых хвостов

### 2.1. Обогащение хвостов – сделка

Как это ни странно, но извлечение остаточного U-235, содержащегося в обедненном уране, уже не дело будущего: оно практикуется еще с 1996 года, хотя пока ни новых высокоэффективных технологий обогащения не появилось на рынке, ни стоимость обогащения не снизилась. Обедненный уран, поступающий в основном от европейских уранообоганительных компаний Urenco и Eurodif, обогащается в России. Компания Urenco владеет тремя обоганительными предприятиями (работающими по технологии центрифуги) в Capenhurst (Великобритания), Almelo (Нидерланды) и Gronau (Германия); а Eurodif, дочерняя компания Cogema (Areva Group), имеет обоганительный завод Tricastin (технология диффузии) во Франции (Pierrelette), см. таблицу 2 на стр.3. Данные о владельцах компаний Urenco и Eurodif приведены в таблицах 7 и 8 соответственно.

Для обогащения хвостов в основном используется не природный уран, а излишки производства принадлежащего Росатому обоганительного (метод центрифуги) Уральского электрохимического комбината (УЭХК, бывший Свердловск-44) в Новоуральске возле Екатеринбурга. Росатом - Российское федеральное агентство по атомной энергии (бывший Минатом). Хвосты подвергаются процессу дообогащения, в результате чего получается уран с природным содержанием U-235 – 0,71%. Затем продукт отправляется обратно компаниям-импортерам для дальнейшего обогащения до уровня реакторного топлива.

**Таблица 7****Данные о владельцах Urenco Ltd.**

| Акции | Владелец                              | Материнская компания                         |
|-------|---------------------------------------|--|
| 33,3% | BNFL Enrichment                       | 100% British Nuclear Fuels plc. (BNFL)       |
| 33,3% | Ultra-Centrifuge Nederland N.V. (UNC) |  |
| 33,3% | Uranit GmbH                           | 50 % RWE Power AG<br>50% E.ON Kernkraft GmbH |

Примечание: Британские и голландские вклады принадлежат своим правительствам

**Таблица 8****Данные о владельцах Eurodif SA**

| Доля    | Владелец                       | Материнская компания                                  |
|---------|--------------------------------|---|
| 44,653% | COGEMA (Areva Group) (Франция) |   |
| 25%     | SOFIDIF                        | 60% COGEMA (Areva Group) (Франция)<br>40% OEAI (Иран) |
| 11,111% | ENUSA (Испания)                |   |
| 11,111% | SYNATOM (Бельгия)              |   |
| 8,125%  | ENEA (Италия)                  |   |

Примечание: все вклады COGEMA в Eurodif – 59,653%

## Доступные факты по дообогательному бизнесу

Данные, касающиеся дообогательного бизнеса, хотя он в настоящее время имеет крупные масштабы, труднодоступны. В России вся информация по этому вопросу является конфиденциальной; а западно-европейские обоганительные компании, Urenco and Eurodif, мягко говоря, не слишком общительны. В недавнем ежегодном отчете Urenco не приведены данные ни по объемам производства, ни по мощностям имеющихся предприятий, не говоря уже о таких интересных цифрах, как количество хвостов и степень их обогащения.

Только разрозненные цифры встречаются то здесь то там, большая часть которых позаимствована из информации, изначально опубликованной компанией RWE Nukem. Более того, не всегда ясно, к чему относятся цифры, касающиеся объема продукта, - к количеству самого гексафторида урана или к количеству содержащегося в нем урана. С другой стороны, технические аспекты процесса обогащения урана хорошо разработаны и позволяют определить (или хотя бы предположить) отсутствующие величины.

Вот доступная общественности информация:

### 1) Сделки по дообогательному бизнесу между Urenco / Eurodif и Росатомом:

- Urenco и Eurodif шлют в Россию по 7 тысяч тонн урановых хвостов для обогащения [NF, 12 мая 2003]. Что касается хвостов немецкого отделения

компании Urenco, есть информация по местам их назначения в России, см. таблицу 9.

- Хвосты компании Urenco's имеют степень обогащения 0,3%, Eurodif – 0,35%. [NF, May 12, 2003]
- Urenco и Eurodif получают обратно по 1,1 тысячи тонн дообогащенного эквивалентного природному урана (U<sub>nat</sub>), содержащегося в UF<sub>6</sub>. [NF, 12 мая 2003]
- Примерно половина общих 2,2 тысяч тонн дообогащенного U<sub>nat</sub>, получаемого Urenco и Eurodif, используется на предприятиях Евросоюза (см. таблицу 19 на стр.18), остальное экспортируется. [ESA AR 1998]
- Кроме того, Eurodif получает обратно 130 тонн урана, обогащенного до 3,5%, содержащегося в UF<sub>6</sub>. [NF, 12 мая 2003]
- Росатом тратит 2,58 млн. единиц разделения на эту дообоганительную сделку с Urenco и Eurodif. [Bukharin 2004]
- За дообогащение Росатом получает не по рыночной цене, а предположительно 20 долл. за ед. разд. [Bukharin 2004]
- Вторичные хвосты (отходы процесса дообогащения) остаются в России. [BT-Drs. 13/8810] [Bukharin 2004]

## 2) Использование вторичных хвостов Росатомом:

- Росатом подвергает вторичные хвосты повторному дообогащению в своих целях.
- Хвосты, получающиеся в результате повторного обогащения, истощены до 0,1%. [Bukharin 2004]
- Таким образом Росатом получает дополнительные 3300 тонн [?] дообогащенного эквивалентного природному урана в год, которые может использовать или продавать по своему усмотрению; как минимум часть Росатом использует для производства материала (степень обогащения 1,5%), пригодного для разбавления ВОУ (см. ниже). [NF, May 12, 2003] [Bukharin 2004]

## 3) Общий объем обогатительных услуг, предоставленных Росатомом Urenco / Eurodif:

- Ежегодно Росатом тратит 7 миллионов единиц разделения на дообогащение по пунктам 1) и 2). [Bukharin 2004]

Примечание: В дополнение, Росатом также дообогащает хвосты из собственных запасов обедненного урана; этот процесс здесь не рассматривается.

Детальный анализ (см. Приложение) показывает, что, на самом деле, эта информация позволяет составить убедительный массовый баланс для всего дообоганительного бизнеса, при одном главном допущении: цифра в 3300 тонн дообогащенного урана, получаемого Росатомом на свое усмотрение, должна рассматриваться как количество UF<sub>6</sub>, а не как количество урана, содержащегося в нем (2231 тонн U). Некоторая незначительная разница в ряде показателей может объясняться значительными округлениями. Все дальнейшие заключения в этом документе основываются на представленном массовом балансе.

**Таблица 9****Экспорт обедненного урана из Германии в Россию с целью дообогащения [т U в виде UF<sub>6</sub>]**

| Год             | Место назначения                               |                           |                                      | Всего    |
|-----------------|--|---------------------------|--------------------------------------|----------|
|                 | Уральский электрохимический завод, Новоуральск | Сибирская группа, Северск | Ангарский электролитический, Ангарск |          |
| 1991 - 1995     | нет  |                           |                                      |          |
| 1996            |  |                           |                                      | 502,395  |
| 1997            |  |                           |                                      | 2404,585 |
| 1998            | 1893,100                                       | 201,069                   | 133,956                              | 2228,125 |
| 1999            | 1574,520                                       | 569,312                   | 284,777                              | 2428,608 |
| 2000            | 1305,896                                       | 200,740                   | 251,273                              | 1757,909 |
| 2001, I квартал |  | 284,569                   | 133,863                              | 418,433  |

*Источник: BT-Drs. 14/5638 (23 марта 2001), 14/6692 (16 июля 2001)*

## 2.2. Массовый баланс дообогачительного процесса

Ключевые величины массового баланса представлены в таблице 10 (дообогащение хвостов компании Urenco) и таблице 11 (Eurodif).

### Анализ варианта захоронения хвостов

Важный аспект дообогачительной сделки с Россией заключается в том, что она открывает для Urenco и Eurodif перспективу захоронения произведенных этими компаниями хвостов.

Для производства 7 тысяч тонн хвостов, отправляемых в Россию, Urenco нужно истратить около 4,5 млн. ед. разд. Ровно столько Urenco произвела в 2000 году, но в последующие годы объем производства вырос благодаря увеличению мощностей, см. таблицу 12.

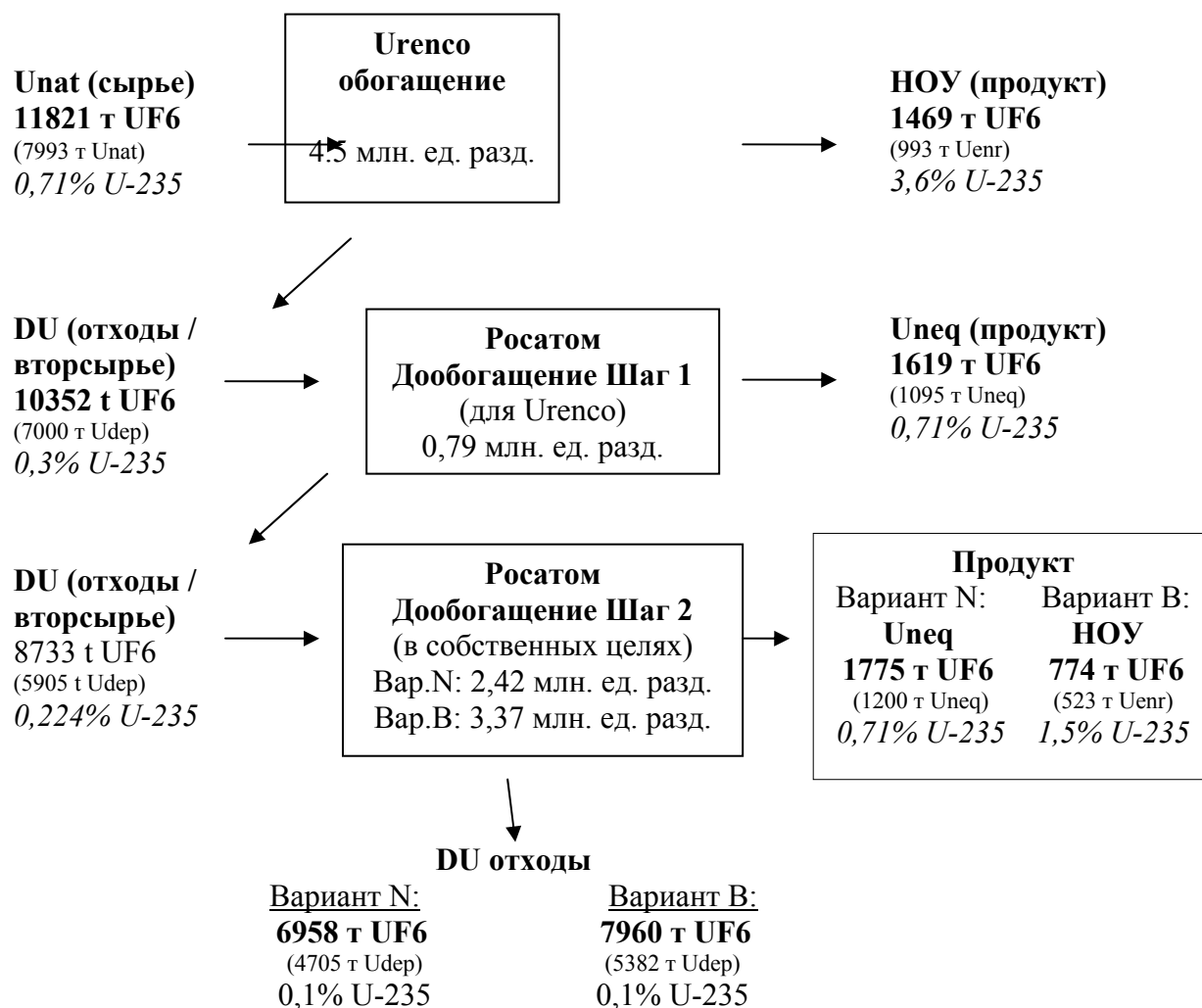
Объем производства последующих лет не приводится в ежегодных отчетах Urenco, даны только проценты его роста: 2001: +11%; 2002: +11%; 2003: +10% [Urenco AR 2000 - 2003].

Подсчитанный на основе этих данных объем производства отражены в таблице 13, вместе с предположительным количеством произведенных хвостов.

Таким образом, в 2000 году количество хвостов, произведенных Urenco, равнялось количеству хвостов, отправленных в Россию на переработку. Позже количество произведенных хвостов превышало количество отправленных.

**Таблица 10**

**Годовой массовый баланс дообогащения хвостов Urenco**

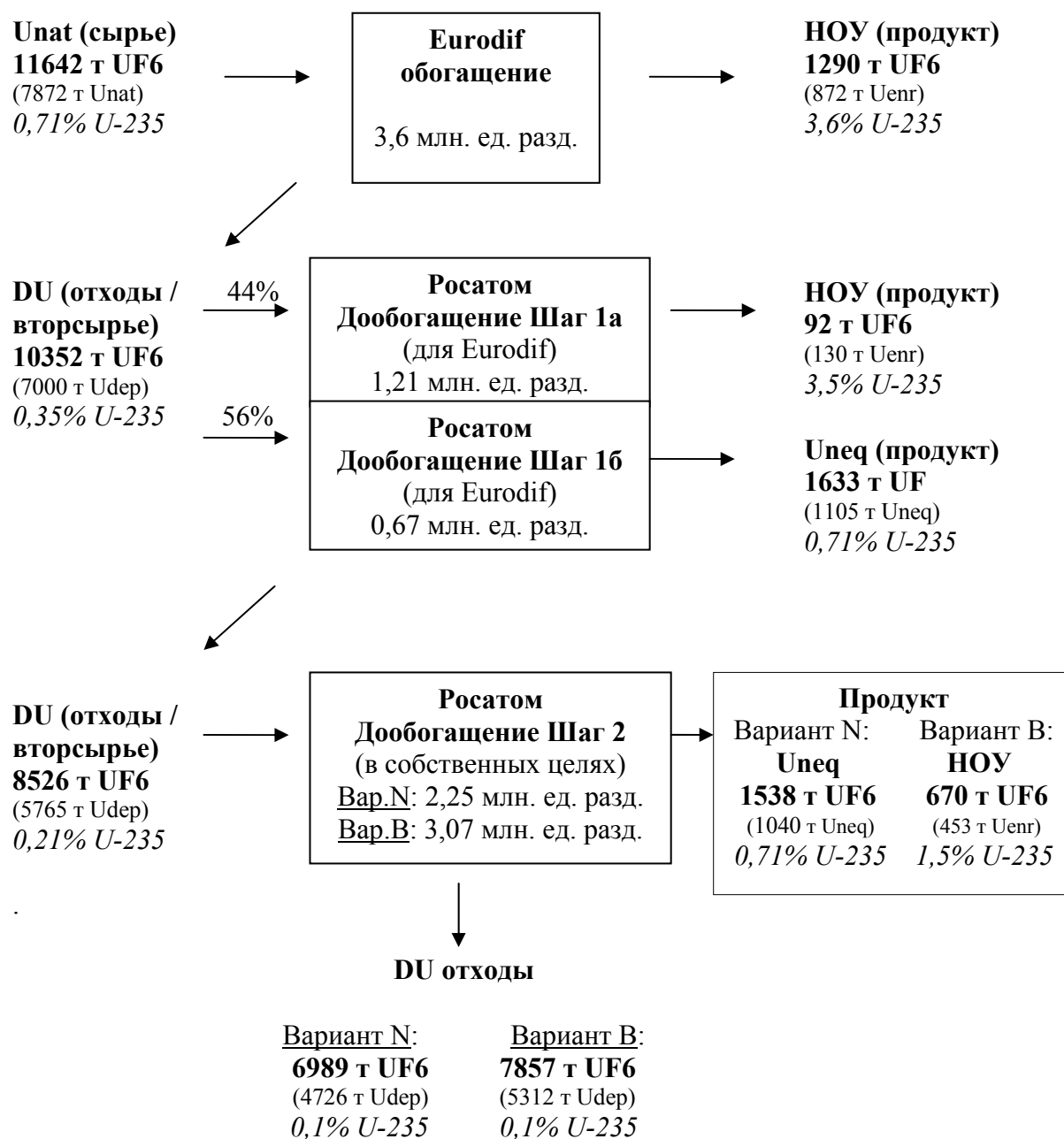


Продукт, производимый Росатомом в собственных целях:

Вариант N: уран «эквивалентный природному» (степень обогащения 0,71% assay) или

Вариант B: материал со степенью обогащения 1,5%, пригодный для разбавления BOY



**Таблица 11****Годовой массовый баланс дообогащения хвостов Eurodif**

Продукт, производимый Росатомом в собственных целях:

Вариант N: уран «эквивалентный природному» (степень обогащения 0,71% assay) или

Вариант B: материал со степенью обогащения 1,5%, пригодный для разбавления BOY

**Таблица 12****Номинальная обогатительная мощность Urenco в конце года [млн. ед. разд.]**

| Год  | Capenhurst | Almelo | Gronau | ВСЕГО |
|------|------------|--------|--------|-------|
| 2000 | 2          | 1,5    | 1,3    | 4,8   |
| 2001 |            |        |        | 5,25  |
| 2002 | 2,44       | 1,95   | 1,46   | 5,85  |
| 2003 |            |        |        | 6,5   |

Источник: [Urenco AR 2000 - 2003]

**Таблица 13****Количество хвостов, произведенных Urenco**

(предположительно степень обогащения продукта 3,6%, хвостов – 0,30%)

| Год  | Производство<br>[млн. ед. разд.] | Хвосты<br>[т U в виде UF <sub>6</sub> ] |
|------|----------------------------------|---|
| 2000 | 4,5                              | 7001                                    |
| 2001 | 5                                | 7779                                    |
| 2002 | 5,54                             | 8619                                    |
| 2003 | 6,1                              | 9490                                    |

Однако запасы хвостов Urenco сокращались даже в эти последующие годы. Данные по запасам хвостов Urenco's еще более отрывочны:

- На 30 июня 1994 запас обедненного урана Urenco составлял 8000 тонн в Capenhurst (Великобритания), 12000 тонн в Almelo (Нидерланды) и 3800 тонн в Gronau (Германия), всего 23800 тонн (тонн урана?). [NF Nov. 7, 1994]
- На конец 1999 общий запас хвостов составлял 16000 t U. [NEA 2001]
- За 2001 год общий запас хвостов на всех объектах Urenco сократился приблизительно на 8%, а в 2002 – еще на 5%. [Urenco AR 2001 & 2002]
- В феврале 2003 осталась только 1000 тонн из 3800, находившихся в Gronau (Германия) на 30 июня 1994. [NF Feb. 17, 2003]

Финансовые расчеты затрат по захоронению хвостов, представленные в балансовых документах Urenco, грубо отражают изменения в запасах хвостов компании (см. таблицу 14). Можно различить сокращение 2001 и 2002 годов, а резкий 34,4-процентный скачок в 2003 после нескольких лет постепенного сокращения очень заметен.

Если использовать цифру в 16000 тонн U, приведенную в [NEA 2001] в качестве объема запасов хвостов Urenco на конец 1999, то сумма, предусмотренная Urenco на расходы по захоронению хвостов (EUR 112,535,000 [Urenco AR 2000]), соответствует EUR 7,03 на 1 кг U.

Кроме экспорта обедненного гексафторида урана в Россию с целью дообогащения, Urenco также отправляет меньшие объемы материала в ряд других предприятий Европы. Цифры, касающиеся немецкого отделения Urenco, были опубликованы немецким правительством по запросу парламента – см. таблицу 15.

**Таблица 14****Обеспечение обязательств и сборов компанией Urenco: Хвосты**

| Год  | Получено за год<br>[EUR млн.] | Потрачено за год<br>[EUR млн.] | Разница курсов валют и т.д.<br>[EUR млн.] | На 31 декабря<br>[EUR млн.] | Разница |
|------|-------------------------------|--------------------------------|---|-----------------------------|---------|
| 1999 |                               |                                |   | 112,535                     |         |
| 2000 | 41,532                        | -67,501                        | -2,421                                    | 84,145                      | -25,2%  |
| 2001 | 48,963                        | -57,470                        | 1,020                                     | 76,658                      | -8,9%   |
| 2002 | 57,382                        | -60,547                        | -2,702                                    | 70,791                      | -7,7%   |
| 2003 | 66,899                        | -40,146                        | -2,411                                    | 95,133                      | 34,4%   |

Источник: [Urenco AR 2000 - 2003]

**Таблица 15****Экспорт обедненного урана в форме UF<sub>6</sub> из Германии в другие места, кроме России from Germany [t U]**

| Год             | Cogema, Pierrelatte, Франция (a) | BNFL, Capenhurst, Великобритания (b) | BNFL, Springfields, Великобритания (c) | Westinghouse Atom AB, Vasteras, Швеция (d) | ВСЕГО   |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------|--|--|---------|
| 1998            | 251,188                          | 125,645                              | 8,504                                  |  | 385,337 |
| 1999            | 251,181                          | 83,763                               |  |  | 334,944 |
| 2000            | 100,354                          | 66,976                               |  | 17,925                                     | 185,255 |
| 2001, I квартал | 150,570                          |                                      |  |  | 150,570 |

Источник: BT-Drs. 14/6692 (16 июля 2001)

a) вероятно «Usine W», где обедненный UF<sub>6</sub> превращается в U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>.b) бывший обогатительный завод, работающий по технологии диффузии, где сейчас действует «урановое хранилище» BNFL и обедненный уран предположительно хранится в форме UF<sub>6</sub>.

c) включает, среди прочего, предприятие по реконверсии урана в форму металла и завод по производству топлива из оксида урана.

d) завод по производству топлива из оксида урана.

Ответ немецкого правительства не содержит никаких упоминаний ни относительно предназначения этого экспорта, ни относительно дальнейшей судьбы экспортированного обедненного урана. Однако если объемы поставки с принадлежащих Urenco голландского и британского заводов росли в тех же пропорциях, тогда эти поставки могут объяснить, почему запасы обедненного урана Urenco тем не менее сокращались в 2001 и 2002, когда объем производства хвостов уже превышало объем отправляемых в Россию. Но так же становится ясно, что, при дальнейшем увеличении мощностей, Urenco будет все труднее избавляться от возникающих хвостов таким «элегантным» образом.

Очевидным последствием дообогащения хвостов в России является сокращение количества хвостов, от которых нужно избавиться. Однако эффект сравнительно невелик: в результате процесса дообогащения, производимого для Urenco и Eurodif (Шаг 1), количество хвостов сокращается всего на 17%, см. таблицу 16. В результате дальнейшего дообогащения, производимого Росатомом в собственных целях (Шаг 2),

количество хвостов сокращается еще на 19% (Вариант N) или 8% (Вариант B). В целом, в России остаются 67% или 76% от импортированного объема хвостов.

Эти 10 тысяч тонн вторичных хвостов, со степенью обогащения всего 0,1%, вряд ли могут рассматриваться как будущий источник урана: любые попытки извлечь из них остаточный U-235 потребуют колоссальных затрат, которые не окажутся приемлемыми в обозримом будущем. Тем не менее, Россия хранит эти хвосты в форме UF<sub>6</sub>; планы Росатома в отношении этих запасов неизвестны.

**Таблица 16**

**Годовой баланс хвостов, импортированных на дообогащение в Россию**

|   |        | Urenco   |                       | Eurodif  |                       | ВСЕГО                                       |
|---|--------|--|-----------------------|--|-----------------------|---|
|   |        | Хвосты<br>[т U в<br>форме<br>UF <sub>6</sub> ] | Степень<br>обогащения | Хвосты<br>[т U в<br>форме<br>UF <sub>6</sub> ] | Степень<br>обогащения | Хвосты<br>[т U в форме<br>UF <sub>6</sub> ] |
| Хвосты,<br>импортированные в<br>Россию  |        | 7000   | 0,30%                 | 7000   | 0,35%                 | 14000                                       |
| Хвосты, образовавшиеся<br>в результате<br>дообогащения для Urenco<br>/ Eurodif        |        | 5906   | 0,224%                | 5766   | 0,21%                 | 11672                                       |
| Хвосты,<br>образовавшиеся<br>в результате<br>дальнейшего<br>дообогащения<br>Росатомом | Вар. N | 4705   | 0,10%                 | 4726   | 0,10%                 | 9431  |
|   | Вар. B | 5382   |                       | 5312   |                       | 10695                                       |

### Анализ перспективы извлечения остаточного урана

Вторым важным аспектом дообогачительной сделки является извлечение остаточного U-235, оставшегося в хвостах, образовавшихся в результате дообогащения. Количество извлеченного материала приведено в таблице 17.

**Таблица 17**

**Годовой баланс извлеченного урана [т U в форме UF<sub>6</sub>]**

*U<sub>neq</sub>*: степень обогащения 0,71%; *U<sub>enr</sub>*: степень обогащения 3,5%

|                                   | U <sub>neq</sub> |         |       | U <sub>enr</sub> |
|-----------------------------------|------------------|---------|-------|------------------|
|                                   | Urenco           | Eurodif | ВСЕГО | Eurodif          |
| Дообогащение для Urenco / Eurodif | 1100             | 1100    | 2200  | 130              |
| Дальнейшее дообогащение Росатома  | 1200             | 1040    | 2240  | 0                |
| ВСЕГО                             | 2300             | 2140    | 4440  | 130              |

Сравнение этих цифр с показателем ежегодной добычи урана на урановых шахтах в России (3150 тонн U в 2003) показывает, что общий объем «эквивалентного природному» урана, извлеченного Росатомом из импортированных хвостов, превосходит объем добычи на шахтах. А 2240 тонны «эквивалентного природному» урана, извлеченного из хвостов, произведенных в процессе дообогащения, составляют 71% от объема урана, добытого на российских урановых шахтах.

Вторичные хвосты, с уже достаточно низкой степенью обогащения 0,1%, все-таки содержат остаточный U-235, который может быть извлечен только при неприемлемо высоких затратах: 1328 т U/год (Вариант N) или 1506 тU/год (Вариант B) «эквивалентного природному» урана.

Объем обогатительных работ, произведенных Росатомом, на кг извлеченного из хвостов «эквивалентного природному» урана, значительно увеличивается по мере снижения степени обогащения сырья, подвергающегося дообогащению, см. таблицу 18.

**Таблица 18**

**Объем работы по извлечению «эквивалентного природному» урана из хвостов**

|  | Извлеченный уран<br>[т U <sub>eq</sub> /a] | Объем работы<br>[ед. разд. / кг U <sub>eq</sub> ] |
|--|--|---|
| Степень обогащения хвостов Urenco и Eurodif снижается с 0,30% и 0,35% до прикл. 0,22% (Шаг 1)      | 2200                                       | 0,7   |
| При повторном извлечении урана степень обогащения хвостов снижается до 0,1% (Шаг 2, Вариант N)     | 2240                                       | 2,1   |
| В результате гипотетическое дальнейшее дообогащения степень обогащения хвостов сократится до 0,05% | 714  | 6.5   |

Примерно половина «эквивалентного натуральному» урана, извлеченного из хвостов Urenco и Eurodif, поставляется на европейские предприятия (см. таблицу 19), вторая половина продается в другие места.

**Таблица 19**

**Российские поставки дообогащенных хвостов (эквивалентного природному UF<sub>6</sub>) в ЕС**

| Год   | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | ВСЕГО |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| [т U] | -    | -    | 1100 | 1200 | 1050 | 1000 | 1200 | 5550  |

NB: Данные за 1997 и 1998 отсутствуют, поскольку цифры невелики и не могут быть опубликованы по причинам конфиденциальности.

Источник: [ESA AR 2003]

### **Выводы:**

- Для компании Urenco экспорт в Россию представляет собой реальную возможность решить проблему накопленных на ее предприятиях хвостов.
- Экспорт хвостов (преимущественно в Россию) в течение нескольких лет привел к значительному сокращению запасов хвостов Urenco, несмотря на рост производства на предприятиях компании.
- Сокращение количества хвостов в результате процесса дообогащения незначительно: на 17% в процессе дообогащения, произведенного для Urenco и Eurodif; на 33% (Var. N) или 24% (Var. B) – в результате всего дообогажительного процесса, выполняемого Росатомом.
- Количество «эквивалентного природному» урана (2240 тонны), извлеченного Росатомом самостоятельно из импортированных хвостов, создает дополнительный 71% к общему объему добычи урана на шахтах России.
- Стоимость обогатительных работ на кг «эквивалентного природному» извлеченного урана значительно увеличивается в зависимости от снижения степени обогащения хвостов: дальнейшее дообогащение, осуществляемое Росатомом самостоятельно, требует в три раза больше затрат на кг извлеченного урана по сравнению с дообогащением, осуществляемым для Urenco и Rosatom's account.
- Будущее вторичных хвостов, остающихся в России, не вполне ясно, поскольку дальнейшее извлечение остаточного урана возможно при колоссальных затратах.
- Сравнение предварительных расчетов стоимости захоронения хвостов демонстрирует, что для немецкого отделения Urenco эти затраты неприемлемы, так как они будут забирать около половины поступлений от обогатительного бизнеса. Этим можно объяснить, почему немецкое отделение Urenco торопится во что бы то ни стало избавиться от своих урановых хвостов, отправляя их в Россию, иначе ему будет не выжить на рынке.
- В целом, в России остаются 67% или 76% от импортированного объема хвостов.

### **2.3. Финансовый баланс дообогажительного бизнеса**

Приведенный выше массовый баланс может служить основой для оценки экономических аспектов дообогажительного бизнеса. Однако, в отсутствие подтвержденных фактов, касающихся стоимости и цен, необходимо сделать еще несколько предположений.

#### **Экономический анализ с точки зрения Urenco и Eurodif**

Основные предположения:

- Urenco и Eurodif покрывают только эксплуатационные затраты Росатома (предположительно 20 долл. / ед. разд.), и Росатом не получает ничего за обращение со вторичными хвостами.
- Для установления исходной стоимости низкообогащенного урана (степень обогащения 3,5%), производимого для Eurodif, необходимо допустить, что природный уран обогащается по рыночным ценам.
- В качестве стоимости транспортировки между Urenco/Eurodif и Росатомом используется цифра 1,50 долл./кг UF<sub>6</sub>.

Финансовый баланс основан на массовом балансе (см. выше) и на различных ценовых ситуациях, созданных с использованием рыночных цен трех определенных дат, см. таблицу 20.

**Таблица 20**

**Параметры, использованные в финансовом анализе**

|                     | Уран<br>[\$/lb U3O8] | Перевод в др. хим.<br>форму [\$ /кг U] | Обогащение<br>[\$/ед.разд.] | Курс валют<br>(с) [EUR/\$] |
|---------------------|----------------------|--|-----------------------------|----------------------------|
| 25 декабря 1995 (а) | 12,25                | 5,85                                   | 95                          | 0,74                       |
| 25 декабря 2000 (б) | 7,10                 | 4,25                                   | 84                          | 1,08                       |
| 15 ноября 2004      | 20,25                | 10,00                                  | 110                         | 0,77                       |

а) приблизительное время начала транспортировок хвостов в Россию.

б) в этот период цена урана была самой низкой за все время, а стоимость обогащения только что начала подниматься из своего самого низкого показателя.

с) курс валют на 1995 основан на курсе DEM/\$ и официальном соотношении DEM/EUR.

Годовые финансовые балансы основаны на трех этих точных ценовых ситуациях; расчет изменений цен в течение года отсутствует.

Вот четыре варианта связанных с утилизацией хвостов затрат, которых Urenco и Eurodif удастся избежать благодаря дообогащению в России:

- Вариант NO: затраты не учитываются,
- Вариант US: 4,39 долл. / кг U (цифра используется ДЭ США в отношении захоронения в виде U3O8),
- Вариант UR: EUR 7,03 / кг U (как предусмотрено Urenco),
- Вариант DE: EUR 27,24 / кг U (предварительная стоимость для захоронения в виде U3O8 в зацементированном могильнике в хранилище высоко-активных отходов в Горлебене (Германия).

Обзор подсчетов прибыли Urenco и Eurodif дан в таблице 21; более подробные подсчеты приведены в Приложении: прибыль возникает при любых рассмотренных условиях рынка (за исключением – для Urenco – самой низкой за все время цены на уран), но только в том случае, если стоимость утилизации хвостов не учитывается.

**Таблица 21**

**Подсчет ежегодной прибыли Urenco и Eurodif от дообогащения хвостов в России (млн. долл.)**

при предположительной стоимости дообогащения 20 долл./ед. разд.

|                                | Urenco |    |    |     | Eurodif |     |     |     |
|--------------------------------|--------|----|----|-----|---------|-----|-----|-----|
| Вариант стоимости захоронения: | NO     | US | UR | DE  | NO      | US  | UR  | DE  |
| 25 декабря 1995                | 8      | 38 | 74 | 265 | 77      | 108 | 144 | 335 |
| 25 декабря 2000                | -9     | 22 | 37 | 168 | 38      | 69  | 84  | 215 |
| 15 ноября 2004                 | 35     | 66 | 99 | 283 | 141     | 172 | 205 | 389 |

Эти результаты достигаются благодаря низкой оплате единиц разделения (20 долл/ед.) Росатома (около 1/5 рыночной цены). Прибыли Eurodif выше прибылей Urenco, поскольку сделка с Eurodif (включая дообогащение до 3,5-процентного низкообогащенного урана) требует расхода большего количества единиц разделения; но, возможно, Eurodif платит больше за единицы, потраченные на часть сделки, касающуюся дообогащения урана до 3,5%.

Результаты еще больше различались бы, если бы Urenco и Eurodif должны были платить Росатому за дообогащение по рыночной стоимости, см. таблицу 22.

**Таблица 22**

*Подсчет ежегодной прибыли Urenco и Eurodif от дообогащения хвостов в России (млн. долл.) если Urenco и Eurodif платили бы за дообогащение по рыночным ценам*

| Вариант стоимости захоронения: | Urenco |     |     |     | Eurodif |     |     |     |
|--------------------------------|--------|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|
|                                | NO     | US  | UR  | DE  | NO      | US  | UR  | DE  |
| 25 декабря 1995                | -52    | -21 | 15  | 206 | -64     | -33 | 3   | 194 |
| 25 декабря 2000                | -59    | -29 | -14 | 117 | -82     | -52 | -37 | 94  |
| 15 ноября 2004                 | -36    | -5  | 28  | 212 | -28     | 2   | 35  | 219 |

### **Выводы:**

- Для Urenco и Eurodif дообогажительная сделка выгодна при любых рассмотренных рыночных условиях (кроме возможной постоянной низкой цены на уран - для Urenco), но только в том случае, если не учитывать трат по утилизации хвостов, на которых компаниям удастся «сэкономить».
- Если Urenco и Eurodif должны были бы платить за обогащение по рыночным ценам, сделка была бы выгодной для них только в том случае, если их «сэкономленные» траты по утилизации хвостов были бы по крайней мере сравнимы с расчетами, сделанными Urenco (вариант UR) и только если рыночные цены были бы не слишком низкими.

### **Экономический анализ с точки зрения Росатома**

Основные предположения:

- Росатом получает деньги только за эксплуатационные расходы (предположительно 20 долл./ед.разд.) и только за ту часть дообогажительного процесса, который происходит по заказу Urenco и Eurodif; Росатом не получает дополнительной платы за обращение со вторичными хвостами,
- транспортные расходы не учитываются.

Итак, если Росатом выполнял бы дообогащение только для Urenco и Eurodif (шаг 1), его потери составляли бы стоимость утилизации вторичных хвостов.

Если Росатом подвергает эти хвосты дальнейшему дообогащению в своих собственных целях (шаг 2), баланс зависит от рыночных цен. Экономический баланс рассматривает различные ценовые ситуации с использованием рыночных цен по трем определенным датам так же, как для Urenco / Eurodif, см. таблицу 20.

Относительно продукта, получаемого в результате повторного дообогащения хвостов Росатомом, возможны два варианта:

- Вариант N: «эквивалентный природному» уран со степенью обогащения 0,71%
- Вариант В: материал с низкой степенью обогащения (1,5%), предназначенный для разбавления ВОУ

Для определения исходной стоимости материала для разбавления предполагается, что Unat обогащен по рыночным ценам, хотя в этом процессе получается материал не с таким низким содержанием U-234, как это необходимо для материала для разбавления ВОУ (см. ниже).



Вот три возможных варианта расчета затрат Росатома по утилизации хвостов:

- Вариант NO: эти расходы не учитываются,
- Вариант US: 4,39 долл. / кг U (цифра используется ДЭ США в отношении захоронения в виде U3O8 в шахте),
- Вариант UR: EUR 7,03 / кг U (как предусмотрено Urenco).

Обзор получаемых Росатомом прибылей, рассчитанных по этим вариантам, представлен в таблице 23. Более подробные расчеты см. в Приложении.

**Таблица 23**

**Подсчет ежегодной прибыли Росатома от дообогащения хвостов (млн. долл.)**

(сумма данных по дообогащению хвостов Urenco и Eurodif)

|                                | Только шаг 1 |     |      | Шаг 1 и 2 |          |      |            |            |           |
|--------------------------------|--------------|-----|------|-----------|----------|------|------------|------------|-----------|
|                                |              |     |      | Вариант N |          |      | Вариант B  |            |           |
| Вариант стоимости захоронения: | NO           | US  | UR   | NO        | US       | UR   | NO         | US         | UR        |
| 25 декабря 1995                | 0            | -51 | -111 | -9        | -50      | -99  | <b>65</b>  | <b>18</b>  | -37       |
| 25 декабря 2000                | 0            | -51 | -76  | -43       | -84      | -104 | <b>12</b>  | -35        | -58       |
| 15 ноября 2004                 | 0            | -51 | -107 | <b>47</b> | <b>5</b> | -39  | <b>150</b> | <b>103</b> | <b>52</b> |

#### **Выводы:**

- Если Росатом производит дообогащение только для Urenco и Eurodif (шаг 1), его потери составят ни много ни мало стоимость утилизации вторичных хвостов. Таким образом, если предположение о том, что Urenco и Eurodif не платят ничего за утилизацию отходов дообогащения, верно, значит, Росатом должен зарабатывать деньги с помощью дальнейшего дообогащения вторичных хвостов, чтобы покрыть расходы, связанные с их окончательной утилизацией.
- В случае, если Росатом производит уран, эквивалентный природному, в той части дообогачительного процесса, который осуществляется Росатомом самостоятельно (вариант N шага 2), Росатом получит прибыль при нынешних высоких ценах на уран и обогачительные услуги и только при условии низких затрат на утилизацию хвостов. При всех прочих рассмотренных рыночных условиях Росатом несет убытки, зачастую лишь слегка меньшие, а иногда и большие, чем его убытки в том случае, если никакого дообогащения вторичных хвостов не производится вообще.
- Однако если Росатом производит уран, обогащенный до 1,5% и пригодный для разбавления высокообогащенного урана (вариант B), тогда получение прибыли Росатомом возможно в большем количестве вариантов; впрочем, при условии высоких затрат на утилизацию хвостов, прибыль будет получена только если нынешние высокие рыночные цены будут сохраняться; в случае же, если рыночные цены будут постоянно держаться на низком уровне, прибыль может быть получена только без учета затрат на окончательную утилизацию хвостов.

#### **2.4. Производство низкообогащенного материала, предназначенного для разбавления ВОУ**

Уран, используемый в ядерном оружии, обогащен до приблизительно 93% U-235, в то время как уран, используемый в качестве топлива в промышленных легководных реакторах, обычно обогащен до 3-5% U-235. Уран со степенью обогащения более 20%

U-235 называется высокообогащенным ураном (ВОУ) и может использоваться только в ядерном оружии и исследовательских реакторах. Излишки ВОУ, таким образом, не могут использоваться напрямую как топливо для АЭС, но могут смешиваться с урансодержащими материалами для получения низкообогащенного урана (НОУ), пригодного для использования в промышленных реакторах. В качестве урансодержащего материала для этих целей используют обедненный, природный и даже слегка обогащенный уран. В таблице 24 дан типичный массовый баланс процесса разбавления ВОУ путем смешивания его со слегка обогащенным материалом.

В 1993 году Россия и США заключили договор по высокообогащенному урану, согласно которому Россия в течение 20 лет должна поставлять в США уран, извлеченный из 500 тонн высокообогащенного урана и смешанный с низкообогащенным материалом. [UI 1999b]

Разбавление осуществляется на предприятиях в Новоуральске, Северске и Зеленогорске, путем смешивания высокообогащенного урана и газообразного UF<sub>6</sub>. В результате получается низкообогащенный уран, из которого можно обычным способом изготовить ядерное топливо.

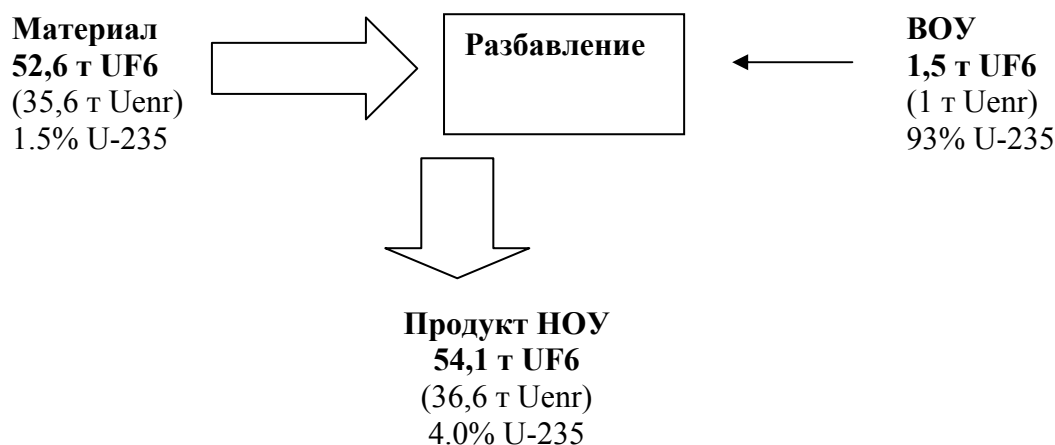
### Проблема нежелательных изотопов

Высокообогащенный материал может содержать какое-то количество примесей, в том числе нежелательные изотопы урана U-234. Этот изотоп содержится в природном (возникает в результате разложения U-238); в процессе обогащения его концентрация увеличивается даже больше, чем концентрация U-235. Высокая концентрация U-234 может стать причиной чрезмерного облучения рабочих при производства топлива.

В случае использования природного или обедненного урана в качестве понижения степени обогащения ВОУ концентрация U-234 в низкообогащенном продукте может превышать требования Американского общества испытаний и материалов (ASTM) для ядерного топлива, см. таблицу 25.

**Таблица 24**

**Типичный массовый баланс процесса разбавления ВОУ слегка обогащенным материалом**  
(на т ВОУ со степенью обогащения 93%, степень обогащения слегка обогащенного материала - 1,5%, степень обогащения продукта - 4%)



**Таблица 25****Спецификация ASTM C 996 для U-234 в ядерном топливе**

| Изотоп | макс. концентрация [µg на г U-235] |
|--------|------------------------------------|
| U-234  | 10000                              |
|        | 11000 (по специальному разрешению) |

Если, однако, если для смешивания используется слегка обогащенный уран с 1,5-процентным содержанием U-235, содержание нежелательных изотопов в низкообогащенном продукте значительно ниже. Этот эффект усиливается, если слегка обогащенный уран получен путем обогащения обедненного урана, а не природного. В таблице 26 показан баланс объемов и концентрация U-234 для разных вариантов процесса смешивания (на 1 тонну BOY). Варианты таковы:

- DU → Uenr хвосты обогащаются от 0,22% до 1,5%
- Unat → Uenr обогащение природного урана до разных степеней обогащения
- DU → Uenq хвосты обогащаются от 0,22% до 0,71%
- Unat прямое использование природного урана для смешивания
- Unat → DU использование обедненного урана (0,3%) для смешивания

Из таблицы 26 становится очевидным, что дообогащение обедненного урана не является единственным способом получить НОУ, соответствующий требованиям ASTM по содержанию U-234 (10,000 µg на 1 г U-235): это также возможно путем обогащения природного урана до 1,15% и выше, однако этот способ требует значительных объемов природного урана.

Если Росатом использует все 11672 тонны урана в хвостах (со степенью обогащения около 0,22%), остающихся после дообогащения хвостов, импортированных Urenco и Eurodif (см. таблицу 16 на стр.17), для производства материала для разбавления BOY со степенью обогащения 1,5%, тогда получающегося в результате 1000 тонн материала будет достаточно для разбавления 28,1 тонны BOY; именно столько должно производиться ежегодно в соответствии с российско-американским соглашением по высокообогащенному урану.

**Таблица 26****Массовый баланс вариантов производства материала для разбавления 1 т BOY**

(BOY: степень обогащения U-235 - 93%, U-234 – 1,01%; НОУ: степень обогащения U-235 - 4%)

| Вариант производства материала для разбавления | Исходный материал |                                       | Получаемый материал |                                       |                                       | НОУ         |                            |
|--|-------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|----------------------------|
|  | Масса [т U]       | Степень обогащения U-235 [% по массе] | Масса [т U]         | Степень обогащения U-235 [% по массе] | Степень обогащения U-234 [% по массе] | Масса [т U] | Конц-ция U-234 [µg/g U235] |
| DU → Uenr (a)                                  | 415,3             | 0,22%                                 | 35,6                | 1,50%                                 | 0,00814%                              | 36,6        | 8868                       |
| Unat → Uenr (b)                                | 962,7             | 0,71%                                 | 130,7               | 3,32%                                 | 0,02803%                              | 131,7       | 8867                       |
|  | 104,2             |                                       | 35,6                | 1,50%                                 | 0,01193%                              | 36,6        | 9789                       |
|  | 64,7              |                                       | 31,2                | 1,15%                                 | 0,00897%                              | 32,2        | 9994                       |
| DU → Uenq (a)                                  | 137,3             | 0,22%                                 | 27,0                | 0,71%                                 | 0,00364%                              | 28,0        | 9865                       |
| Unat   | -                 | -                                     | 27,0                | 0,71%                                 | 0,00534%                              | 28,0        | 10273                      |
| Unat → DU (c)                                  | 27,4              | 0,71%                                 | 24,0                | 0,30%                                 | 0,00174%                              | 25,0        | 10478                      |

Замечание: в зависимости от особенностей процесса обогащения, концентрация U-234 может слегка различаться.

а) степень обогащения хвостов процесса обогащения – 0,1%; исходный материал – DU, возникший в процессе обогащения Unat до 4%;

b) степень обогащения хвостов – 0,3%;

c) DU, возникший в процессе обогащения Unat до 4%.

### **Извлечение единиц разделения из ВОУ**

Главная причина, по которой вообще осуществляется разбавление ВОУ – это извлечение высоко энергозатратных единиц разделения, затраченных на его производство, для того, чтобы использовать их в ядерном топливе. Однако, в силу особенностей процесса разбавления, не все единицы разделения, затраченные при первоначальном производстве ВОУ, могут быть извлечены.

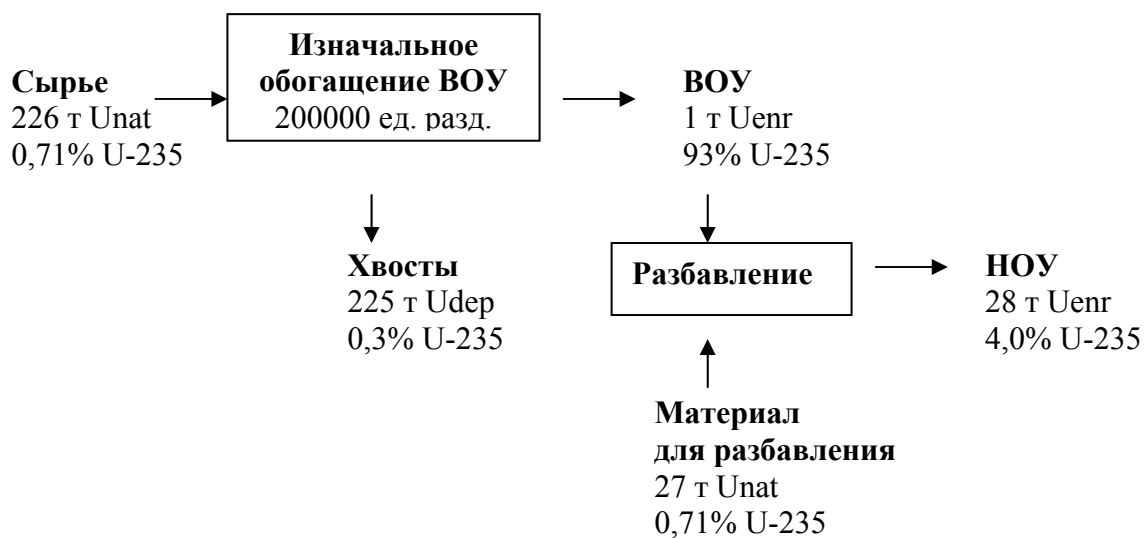
Например, при использовании в качестве материала для разбавления Unat, теряется около четверти единиц разделения, затраченных на производство ВОУ, см. таблицу 27: для оценки содержания в разбавленном НОУ пригодных для использования единиц разделения используется гипотетический эталонный вариант, в котором рассматривается количество природного урана, необходимое для прямого его обогащения и получения такого же количества НОУ и хвостов, какое получается при разбавлении определенного количества НОУ. Если бы НОУ производился прямым обогащением природного урана, тогда нужно было бы затратить 148 ед.разд. для того, чтобы получить такое же количество НОУ такой же степени обогащения, какое получается в процессе разбавления на кг ВОУ. Таким образом, в разбавленном НОУ мы получаем эквивалент 148 ед. разд. на кг использованного ВОУ, в то время как изначально затрачено при производстве ВОУ было 200 ед. разд. на кг. Следовательно, 52 ед. разд. на кг ВОУ, или 26% содержащихся в нем ед. разд., не могут быть извлечены и теряются.

Потери единиц разделения значительно увеличиваются, если учитывать работу по разделению (изотопов), затраченную в процессе дообогащения обедненного урана для получения материала для разбавления. Наглядно это видно в таблице 28, где представлен массовый баланс ныне практикуемого варианта производства материала для разбавления ВОУ путем дообогащения хвостов от ~0,22% до 1,5%. Представленный там эталонный вариант показывает, что пригодные для использования единицы разделения, содержащиеся в НОУ, составляют 193 ед. разд. на кг разбавленного ВОУ. Это всего на 3,5% меньше 200 ед. разд. на кг ВОУ, изначально затраченного на его производство. *Но для того, чтобы получить эти 193 ед. разд., нужно затратить 232 ед. разд. на обогащение материала для разбавления!* Таким образом, чистая потеря единиц разбавления составляет  $(200 - 193 + 232) / 200 = 120\%$ . Итак, в этом случае, чистая потеря единиц разбавления достигает 120% работ по разделению изотопов, затраченной на производство ВОУ; *потери единиц разделения превышают количество единиц, изначально затраченных на производство ВОУ, на 20%.* В сущности, в этом случае, вопреки ожиданию, *никакого извлечения единиц разделения вообще не происходит*, напротив, происходит только их потеря.

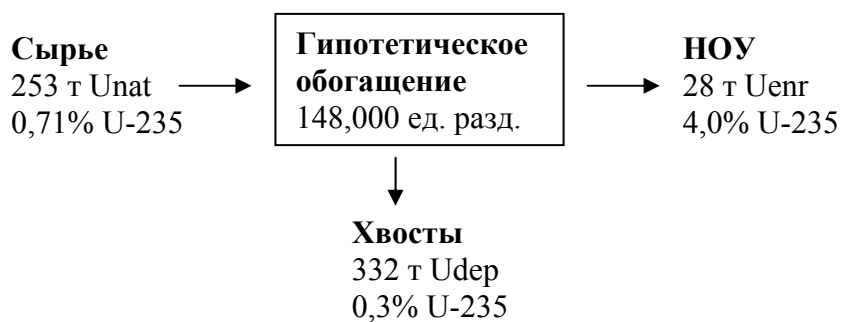
Таблица 29 отражает потери единиц разделения для вариантов производства материала для разбавления ВОУ, представленных в таблице 26.

**Таблица 27**

*Массовый баланс разбавления НОУ при использовании Unat (на т ВОУ)*

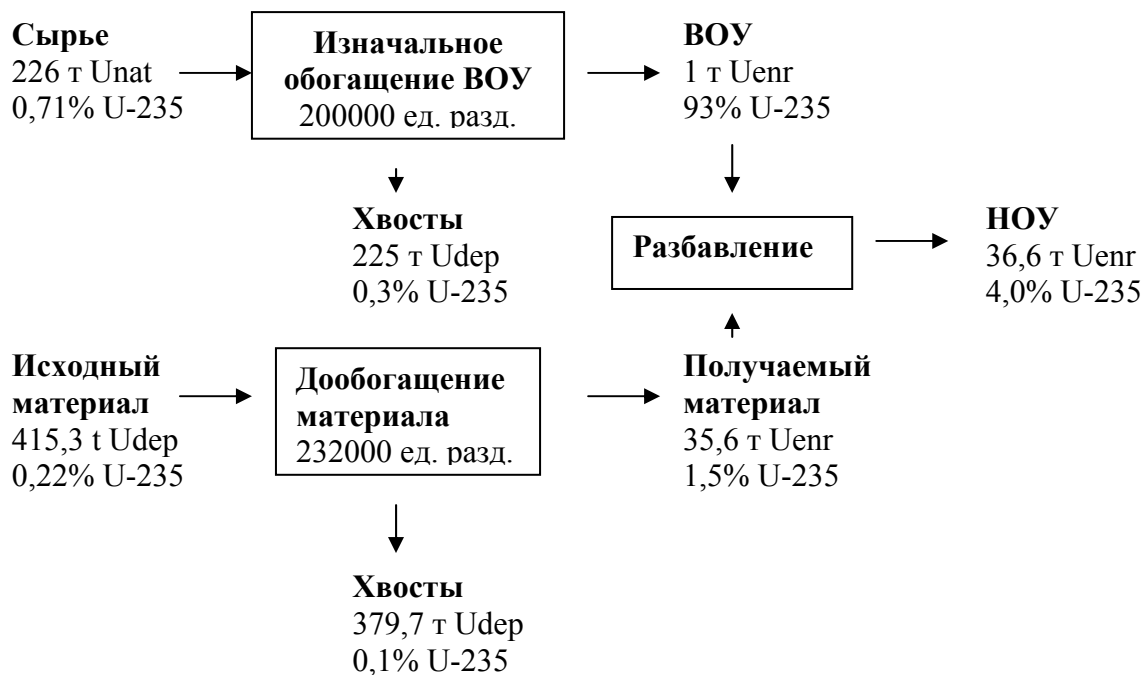


**Эталонный вариант производства НОУ:**

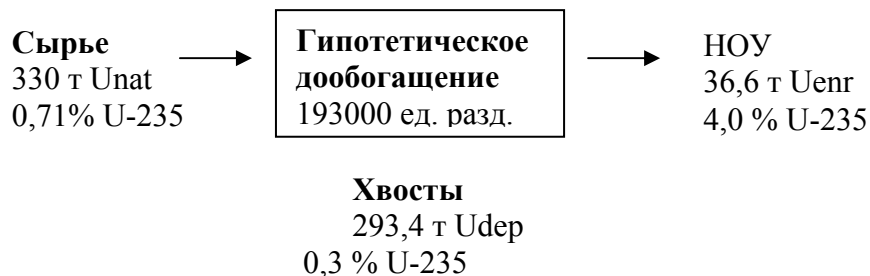


**Таблица 28**

**Массовый баланс разбавления НОУ при дообогащении материала для смешивания (на т ВОУ)**



**Эталонный вариант производства НОУ:**



**Таблица 29****Баланс единиц разделения при различных вариантах производства материала для разбавления ВОУ (на кг ВОУ)**

(для того, чтобы получить из Unat 1 кг ВОУ со степенью обогащения 93% и хвосты со степенью обогащения 0,3%, требуется 200 ед. разд.)

| Вариант производства материала | Исходный материал                     | Получаемый материал                   |   | НОУ   | Чистые потери ед. разд. |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|-------------------------|
|                                | Степень обогащения U-235 [% по массе] | Степень обогащения U-235 [% по массе] | Кол-во ед. разд., затраченных на обогащение материала [ед. разд.] | Кол-во пригодных для употребления ед. разд. [ед. разд.] |                         |
| DU → Uenr (a)                  | 0,22%                                 | 1,50%                                 | 232   | 193   | 120%                    |
| Unat → Uenr (b)                | 0,71%                                 | 3,32%                                 | 524   | 696   | 14%                     |
|                                |                                       | 1,50%                                 | 33  | 193   | 20%                     |
|                                |                                       | 1,15%                                 | 14  | 170   | 22%                     |
| DU → Uneq (a)                  | 0,22%                                 | 0,71%                                 | 56  | 148   | 54%                     |
| Unat                           | -                                     | 0,71%                                 | 0   | 148   | 26%                     |
| Unat → DU (c)                  | 0,71%                                 | 0,30%                                 | 0   | 132   | 34%                     |

Замечание: в зависимости от особенностей процесса обогащения, концентрация U-234 может слегка различаться.

a) степень обогащения хвостов процесса обогащения – 0,1%; исходный материал – DU, возникший в процессе обогащения Unat до 4%.

b) степень обогащения хвостов – 0,3%.

c) DU, возникший в процессе обогащения Unat до 4%.

**Извлечение урановой сырьевой составляющей из ВОУ**

Поиски ответа на вопрос о том, почему Росатом тратит на обогащение сырья больше единиц разделения, чем можно возместить из разбавленного ВОУ, привлекают внимание к единственному другому ресурсу, заключенному в ВОУ, - содержащемуся в нем урану.

И действительно, при ближайшем рассмотрении оказывается, что процесс разбавления ВОУ представляет собой привлекательный источник урана для Росатома (см. таблицу 30).

**Таблица 30** Баланс урановой составляющей процессе разбавления НОУ

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Урановое сырье, изначально использованное для пр-ва ВОУ, на кг ВОУ (a)                   | 226 кг Unat           |
| Эквивалент уранового сырья, содержащийся в разбавленном НОУ, на кг ВОУ (b) (c)           | 330 кг Unat           |
| Эквивалент уранового сырья, содержащийся в разбавленном НОУ, на 28,1 т ВОУ (b) (c)       | 9300 т Unat           |
| перерасход ед. разд., на кг ВОУ: (20% от 200 ед. разд.)                                  | 40 ед. разд.          |
| перерасход ед. разд. на кг эквивалента уранового сырья, содержащегося в разбавленном НОУ | 0,12 ед. разд. / кг U |

a) ВОУ: степень обогащения продукта 93%, обогащен с 0,71% (сырье), степень обогащения хвостов 0,3% ;

b) материал для смешивания: ст. обогащения 1,5%, обогащен с 0,22% (хвосты – сырье), ст. обогащения втор. хвостов – 0,1%;

c) НОУ (эталонный вариант): ст. обогащения продукта – 4,0%, обогащен с 0,71% (сырье), ст. обогащения хвостов – 0,3%

Если перерасход работ по разделению при обогащении хвостов для производства материала для разбавления ВОУ отнести за счет уранового сырья, возмещаемого в процессе разбавления, тогда получаемая в итоге стоимость возмещенного урана оказывается чрезвычайно низкой – 0,12 ед. разд. на кг U (сравните с таблицей 18).

#### **Выводы:**

- Использование дообогащенного обедненного урана в качестве материала для разбавления ВОУ не является единственной возможностью получить НОУ, удовлетворяющий стандартам ASTM, путем разбавления ВОУ. Поэтому, вопреки имеющим место утверждениям, дообогащение хвостов не является необходимым условием для разбавления ВОУ.
- Общие потери работ по разделению при обогащении хвостов для производства материала для разбавления ВОУ и при собственно разбавлении на 20% превосходят количество единиц разделения, изначально затраченных на производство ВОУ. **Таким образом, на самом деле, весь процесс требует на 20% больше работ по разделению, чем может возместить.** С точки зрения возмещения единиц разделения, более эффективно было бы не делать ничего, чем затевать эту комбинацию с обогащением хвостов и последующим разбавлением ВОУ!
- Единственное, что действительно возмещается в существующей схеме разбавления ВОУ при помощи дообогащения хвостов, это урановое сырье, заложенное в ВОУ. **Таким образом, Росатом осуществляет весь этот процесс для того, чтобы возместить урановую составляющую ВОУ по довольно скромной стоимости работ по разделению, в то время как колоссальный объем работ по разделению, заложенный в ВОУ, полностью пропадает.**
- Таким образом, производство материала для разбавления ВОУ должен, вероятно, рассматриваться как реакция на существующий в России низкий уровень добычи урана и весьма ограниченный запас урана, пригодного для добычи при нынешних рыночных ценах, и/или как средство обойти существующие торговые ограничения для российских единиц разделения (см. ниже).

## 2.5. Политические, торговые и правовые аспекты обогащения хвостов

### **Уран в России: спрос и предложение**

После развала Советского Союза Россия оказалась отрезанной от основных источников урана, в основном, в Казахстане, см. таблицу 31. При нынешнем уровне добычи урана (3150 т/год - 2003), российские запасы урана, добыча которых экономически оправдана при существующих ценах на уран, будут исчерпаны в течение 15 лет.



Кроме того, потребность российской ядерной энергетики в уране составляет 5100 тонн урана в год (2003) и превышает объем добычи на 1950 тонн (или 62%). При этом Россия планирует строительство нескольких новых реакторов. Таким образом, несмотря на наличие больших запасов урана (данные отсутствуют), Россия в скором времени может столкнуться с серьезной нехваткой урана.

С другой стороны, в России в избытке имеются обогатительные мощности (технология центрифуги), оставшиеся со времен «холодной войны» (в общей сложности более 7 млн. единиц разделения используются в настоящее время для дообогащения импортированных хвостов, в то время как еще большие мощности заняты дообогащением хвостов местного происхождения). В то время как обогатительные мощности в других странах постоянно расширяются (как предприятия Urenco в Великобритании, Нидерландах, Германии), и старая технология диффузии заменяется технологией центрифуги (как во Франции и США), Россия не может вывести свои обогатительные услуги на мировой рынок в связи с торговыми ограничениями (см. ниже).

### **Таблица 31**

#### ***Источники урана в бывшем Советском Союзе***

*Известные запасы на 1 января 2003*

|            | < 40 долл. / кг U<br>(\$15,38/lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) |        | < 80 долл. / кг U<br>(\$30,77/lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) |        |
|------------|--|--------|--|--------|
|            | [т U]  | %      | [т U]  | %      |
| Казахстан  | 280,620  | 68,4%  | 384,625  | 63,6%  |
| Узбекистан | 61,510   | 15,0%  | 61,510   | 10,2%  |
| Россия     | 52,610   | 12,8%  | 124,050  | 20,5%  |
| Украина    | 15,380   | 3,8%   | 34,630   | 5,7%   |
| ВСЕГО      | 410,120  | 100,0% | 604,815  | 100,0% |

*Источник: [NEA 2004]*

Итак, с точки зрения России, один из вариантов состоит в том, чтобы использовать свои излишки своих обогатительных мощностей для извлечения остаточного урана из обеденных урановых хвостов. И, как показывают расчеты, количество эквивалентного природному урану, ежегодно извлекаемого Росатомом в процессе дальнейшего дообогащения вторичных хвостов Urenco и Eurodif (2240 тонн) (см. таблицу 17 на стр.17), уже покрывает недостаток урана в России, в то время как Россия дообогащает хвосты и из своих собственных запасов. Для России преимущество извлечения урана из импортированных хвостов заключается в том, что при этом остаточный уран, содержащийся в ее собственных запасах хвостов, остается в «резерве». Общее количество урана, извлекаемого из хвостов, превосходит нынешние потребности России и, соответственно, позволяет использовать его на другие нужды, такие, как производство урансодержащего материала для смешивания с ВОУ.

Теперь становится ясно, почему Россия не использует природный уран для обогащения материала, предназначенного для смешивания с ВОУ, хотя это позволило бы покрыть большую часть работ по разделению, содержащихся в ВОУ: у России просто нет излишков природного урана, зато есть огромные излишки обогатительных мощностей.

### **Требования по безопасности в отношении австралийского и канадского урана**

Основные производители урана, Австралия и Канада, требуют, чтобы на обеденные урановые хвосты, образующиеся при обогащении или дообогащении урана, произведенного в этих странах, распространялись требования по безопасности Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). Россия, однако, не стремится удовлетворять это требование. Поэтому Urenco и Eurodif не могут отправлять в Россию на дообогащение хвосты, образовавшиеся в процессе обогащения урана австралийского или канадского происхождения, если хвосты должны будут остаться в России. По этому вопросу между Россией, Австралией, Канадой и Евроатомом идут переговоры. [UI 2001]

Летом 2003 было достигнуто временное соглашение по хвостам из урана канадского происхождения; этот документ имеет ограниченный срок действия, до тех пор, пока политические совещания не приведут в определенному решению». [ESA AR 2003]

Очевидное решение – возвращение хвостов импортеру – не рассматривается, поскольку этот вариант подорвет экономическую основу дообогатительного бизнеса в России.

### **Торговые ограничения по импорту российского урана и обогатительных услуг**

Департаментом коммерции США (DOC) разработана сложная система торговых ограничений по импорту российского урана и торговых услуг, целью которой является защита интересов национальной урановой промышленности [UI 1999a].

Нынешняя политика Агентства снабжения Евроатома (ESA) в отношении урана из СНГ и обогатительного бизнеса в России направлена на поддержание разнообразия ресурсов. Это означает, что предприятия Евросоюза (конечные пользователи) не должны зависеть от поставщиков в СНГ, в среднем, более чем на одну четверть их потребностей в природном уране; для российского обогатительного бизнеса лимит составляет менее одной пятой его потребностей. Кроме того, ESA видит свою цель в сохранении рыночных цен. [UI 2000]

### **Торговые ограничения по импорту хвостов, обогащенных в России**

США рассматривают дообогащенные хвосты как материал, произведенный в России и подлежащий соответствующим торговым ограничениям, в том числе, по условиям Российско-американского договора (US-Russia Suspension Agreement) и Акта приватизации USEC. [UI 2001] [UI 1999a]

Агентство снабжения Евроатома рассматривает дообогащенные хвосты, если они продаются в том же виде, в каком импортируются, как материал, произведенный в России и подлежащий тем же ограничениям, какие применимы к другим урановым материалам, импортируемым из стран СНГ. *Однако, если материал подвергается дальнейшему обогащению на территории Евросоюза, он может быть продан конечному пользователю в ЕС без каких-либо ограничений.* [UI 2001] [UI 2000]

## **Правовой аспект: импорт радиоактивных отходов?**

Вторичные хвосты, возникающие в процессе дообогащения, остаются в России. Принимая во внимание, что в процессе дообогащения количество исходного материала (хвостов, подлежащих дообогащению) не намного превышает количество отходов (вторичных хвостов), можно предположить, что импорт хвостов в Россию по сути представляет собой нелегальный импорт радиоактивных отходов с целью окончательного захоронения.

Учитывая разнообразие способов использования извлеченного урана в России, такое предположение может показаться неуместным, однако следует помнить, что весь этот дообоганительный бизнес работает только в том случае, если Россия получает за услуги только в размере своих эксплуатационных затрат (18% существующей рыночной цены). Если бы дообоганительный бизнес был настолько экономически привлекательным, Urenco и занимались бы им самостоятельно. И если бы остаточный уран, содержащийся в хвостах, был настолько ценен, Urenco и Eurodif держали бы их у себя, а не раздавали бы, как сейчас.

Для Urenco и Eurodif основной целью сделки является «решение» проблемы утилизации отходов путем пересылки обедненного урана в Россию.

Немецкое правительство, совместно с правительствами Великобритании и Нидерландов, провело исследование, в котором подчеркивается, что дообоганительный бизнес в России «не нарушает международных законов, стандартов или обязательств». [BT-Drs.13/8810, Oct. 22, 1997]

### **Выводы:**

- Россия ощущает серьезный недостаток урана, в то время как располагает значительными излишками уранообоганительных мощностей.
- Торговые ограничения запрещают России продавать свои обоганительные услуги, за исключением случаев, когда уран, извлеченный из импортированных хвостов в России, подвергается дальнейшему обогащению на территории.
- Дообогащение импортированных хвостов дает России доступ к дополнительным источникам урана по стоимости обоганительных услуг, а также возможность продать часть ее единиц разделения, хотя и не по рыночным ценам.
- Тот факт, что окончательные отходы (хвосты), в количестве около 10 тысяч тонн U (содержащегося в 15 тысячах тонн UF<sub>6</sub>) в год, остаются в России с неопределенными целями, заставляет подозревать, что импорт хвостов представляет собой нелегальный ввоз ядерных отходов. Это подозрение подкрепляется следующими фактами: во-первых, в процессе дообогащения объем хвостов сокращается очень незначительно; во-вторых, вероятность того, что извлечение остаточного урана, содержащегося в окончательных отходах, когда-либо станет экономически возможно, очень невелика; в-третьих, весь этот дообоганительный бизнес основан и может работать на ценах, составляющих лишь малую часть рыночных цен.

## Приложение: Массовый и финансовый балансы

### Вариант N

Продукт, получаемый в результате дообогащения вторичных хвостов, осуществляемого Росатомом в своих собственных целях, представляет собой **эквивалентный природному уран** со степенью обогащения 0,71%.

#### Разделы таблицы:

- Urenco: дообогащение хвостов Urenco до эквивалентной природной степени обогащения
- Ed. (neq): дообогащение части хвостов Eurodif до эквивалентной природной степени обогащения
- Ed. (enr): дообогащение другой части хвостов Eurodif до степени обогащения
- 3,5%
- Ed. (tot): общее по обогащению всех хвостов Eurodif
- Ure.+Ed.: общее по обогащению всех хвостов Eurodif и Urenco
- Ref. case: эталонный вариант обогащения до 3,5% (для определения ценности продукта)

#### Предположения для массового баланса:

- Потери в процессе перевода из одной химической формы в другую не учитываются,
- Обедненный и природный UF<sub>6</sub> транспортируются в баллонах 48Y,
- Обогащенный UF<sub>6</sub> транспортируется в баллонах 30B,
- Дообогатительный процесс разделен на два последовательных шага (для расчетов), хотя физически это один процесс:
  - Шаг 1: выполняется Росатомом для Urenco и Eurodif
  - Шаг 2: выполняется Росатомом в собственных целях, степень обогащения 0,71% (эквивалент природному)

#### Предположения для финансового баланса:

- Urenco и Eurodif оплачивают эксплуатационные расходы только для шага 1 дообогатительного процесса,
- Три варианта для расчета связанных с утилизацией хвостов затрат, на которых «экономят» Urenco и Eurodif:
  - US: расчеты ДЭ США в отношении захоронения в виде U3O<sub>8</sub> в зацементированной шахте,
  - UR: как предусмотрено Urenco,
  - DE: предварительная стоимость для захоронения в виде U3O<sub>8</sub> в зацементированном могильнике в хранилище высоко-активных отходов в Германии.
- Два варианта затрат по утилизации хвостов для Росатома: US and UR (см. выше)
- Для оценки стоимости получаемых эквивалентного природному урана и обогащенного урана используются соответствующие рыночные цены.
- Используемые цены представляют собой рыночные цены на указанные даты, информация получена от Ux Consulting Company, LLC, <http://www.uxc.com>; изменения цены в течение года не учитываются.
- Курс валют получен на «The Currency Site» <http://www.oanda.com/> (для периода предшествующего введению Euro, подсчет произведен в DEM, конвертированных в EUR с использованием официального кросс-курса DEM/EUR = 1,95583).

#### Условные обозначения:

t - тонна, % - процент по массе, \$ - доллар США

U<sub>neq</sub> – «эквивалентный природному» уран (степенью обогащения , 0,71%)

Прибыль UE: прибыль Urenco / Eurodif

Прибыль R: прибыль Росатома

Импорт ядерных отходов

| ГОДОВОЙ МАССОВЫЙ БАЛАНС<br>ВАР. N                          | Urenco   | Ed.<br>(neq) | Ed.<br>(enr) | Ed. tot  | Ure.+Ed. | Ref.<br>Case |
|--|----------|--------------|--------------|----------|----------|--------------|
| <b>Постоянные величины</b>                                 |          |              |              |          |          |              |
| Соотношение по массе U/UF6                                 | 0,676    | 0,676        | 0,676        |          |          | 0,676        |
| Соотношение по массе U/U3O8                                | 0,848    | 0,848        | 0,848        |          |          |              |
| lb U3O8 / кг U   | 2,600    | 2,600        | 2,600        |          |          |              |
| Вместимость баллона 48Y [т UF6]                            | 12,501   | 12,501       | 12,501       |          |          |              |
| Вместимость баллона 30B [т UF6]                            |          |              | 2,277        |          |          |              |
| <b>Обогащение Urenco/Eurodif</b>                           |          |              |              |          |          |              |
| Степень обогащения сырья [% U235]                          | 0,71     | 0,71         | 0,71         |          |          |              |
| Степень обогащения продукта [% U235]                       | 3,60     | 3,60         | 3,60         |          |          |              |
| Степень обогащения хвостов [% U235]                        | 0,30     | 0,35         | 0,35         |          |          |              |
| Количество сырья Unat в UF6 [т U]                          | 7993,08  | 4436,00      | 3435,97      | 7871,97  | 15865,05 |              |
| Количество сырья UF6 [т UF6]                               | 11820,81 | 6560,32      | 5081,39      | 11641,71 | 23462,52 |              |
| Количество продукта UF6 [т UF6]                            | 1468,65  | 726,68       | 562,86       | 1289,54  | 2758,19  |              |
| Количество продукта U в UF6 [т U]                          | 993,08   | 491,37       | 380,60       | 871,97   | 1865,05  |              |
| Количество хвостов UF6 [т UF6]                             | 10352,17 | 5833,63      | 4518,53      | 10352,16 | 20704,33 |              |
| Количество хвостов U в UF6 [т U]                           | 7000,00  | 3944,63      | 3055,37      | 7000,00  | 14000,00 |              |
| Количество баллонов 48Y для хвостов                        | 829      | 467          | 362          | 829      | 1658     |              |
| Работа по разделению [млн. ед. разд.]                      | 4,50     | 2,03         | 1,57         | 3,60     | 8,10     |              |
| <b>Дообогащение хвостов Шаг 1</b>                          |          |              |              |          |          |              |
| Степень обогащения сырья [% U235]                          | 0,30     | 0,35         | 0,35         |          |          | 0,71         |
| Степень обогащения продукта [% U235]                       | 0,71     | 0,71         | 3,50         |          |          | 3,50         |
| Степень обогащения хвостов [% U235]                        | 0,224    | 0,21         | 0,21         |          |          | 0,35         |
| Количество сырья UF6 [т UF6]                               | 10352,17 | 5833,63      | 4518,53      | 10352,16 | 20704,33 | 1682,20      |
| Количество сырья U в UF6 [т U]                             | 7000,00  | 3944,63      | 3055,37      | 7000,00  | 14000,00 | 1137,48      |
| Количество продукта [т UF6]                                | 1618,86  | 1633,42      | 192,28       |          |          | 192,25       |
| Количество продукта U в UF6 [т U]                          | 1094,65  | 1104,50      | 130,02       |          |          | 130,00       |
| Количество баллонов 48Y для продукта U <sub>neq</sub>      | 130      | 131          |              | 131      | 261      |              |
| Количество баллонов 30B для продукта U <sub>enr</sub>      |          |              | 85           | 85       | 85       |              |
| Количество хвостов [т UF6]                                 | 8733,31  | 4200,22      | 4326,25      | 8526,47  | 17259,78 | 1489,95      |
| Количество хвостов U в UF6 [т U]                           | 5905,35  | 2840,13      | 2925,35      | 5765,49  | 11670,84 | 1007,48      |
| Работа по разделению [млн. ед. разд.]                      | 0,79     | 0,67         | 1,21         | 1,88     | 2,67     | 0,51         |
| <b>Дообогащение хвостов Шаг 2</b>                          |          |              |              |          |          |              |
| Степень обогащения сырья [% U235]                          | 0,224    | 0,21         | 0,21         |          |          |              |
| Степень обогащения продукта [% U235]                       | 0,71     | 0,71         | 0,71         |          |          |              |
| Степень обогащения хвостов [% U235]                        | 0,10     | 0,10         | 0,10         |          |          |              |
| Количество сырья UF6 [т U]                                 | 8733,31  | 4200,22      | 4326,25      | 8526,47  | 17259,78 |              |
| Количество сырья U в UF6 [т U]                             | 5905,35  | 2840,13      | 2925,35      | 5765,49  | 11670,84 |              |
| Количество продукта [т UF6]                                | 1775,30  | 757,42       | 780,14       | 1537,56  | 3312,86  |              |
| Количество продукта U в UF6 [т U]                          | 1200,43  | 512,15       | 527,52       | 1039,68  | 2240,11  |              |
| Количество хвостов [т UF6]                                 | 6958,01  | 3442,80      | 3546,11      | 6988,91  | 13946,92 |              |
| Количество хвостов U in UF6 [т U]                          | 4704,92  | 2327,98      | 2397,83      | 4725,81  | 9430,73  |              |
| Количество баллонов 48Y для хвостов                        | 557      | 276          | 284          | 560      | 1117     |              |
| Остаточный U <sub>neq</sub> , содержащийся в хвостах [т U] | 662,66   | 327,88       | 337,72       | 665,61   | 1328,27  |              |
| Работа по разделению [млн. ед. разд.]                      | 2,42     | 1,11         | 1,14         | 2,25     | 4,67     |              |

| <b>УДЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ<br/>УТИЛИЗАЦИИ ХВОСТОВ</b>               | <b>Urenco</b> | <b>Ed. (neq)</b> | <b>Ed. (enr)</b> | <b>Ed. tot</b> | <b>Ure.+Ed.</b> | <b>Ref. Case</b> |
|--|---------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|------------------|
| <b>Удельная стоимость утилизации хвостов (DE)</b>              |               |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость перевода UF6 в U3O8 [EUR/kg UF6]            | 1,60          |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость перевода UF6 в U3O8 [EUR/kg U]              | 2,37          |                  |                  |                |                 |                  |
| Стоимость хранения 200-литровой емкости [EUR]                  | 7670,00       |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость хранения за литр [EUR/л]                    | 38,35         |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельный объем хранения на т U3O8 [л/т U3O8]                   | 550,00        |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость хранения на кг U3O8 [EUR/кг U3O8]           | 21,09         |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость хранения на кг U в виде U3O8 [EUR/кг U]     | 24,87         |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость хранения на кг UF6 в виде U3O8 [EUR/кг UF6] | 16,82         |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость утилизации (перевод + хранение) [EUR/кг U]  | 27,24         | 27,24            | 27,24            |                |                 |                  |
| - то же для UF6 [EUR/кг UF6]                                   | 18,42         | 18,42            | 18,42            |                |                 |                  |
|  |               |                  |                  |                |                 |                  |
| <b>Удельная стоимость утилизации хвостов (UR)</b>              |               |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость утилизации (перевод + хранение) [EUR/кг U]  | 7,03          | 7,03             | 7,03             |                |                 |                  |
| - то же для UF6 [EUR/кг UF6]                                   | 4,75          | 4,75             | 4,75             |                |                 |                  |
|  |               |                  |                  |                |                 |                  |
| <b>Удельная стоимость утилизации хвостов (US)</b>              |               |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость перевода UF6 в U3O8 [\$/кг UF6]             | 0,48          |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость хранения на кг UF6 в виде U3O8 [\$/кг UF6]  | 2,49          |                  |                  |                |                 |                  |
| Удельная стоимость утилизации (перевод + хранение) [\$/кг UF6] | 2,97          | 2,97             | 2,97             |                |                 |                  |
| - то же для U [\$/кг U]  | 4,39          | 4,39             | 4,39             |                |                 |                  |

# Импорт ядерных отходов

| ГODOVОЙ ФИНАНСОВЫЙ БАЛАНС<br>Вар. N, 25 декабря 1995                          | Urenco  | Ed. (neq) | Ed. (enr) | Ed. tot | Ure.+Ed. | Ref. Case |
|---|---------|-----------|-----------|---------|----------|-----------|
| <b>Основные показатели</b>  |         |           |           |         |          |           |
| цена Unat [\$/lb U3O8]  | 12,25   | 12,25     | 12,25     |         |          |           |
| цена Unat в виде U3O8 [\$/кг U]   | 31,85   | 31,85     | 31,85     |         |          |           |
| удельная стоимость перевода U3O8 в UF6 [\$/кг U]                              | 5,85    | 5,85      | 5,85      |         |          |           |
| цена Unat в виде UF6 [\$/кг U]  | 37,70   | 37,70     | 37,70     |         |          | 37,70     |
| Кросс-курс [EUR/\$]   | 0,74    | 0,74      | 0,74      |         |          |           |
| <b>Обогатительный завод Urenco/Eurodif</b>                                    |         |           |           |         |          |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (DE) [млн. \$]                    | 257,67  | 145,20    | 112,47    | 257,67  | 515,34   |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                    | 66,50   | 37,47     | 29,03     | 66,50   | 133,00   |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                    | 30,75   | 17,33     | 13,42     | 30,75   | 61,49    |           |
| <b>Добогашение хвостов Шаг 1</b>  |         |           |           |         |          |           |
| Удельная стоимость транспортировки [\$/кг UF6]                                | 1,50    | 1,50      | 1,50      |         |          |           |
| Транспортные расходы [млн. \$]  | 17,96   | 11,20     | 7,07      | 18,27   | 36,22    |           |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$/ед. разд.]                         | 20,00   | 20,00     | 20,00     |         |          | 95,00     |
| Стоимость работ по разделению [млн. \$]                                       | 15,76   | 13,49     | 24,20     | 37,69   | 53,45    | 48,92     |
| Стоимость работ по разделению на кг произведенного U <sub>neq</sub> [\$/кг U] | 14,39   | 12,22     |           |         |          |           |
| Стоимость работ по разделению на т затраченного UF6 [\$/т UF6]                | 1522,08 | 2312,79   | 5355,10   |         |          |           |
| цена, уплаченная за добогашение [млн. \$]                                     | 15,76   | 13,49     | 24,20     |         |          |           |
| Рыночная стоимость продукта в виде UF6 [млн. \$]                              | 41,27   | 41,64     | 91,80     | 133,44  | 174,71   | 91,80     |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                    | 56,10   | 26,98     | 27,79     | 54,77   | 110,87   |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                    | 25,94   | 12,47     | 12,85     | 25,32   | 51,26    |           |
| прибыль UE1NO = стоим. продукта ./ трансп. ./ разделение [млн. \$]            | 7,56    | 16,95     | 60,54     | 77,49   | 85,04    |           |
| прибыль UE1DE = UE1NO + сэконом. утилизация (DE) [млн. \$]                    | 265,22  | 162,15    | 173,01    | 335,16  | 600,38   |           |
| прибыль UE1UR = UE1NO + сэкон. утил. (UR) [млн. \$]                           | 74,06   | 54,42     | 89,57     | 143,99  | 218,04   |           |
| прибыль UE1US = UE1NO + сэкон. утил. (US) [млн. \$]                           | 38,30   | 34,27     | 73,96     | 108,23  | 146,53   |           |
| profit R1UR = цена добог. ./ разделение ./ захор. (UR) [млн. \$]              | -56,10  | -26,98    | -27,79    | -54,77  | -110,87  |           |
| profit R1US = цена добог. ./ разделение ./ захор. (US) [млн. \$]              | -25,94  | -12,47    | -12,85    | -25,32  | -51,26   |           |
| <b>Добогашение хвостов Шаг 2</b>  |         |           |           |         |          |           |
| Удельная стоимость работ поразделению [\$/ед. разд.]                          | 20,00   | 20,00     | 20,00     |         |          |           |
| Стоимость работ по разделению [млн. \$]                                       | 48,43   | 22,18     | 22,84     | 45,02   | 93,45    |           |
| Стоимость работ по разделению на кг произведенного U <sub>neq</sub> [\$/кг U] | 40,35   | 43,30     | 43,30     | 43,30   | 41,72    |           |
| Стоимость работ по разделению на т сырья UF6 [\$/т UF6]                       | 5545,87 | 5279,52   | 5279,52   | 5279,52 | 5414,29  |           |
| Рыночная ценность продукта U <sub>neq</sub> в виде UF6 [млн. \$]              | 45,26   | 19,31     | 19,89     | 39,20   | 84,45    |           |
| стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                                  | 44,70   | 22,12     | 22,78     | 44,90   | 89,59    |           |
| стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                                  | 20,67   | 10,23     | 10,53     | 20,76   | 41,42    |           |
| прибыль R2NO = R1 + ценн. прод. + сэкон. утил. ./ разделение [млн. \$]        | -3,18   | -2,87     | -2,95     | -5,82   | -9,00    |           |
| прибыль R2UR = R2NO ./ стоим. захор. (UR) [млн. \$]                           | -47,87  | -24,98    | -25,73    | -50,72  | -98,59   |           |
| прибыль R2US = R2NO ./ стоим. захор. (US) [млн. \$]                           | -23,84  | -13,09    | -13,48    | -26,58  | -50,42   |           |

| ГОДОВОЙ ФИНАНСОВЫЙ БАЛАНС<br>Вар. N, 25 декабря 2000                      | Urenco  | Ed. (neq) | Ed. (enr) | Ed. tot | Ure.+Ed | Ref. Case |
|---|---------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|
| <b>Основные показатели</b>  |         |           |           |         |         |           |
| цена Unat [\$/lb U3O8]  | 7,10    | 7,10      | 7,10      |         |         |           |
| цена Unat в виде U3O8 [\$/кг U]   | 18,46   | 18,46     | 18,46     |         |         |           |
| Удельная стоимость перевода U3O8 в UF6 [\$/кг U]                          | 4,25    | 4,25      | 4,25      |         |         |           |
| цена Unat в виде UF6 [\$/кг U]  | 22,71   | 22,71     | 22,71     |         |         | 22,71     |
| Кросс-курс [EUR/\$]   | 1,08    | 1,08      | 1,08      |         |         |           |
| <b>Обогащительный завод Urenco/Eurodif</b>                                |         |           |           |         |         |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (DE) [млн. \$]                | 176,55  | 99,49     | 77,06     | 176,55  | 353,10  |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                | 45,56   | 25,68     | 19,89     | 45,56   | 91,13   |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                | 30,75   | 17,33     | 13,42     | 30,75   | 61,49   |           |
| <b>Добогащение хвостов Шаг 1</b>  |         |           |           |         |         |           |
| Удельная стоимость транспортировки [\$/кг UF6]                            | 1,50    | 1,50      | 1,50      |         |         |           |
| Транспортные расходы [млн. \$]  | 17,96   | 11,20     | 7,07      | 18,27   | 36,22   |           |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$/ед. разд.]                     | 20,00   | 20,00     | 20,00     |         |         | 95,00     |
| Стоимость работ по разделению [млн. \$]                                   | 15,76   | 13,49     | 24,20     | 37,69   | 53,45   | 43,26     |
| Стоимость работ по разделению на кг произведенного Uneq [\$/кг U]         | 14,39   | 12,22     |           |         |         |           |
| Стоимость работ по разделению на т затраченного UF6 [\$/т UF6]            | 1522,08 | 2312,79   | 5355,10   |         |         |           |
| цена, уплаченная за добогащение [млн. \$]                                 | 15,76   | 13,49     | 24,20     |         |         |           |
| Рыночная стоимость продукта в виде UF6 [млн. \$]                          | 24,86   | 25,08     | 69,09     | 94,17   | 119,03  | 69,09     |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                | 38,44   | 18,49     | 19,04     | 37,53   | 75,97   |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                | 25,94   | 12,47     | 12,85     | 25,32   | 51,26   |           |
| прибыль UE1NO = стоим. продукта ./ . трансп. ./ . разделение [млн. \$]    | -8,85   | 0,39      | 37,82     | 38,22   | 29,36   |           |
| прибыль UE1DE = UE1NO + сэкон. утил. (DE) [млн. \$]                       | 167,70  | 99,88     | 114,89    | 214,77  | 382,46  |           |
| прибыль UE1UR = UE1NO + сэкон. утил. (UR) [млн. \$]                       | 36,71   | 26,07     | 57,71     | 83,78   | 120,49  |           |
| прибыль UE1US = UE1NO + сэкон. утил. (US) [млн. \$]                       | 21,89   | 17,72     | 51,24     | 68,96   | 90,85   |           |
| прибыль R1UR = цена добог. ./ . разделение ./ . захор.(UR) [млн. \$]      | -38,44  | -18,49    | -19,04    | -37,53  | -75,97  |           |
| прибыль R1US = цена добог. ./ . разделение ./ . захор.(US) [млн. \$]      | -25,94  | -12,47    | -12,85    | -25,32  | -51,26  |           |
| <b>Добогащение хвостов Шаг 2</b>  |         |           |           |         |         |           |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$/ед. разд.]                     | 20,00   | 20,00     | 20,00     |         |         |           |
| Стоимость работ по разделению [млн. \$]                                   | 48,43   | 22,18     | 22,84     | 45,02   | 93,45   |           |
| Стоимость работ по разделению на кг произведенного Uneq [\$/кг U]         | 40,35   | 43,30     | 43,30     | 43,30   | 41,72   |           |
| Стоимость работ по разделению на т сырья UF6 [\$/т UF6]                   | 5545,87 | 5279,52   | 5279,52   | 5279,52 | 5414,29 |           |
| Рыночная ценность продукта Uneq в виде UF6 [млн. \$]                      | 27,26   | 11,63     | 11,98     | 23,61   | 50,87   |           |
| стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                              | 30,63   | 15,15     | 15,61     | 30,76   | 61,39   |           |
| стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                              | 20,67   | 10,23     | 10,53     | 20,76   | 41,42   |           |
| прибыль R2NO = R1 + ценн. прод. + сэкон. утил. ./ . разделение. [млн. \$] | -21,17  | -10,54    | -10,86    | -21,40  | -42,58  |           |
| прибыль R2UR = R2NO ./ . стоим. захор. (UR) [млн. \$]                     | -51,80  | -25,70    | -26,47    | -52,17  | -103,96 |           |
| прибыль R2US = R2NO ./ . стоим. захор. (US) [млн. \$]                     | -41,84  | -20,77    | -21,39    | -42,16  | -84,00  |           |



# Импорт ядерных отходов

| ГОДОВОЙ ФИНАНСОВЫЙ БАЛАНС<br>Вар. N, 25 ноября 2004                    | Urenco  | Ed. (neq) | Ed. (enr) | Ed. tot | Ure.+Ed . | Ref. Case |
|--|---------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|
| <b>Основные показатели</b>   |         |           |           |         |           |           |
| цена Unat [\$/lb U3O8]   | 20,25   | 20,25     | 20,25     |         |           |           |
| цена Unat в виде U3O8 [\$/кг U]  | 52,65   | 52,65     | 52,65     |         |           |           |
| Удельная стоимость перевода U3O8 в UF6 [\$/кг U]                       | 10,00   | 10,00     | 10,00     |         |           |           |
| цена Unat в виде UF6 [\$/кг U]   | 62,65   | 62,65     | 62,65     |         |           | 62,65     |
| Кросс-курс [EUR/\$]  | 0,77    | 0,77      | 0,77      |         |           |           |
| <b>Обогатительный завод Urenco/Eurodif</b>                             |         |           |           |         |           |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (DE) [млн. \$]             | 247,63  | 139,54    | 108,09    | 247,63  | 495,26    |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]             | 63,91   | 36,01     | 27,90     | 63,91   | 127,28    |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]             | 30,75   | 17,33     | 13,42     | 30,75   | 61,49     |           |
| <b>Дообогащение хвостов Шаг 1</b>                                      |         |           |           |         |           |           |
| Удельная стоимость транспортировки [\$/кг UF6]                         | 1,50    | 1,50      | 1,50      |         |           |           |
| Стоимость транспортировки [млн. \$]                                    | 17,96   | 11,20     | 7,07      | 18,27   | 36,22     |           |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$/ед. разд.]                  | 20,00   | 20,00     | 20,00     |         |           | 110,00    |
| Стоимость работ по разделению [млн. \$]                                | 15,76   | 13,49     | 24,20     | 37,69   | 53,45     | 56,64     |
| Стоимость работ по разделению на кг произведенного Uneq [\$/кг U]      | 14,39   | 12,22     |           |         |           |           |
| Стоимость работ по разделению т затраченного UF6 [\$/т UF6]            | 1522,08 | 2312,79   | 5355,10   |         |           |           |
| цена, уплаченная за дообогащение [млн. \$]                             | 15,76   | 13,49     | 24,20     |         |           |           |
| Рыночная ценность продукта в виде UF6 [млн. \$]                        | 68,58   | 69,20     | 127,91    | 197,10  | 265,68    | 127,91    |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]             | 53,92   | 25,93     | 26,71     | 52,64   | 106,55    |           |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]             | 25,94   | 12,47     | 12,85     | 25,32   | 51,26     |           |
| прибыль UE1NO = стоим. продукта ./ трансп. ./ разделение [млн. \$]     | 34,87   | 44,50     | 96,64     | 141,15  | 176,01    |           |
| прибыль UE1DE = UE1NO + сэкон. утил. (DE) [млн. \$]                    | 282,50  | 184,05    | 204,73    | 388,78  | 671,27    |           |
| прибыль UE1UR = UE1NO + сэкон. утил. (UR) [млн. \$]                    | 98,78   | 80,52     | 124,54    | 205,06  | 303,83    |           |
| прибыль UE1US = UE1NO + сэкон. утил. (US) [млн. \$]                    | 65,61   | 61,83     | 110,06    | 171,89  | 237,51    |           |
| прибыль R1UR = цена дообог. ./ разделение ./ захор.(UR) [млн. \$]      | -53,92  | -25,93    | -26,71    | -52,64  | -106,55   |           |
| прибыль R1US = цена дообог. ./ разделение ./ захор.(US) [млн. \$]      | -25,94  | -12,47    | -12,85    | -25,32  | -51,26    |           |
| <b>Дообогащение хвостов Шаг 2</b>                                      |         |           |           |         |           |           |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$/ед. разд.]                  | 20,00   | 20,00     | 20,00     |         |           |           |
| Стоимость работ по разделению [млн. \$]                                | 48,43   | 22,18     | 22,84     | 45,02   | 93,45     |           |
| Стоимость работ по разделению на кг произведенного Uneq [\$/кг U]      | 40,35   | 43,30     | 43,30     | 43,30   | 41,72     |           |
| Стоимость работ по разделению на т сырья UF6 [\$/т UF6]                | 5545,87 | 5279,52   | 5279,52   | 5279,52 | 5414,29   |           |
| Рыночная ценность продукта Uneq в виде UF6 [млн. \$]                   | 75,21   | 32,09     | 33,05     | 65,14   | 140,34    |           |
| стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                           | 42,96   | 21,25     | 21,89     | 43,15   | 86,10     |           |
| стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                           | 20,67   | 10,23     | 10,53     | 20,76   | 41,42     |           |
| прибыль R2NO = R1 + ценн. прод. + сэкон. утил. ./ разделение [млн. \$] | 26,77   | 9,91      | 10,21     | 20,12   | 46,89     |           |
| прибыль R2UR = R2NO ./ стоим. захор. (UR) [млн. \$]                    | -16,18  | -11,34    | -11,68    | -23,03  | -39,21    |           |
| прибыль R2US = R2NO ./ стоим. захор. (US) [млн. \$]                    | 6,11    | -0,31     | -0,32     | -0,64   | 5,47      |           |

## Вариант В

Продукт, получаемый в результате дообогащения вторичных хвостов, осуществляемого Росатомом в своих собственных целях, представляет собой **урансодержащий (степень обогащения 1,5%) материал**, предназначенный для смешивания с ВОО.

### Разделы таблицы:

- Urenco: дообогащение хвостов Urenco до эквивалентной природной степени обогащения
- Ed. (neq): дообогащение части хвостов Eurodif до эквивалентной природной степени обогащения
- Ed. (enr): дообогащение другой части хвостов Eurodif до степени обогащения 3,5%
- Ed. (tot): общее по обогащению всех хвостов Eurodif
- Ure.+Ed.: общее по обогащению всех хвостов Eurodif и Urenco
- Ref. case: эталонный вариант дообогащения до 3,5% (для определения ценности продукта)

### Предположения для массового баланса:

- Потери в процессе перевода из одной хим. формы в другую не учитываются,
- Обедненный и природный UF<sub>6</sub> транспортируются в баллонах 48Y,
- Обогащенный UF<sub>6</sub> транспортируется в баллонах 30B,
- Дообогащительный процесс разделен на два последовательных шага (для расчетов), хотя физически это один процесс:
  - Шаг 1: выполняется Росатомом для Urenco и Eurodif
  - Шаг 2: выполняется Росатомом в собственных целях, степень обогащения 1,5% (материал для смешивания с ВОО)

### Предположения для финансового баланса:

- Urenco и Eurodif оплачивают эксплуатационные расходы только для шага 1 дообогащительного процесса,
- Три варианта для расчета связанных с утилизацией хвостов затрат, на которых «экономят» Urenco и Eurodif:
  - US: расчеты ДЭ США в отношении захоронения в виде U3O<sub>8</sub> в зацементированной шахте,
  - UR: как предусмотрено Urenco,
  - DE: предварительная стоимость захоронения в виде U3O<sub>8</sub> в зацементированном могильнике в хранилище высоко-активных отходов в Горлебене (Германия).
- Два варианта затрат по утилизации хвостов для Росатома: US and UR (см. выше)
- Для оценки стоимости природного и обогащенного урана, а также получаемого урансодержащего материала используются соответствующие рыночные цены.
- Используемые цены представляют собой рыночные цены на указанные даты, информация получена от Ux Consulting Company, LLC, <http://www.uxc.com>; изменения цены в течение года не учитываются.
- Курс валют получен на «The Currency Site» <http://www.oanda.com/> (для периода предшествующего введению Euro, подсчет произведен в DEM, конвертированных в EUR с использованием официального кросс-курса DEM/EUR = 1,95583).

### Условные обозначения:

т - тонна, % - процент по массе, \$ - доллар США

Uneq – «эквивалентный природному» уран (степенью обогащения 0,71%)

Прибыль UE: прибыль Urenco / Eurodif

Прибыль R: прибыль Росатома

| ГОДОВОЙ МАССОВЫЙ БАЛАНС<br>ВАР. В             | Urenco   | Ed.<br>(neq) | Ed.<br>(enr) | Ed. tot  | Ure.+Ed<br>. | Ref.<br>Case |
|---|----------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|
| <b>Постоянные величины</b>                    |          |              |              |          |              |              |
| Соотношение по массе U/UF6                    | 0,676    | 0,676        | 0,676        |          |              | 0,676        |
| Соотношение по массе U/U3O8                   | 0,848    | 0,848        | 0,848        |          |              |              |
| lb U3O8 / кг U                                | 2,600    | 2,600        | 2,600        |          |              |              |
| Вместимость баллона 48Y [т UF6]               | 12,501   | 12,501       | 12,501       |          |              |              |
| Вместимость баллона 30B [т UF6]               |          |              | 2,277        |          |              | 2,277        |
|   |          |              |              |          |              |              |
| <b>Обогащение Urenco/Eurodif</b>              |          |              |              |          |              |              |
| Степень обогащения сырья [% U235]             | 0,71     | 0,71         | 0,71         |          |              |              |
| Степень обогащения продукта [% U235]          | 3,60     | 3,60         | 3,60         |          |              |              |
| Степень обогащения хвостов [% U235]           | 0,30     | 0,35         | 0,35         |          |              |              |
| Количество сырья Unat в UF6 [т U]             | 7993,08  | 4436,00      | 3435,97      | 7871,97  | 15865,05     |              |
| Количество сырья UF6 [т UF6]                  | 11820,81 | 6560,32      | 5081,39      | 11641,71 | 23462,52     |              |
| Количество продукта UF6 [т UF6]               | 1468,65  | 726,68       | 562,86       | 1289,54  | 2758,19      |              |
| Количество продукта U в UF6 [т U]             | 993,08   | 491,37       | 380,60       | 871,97   | 1865,05      |              |
| Количество хвостов UF6 [т UF6]                | 10352,17 | 5833,63      | 4518,53      | 10352,16 | 20704,33     |              |
| Количество хвостов U в UF6 [т U]              | 7000,00  | 3944,63      | 3055,37      | 7000,00  | 14000,00     |              |
| Количество баллонов 48Y для хвостов           | 829      | 467          | 362          | 829      | 1658         |              |
| Работа по разделению [млн. ед. разд.]         | 4,50     | 2,03         | 1,57         | 3,60     | 8,10         |              |
|   |          |              |              |          |              |              |
| <b>Дообогащение хвостов Шаг 1</b>             |          |              |              |          |              |              |
| Степень обогащения сырья [% U235]             | 0,30     | 0,35         | 0,35         |          |              | 0,71         |
| Степень обогащения продукта [% U235]          | 0,71     | 0,71         | 3,50         |          |              | 3,50         |
| Степень обогащения хвостов [% U235]           | 0,224    | 0,21         | 0,21         |          |              | 0,35         |
| Количество сырья UF6 [т UF6]                  | 10352,17 | 5833,63      | 4518,53      | 10352,16 | 20704,33     | 1682,00      |
| Количество сырья U в UF6 [т U]                | 7000,00  | 3944,63      | 3055,37      | 7000,00  | 14000,00     | 1137,35      |
| Количество продукта [т UF6]                   | 1618,86  | 1633,42      | 192,28       |          |              | 192,23       |
| Количество продукта U в UF6 [т U]             | 1094,65  | 1104,50      | 130,02       |          |              | 129,98       |
| Количество баллонов 48Y для продукта Uneq     | 130      | 131          |              | 131      | 261          |              |
| Количество баллонов 30B для продукта Uenr     |          |              | 85           | 85       | 85           | 85           |
| Количество хвостов [т UF6]                    | 8733,31  | 4200,22      | 4326,25      | 8526,47  | 17259,78     | 1489,77      |
| Количество хвостов U в UF6 [т U]              | 5905,35  | 2840,13      | 2925,35      | 5765,49  | 11670,84     | 1007,36      |
| Работа по разделению [млн. ед. разд.]         | 0,79     | 0,67         | 1,21         | 1,88     | 2,67         | 0,51         |
|   |          |              |              |          |              |              |
| <b>Дообогащение хвостов Шаг 2</b>             |          |              |              |          |              |              |
| Степень обогащения сырья [% U235]             | 0,224    | 0,21         | 0,21         |          |              | 0,71         |
| Степень обогащения продукта [% U235]          | 1,50     | 1,50         | 1,50         |          |              | 1,50         |
| Степень обогащения хвостов [% U235]           | 0,10     | 0,10         | 0,10         |          |              | 0,30         |
| Количество сырья UF6 [т U]                    | 8733,31  | 4200,22      | 4326,25      | 8526,47  | 17259,78     | 4224,75      |
| Количество сырья U в UF6 [т U]                | 5905,35  | 2840,13      | 2925,35      | 5765,49  | 11670,84     | 2856,72      |
| Количество продукта [т UF6]                   | 773,52   | 330,02       | 339,92       | 669,94   | 1443,46      | 1443,46      |
| Количество продукта U в UF6 [т U]             | 523,05   | 223,15       | 229,85       | 453,00   | 976,05       | 976,05       |
| Количество хвостов [т UF6]                    | 7959,79  | 3870,20      | 3986,33      | 7856,53  | 15816,32     | 2781,29      |
| Количество хвостов U in UF6 [т U]             | 5382,30  | 2616,98      | 2695,51      | 5312,48  | 10694,79     | 1880,67      |
| Количество баллонов 48Y для хвостов           | 637      | 310          | 319          | 629      | 1266         |              |
| остаточный Uneq, содержащийся в хвостах [т U] | 758,07   | 368,59       | 379,65       | 748,24   | 1506,31      | 794,65       |
| Работа по разделению [млн. ед. разд.]         | 3,37     | 1,51         | 1,56         | 3,07     | 6,44         | 0,90         |

| <b>УДЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ УТИЛИЗАЦИИ ХВОСТОВ</b>                    | <b>Urenco</b> | <b>Ed.<br/>(neq)</b> | <b>Ed.<br/>(enr)</b> | <b>Ed.<br/>tot</b> | <b>Ure.+<br/>Ed.</b> | <b>Ref.<br/>Case</b> |
|---|---------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Удельная стоимость утилизации хвостов (DE)</b>               |               |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость перевода UF6 в U3O8 [EUR/кг UF6]             | 1,60          |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость перевода UF6 в U3O8 [EUR/кг U]               | 2,37          |                      |                      |                    |                      |                      |
| Стоимость хранения 200-литровой емкости [EUR]                   | 7670,00       |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость хранения на литр [EUR/л]                     | 38,35         |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельный объем хранения на т U3O8 [л/т U3O8]                    | 550,00        |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость хранения на кг U3O8 [EUR/kg U3O8]            | 21,09         |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость хранения на кг U в виде U3O8 [EUR/кг U]      | 24,87         |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость хранения на кг UF6 в виде U3O8 [EUR/кг UF6]  | 16,82         |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость утилизации (перевод + хранение) [EUR/кг U]   | 27,24         | 27,24                | 27,24                |                    |                      |                      |
| - то же для UF6 [EUR/кг UF6]                                    | 18,42         | 18,42                | 18,42                |                    |                      |                      |
|   |               |                      |                      |                    |                      |                      |
| <b>Удельная стоимость утилизации хвостов (UR)</b>               |               |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость утилизации (перевод + хранение) [EUR/кг U]   | 7,03          | 7,03                 | 7,03                 |                    |                      |                      |
| - то же для UF6 [EUR/кг UF6]                                    | 4,75          | 4,75                 | 4,75                 |                    |                      |                      |
|   |               |                      |                      |                    |                      |                      |
| <b>Удельная стоимость утилизации хвостов (US)</b>               |               |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость перевода UF6 в U3O8 [\$ /кг UF6]             | 0,48          |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость хранения на кг UF6 as U3O8 [\$ /кг UF6]      | 2,49          |                      |                      |                    |                      |                      |
| Удельная стоимость утилизации (перевод + хранение) [\$ /кг UF6] | 2,97          | 2,97                 | 2,97                 |                    |                      |                      |
| - то же для U [\$ /кг U]  | 4,39          | 4,39                 | 4,39                 |                    |                      |                      |

| ГОДОВОЙ ФИНАНСОВЫЙ БАЛАНС<br>Вар. В, 25 декабря 1995                        | Urenco  | Ed.<br>(neq) | Ed.<br>(enr) | Ed. tot | Ure.+Ed. | Ref.<br>Case |
|---|---------|--------------|--------------|---------|----------|--------------|
| <b>Основные показатели</b>  |         |              |              |         |          |              |
| цена Unat [\$ / lb U3O8]  | 12,25   | 12,25        | 12,25        |         |          |              |
| цена Unat в виде U3O8 [\$ / кг U]   | 31,85   | 31,85        | 31,85        |         |          |              |
| Удельная стоимость перевода U3O8 в UF6 [\$ / кг U]                          | 5,85    | 5,85         | 5,85         |         |          |              |
| цена Unat в виде UF6 [\$ / кг U]  | 37,70   | 37,70        | 37,70        |         |          | 37,70        |
| Кросс-курс [EUR / \$]   | 0,74    | 0,74         | 0,74         |         |          |              |
| <b>Обогатительный завод Urenco/Eurodif</b>                                  |         |              |              |         |          |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (DE)<br>[млн. \$]               | 257,67  | 145,20       | 112,47       | 257,67  | 515,34   |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR)<br>[млн. \$]               | 66,50   | 37,47        | 29,03        | 66,50   | 133,00   |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US)<br>[млн. \$]               | 30,75   | 17,33        | 13,42        | 30,75   | 61,49    |              |
| <b>Дообогащение хвостов Шаг 1</b>   |         |              |              |         |          |              |
| Удельная стоимость транспортировки [\$ / кг UF6]                            | 1,50    | 1,50         | 1,50         |         |          |              |
| Стоимость транспортировки [млн. \$]   | 17,96   | 11,20        | 7,07         | 18,27   | 36,22    |              |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$ / ед. разд.]                     | 20,00   | 20,00        | 20,00        |         |          | 95,00        |
| стоимость работ по разделению [млн. \$]                                     | 15,76   | 13,49        | 24,20        | 37,69   | 53,45    | 48,92        |
| стоимость работ по разделению на кг произведенного<br>Uneq [\$ / кг U]      | 14,39   | 12,22        |              |         |          |              |
| стоимость работ по разделению на т затраченного<br>UF6 feed [\$ / т UF6]    | 1522,08 | 2312,79      | 5355,10      |         |          |              |
| цена, уплаченная за дообогащение [млн. \$]                                  | 15,76   | 13,49        | 24,20        |         |          |              |
| Рыночная стоимость продукта в виде UF6 [млн. \$]                            | 41,27   | 41,64        | 91,79        | 133,43  | 174,70   | 91,79        |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR)<br>[млн. \$]               | 56,10   | 26,98        | 27,79        | 54,77   | 110,87   |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US)<br>[млн. \$]               | 25,94   | 12,47        | 12,85        | 25,32   | 51,26    |              |
| прибыль UE1NO = стоим. продукта ./ . трансп. ./ .<br>разделение [млн. \$]   | 7,56    | 16,95        | 60,53        | 77,48   | 85,03    |              |
| прибыль UE1DE = UE1NO + сэкон. утил. (DE) [млн.<br>\$]                      | 265,22  | 162,15       | 173,00       | 335,14  | 600,37   |              |
| прибыль UE1UR = UE1NO + сэкон. утил. (UR) [млн.<br>\$]                      | 74,06   | 54,42        | 89,55        | 143,98  | 218,03   |              |
| прибыль UE1US = UE1NO + сэкон. утил. (US) [млн. \$]                         | 38,30   | 34,27        | 73,95        | 108,22  | 146,52   |              |
| прибыль R1UR = цена дообог. ./ . разделение ./ .<br>захор.(UR) [млн. \$]    | -56,10  | -26,98       | -27,79       | -54,77  | -110,87  |              |
| прибыль R1US = цена дообог. ./ . разделение ./ .<br>захор.(US) [млн. \$]    | -25,94  | -12,47       | -12,85       | -25,32  | -51,26   |              |
| <b>Дообогащение хвостов Шаг 2</b>   |         |              |              |         |          |              |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$ / ед. разд.]                     | 20,00   | 20,00        | 20,00        |         |          | 95,00        |
| Стоимость работ по разделению [млн. \$]                                     | 67,35   | 30,24        | 31,15        | 61,40   | 128,74   | 85,73        |
| Стоимость работ по разделению на кг произведенного<br>Uenr [\$ / кг U]      | 128,76  | 135,53       | 135,53       | 135,53  | 131,90   |              |
| Стоимость работ по разделению на т сырья UF6 [\$ / т<br>UF6]                | 7711,60 | 7200,72      | 7200,72      | 7200,72 | 7459,22  |              |
| Рыночная ценность продукта Uenr в виде UF6 [млн. \$]                        | 103,66  | 44,22        | 45,55        | 89,78   | 193,43   | 193,43       |
| стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                                | 51,13   | 24,86        | 25,61        | 50,47   | 101,60   |              |
| стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                                | 23,64   | 11,49        | 11,84        | 23,33   | 46,97    |              |
| прибыль R2NO = R1 + ценн. прод. + сэкон. утил. ./ .<br>разделение [млн. \$] | 36,31   | 13,98        | 14,40        | 28,38   | 64,69    |              |
| прибыль R2UR = R2NO ./ . стоим. захор. (UR) [млн. \$]                       | -14,82  | -10,88       | -11,21       | -22,09  | -36,91   |              |
| прибыль R2US = R2NO ./ . стоим. захор. (US) [млн. \$]                       | 12,67   | 2,48         | 2,56         | 5,04    | 17,71    |              |

| ГОДОВОЙ ФИНАНСОВЫЙ БАЛАНС<br>Вар. В, 25 декабря 2000                          | Urenco  | Ed.<br>(neq) | Ed.<br>(enr) | Ed.<br>tot | Ure.+<br>Ed. | Ref.<br>Case |
|---|---------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| <b>Основные показатели</b>  |         |              |              |            |              |              |
| цена Unat [\$/lb U3O8]  | 7,10    | 7,10         | 7,10         |            |              |              |
| цена Unat в виде U3O8 [\$/кг U]   | 18,46   | 18,46        | 18,46        |            |              |              |
| Удельная стоимость перевода U3O8 в UF6 [\$/кг U]                              | 4,25    | 4,25         | 4,25         |            |              |              |
| цена Unat в виде UF6 [\$/кг U]  | 22,71   | 22,71        | 22,71        |            |              | 22,71        |
| Кросс-курс [EUR/\$]   | 1,08    | 1,08         | 1,08         |            |              |              |
| <b>Обогатительный завод Urenco/Eurodif</b>                                    |         |              |              |            |              |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (DE) [млн. \$]                    | 176,55  | 99,49        | 77,06        | 176,55     | 353,10       |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                    | 45,56   | 25,68        | 19,89        | 45,56      | 91,13        |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                    | 30,75   | 17,33        | 13,42        | 30,75      | 61,49        |              |
| <b>Добобогащение хвостов Шаг 1</b>  |         |              |              |            |              |              |
| Удельная стоимость транспортировки [\$/кг UF6]                                | 1,50    | 1,50         | 1,50         |            |              |              |
| Стоимость транспортировки [млн. \$]   | 17,96   | 11,20        | 7,07         | 18,27      | 36,22        |              |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$/ед. разд.]                         | 20,00   | 20,00        | 20,00        |            |              | 84,00        |
| стоимость работ по разделению [млн. \$]                                       | 15,76   | 13,49        | 24,20        | 37,69      | 53,45        | 43,25        |
| стоимость работ по разделению на кг произведенного U <sub>neq</sub> [\$/кг U] | 14,39   | 12,22        |              |            |              |              |
| стоимость работ по разделению на т затраченного UF6 [\$/т UF6]                | 1522,08 | 2312,79      | 5355,10      |            |              |              |
| цена, уплаченная за дообогащение [млн. \$]                                    | 15,76   | 13,49        | 24,20        |            |              |              |
| Рыночная стоимость продукта в виде UF6 [млн. \$]                              | 24,68   | 25,08        | 69,08        | 94,16      | 119,02       | 69,08        |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                    | 38,44   | 18,49        | 19,04        | 37,53      | 75,97        |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                    | 25,94   | 12,47        | 12,85        | 25,32      | 51,26        |              |
| прибыль UE1NO = стоим. продукта ./ трансп. ./ разделение [млн. \$]            | -8,85   | 0,39         | 37,82        | 38,21      | 29,35        |              |
| прибыль UE1DE = UE1NO + сэкон. утил. (DE) [млн. \$]                           | 167,70  | 99,88        | 114,88       | 214,76     | 382,45       |              |
| прибыль UE1UR = UE1NO + сэкон. утил. (UR) [млн. \$]                           | 36,71   | 26,07        | 57,70        | 83,77      | 120,48       |              |
| прибыль UE1US = UE1NO + сэкон. утил. (US) [млн. \$]                           | 21,89   | 17,72        | 51,24        | 68,95      | 90,84        |              |
| прибыль R1UR = цена добог. ./ разделение ./ захор.(UR) [млн. \$]              | -38,44  | -18,49       | -19,04       | -37,53     | -75,97       |              |
| прибыль R1US = цена добог. ./ разделение ./ захор.(US) [млн. \$]              | -25,94  | -12,47       | -12,85       | -25,32     | -51,26       |              |
| <b>Добобогащение хвостов Шаг 2</b>  |         |              |              |            |              |              |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$/ед. разд.]                         | 20,00   | 20,00        | 20,00        |            |              | 84,00        |
| Стоимость работ по разделению [млн. \$]                                       | 67,35   | 30,24        | 31,15        | 61,40      | 128,74       | 75,81        |
| Стоимость работ по разделению на кг произведенного U <sub>enr</sub> [\$/кг U] | 128,76  | 135,53       | 135,53       | 135,53     | 131,90       |              |
| Стоимость работ по разделению на т сырья UF6 [\$/т UF6]                       | 7711,60 | 7200,72      | 7200,72      | 7200,72    | 7459,22      |              |
| Рыночная ценность продукта U <sub>enr</sub> в виде UF6 [млн. \$]              | 75,39   | 32,16        | 33,13        | 65,29      | 140,68       | 140,68       |
| стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                                  | 35,03   | 17,03        | 17,55        | 34,58      | 69,62        |              |
| стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                                  | 23,64   | 11,49        | 11,84        | 23,33      | 46,97        |              |
| прибыль R2NO = R1 + ценн. прод. + сэкон. утил. ./ разделение [млн. \$]        | 8,04    | 1,92         | 1,98         | 3,90       | 11,94        |              |
| прибыль R2UR = R2NO ./ стоим. захор. (UR) [млн. \$]                           | -26,99  | -15,12       | -15,57       | -30,68     | -57,68       |              |
| прибыль R2US = R2NO ./ стоим. захор. (US) [млн. \$]                           | -15,60  | -9,58        | -9,86        | -19,44     | -35,04       |              |

# Импорт ядерных отходов

| ГОДОВОЙ ФИНАНСОВЫЙ БАЛАНС<br>Вар. N, 25 ноября 2004                    | Urenco  | Ed.<br>(neq) | Ed.<br>(enr) | Ed. tot | Ure.+Ed | Ref.<br>Case |
|--|---------|--------------|--------------|---------|---------|--------------|
| <b>Основные показатели</b>   |         |              |              |         |         |              |
| цена Unat [\$/lb U3O8]   | 20,25   | 20,25        | 20,25        |         |         |              |
| цена Unat в виде U3O8 [\$/кг U]  | 52,65   | 52,65        | 52,65        |         |         |              |
| Удельная стоимость перевода U3O8 в UF6 [\$/кг U]                       | 10,00   | 10,00        | 10,00        |         |         |              |
| цена Unat в виде UF6 [\$/кг U]   | 62,65   | 62,65        | 62,65        |         |         | 62,65        |
| Кросс-курс [EUR/\$]  | 0,77    | 0,77         | 0,77         |         |         |              |
|  |         |              |              |         |         |              |
| <b>Обогатительный завод Urenco/Eurodif</b>                             |         |              |              |         |         |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (DE) [млн. \$]             | 247,63  | 139,54       | 108,09       | 247,63  | 495,26  |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]             | 63,91   | 36,01        | 27,90        | 63,91   | 127,82  |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]             | 30,75   | 17,33        | 13,42        | 30,75   | 61,49   |              |
|  |         |              |              |         |         |              |
| <b>Добогашение хвостов Шаг 1</b>                                       |         |              |              |         |         |              |
| Удельная стоимость транспортировки [\$/кг UF6]                         | 1,50    | 1,50         | 1,50         |         |         |              |
| Транспортные расходы [млн. \$]   | 17,96   | 11,20        | 7,07         | 18,27   | 36,22   |              |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$/ед. разд.]                  | 20,00   | 20,00        | 20,00        |         |         | 110,00       |
| Стоимость работ по разделению [млн. \$]                                | 15,76   | 13,49        | 24,20        | 37,69   | 53,45   | 56,64        |
| Стоимость работ по разделению на кг произведенного Uenq [\$/кг U]      | 14,39   | 12,22        |              |         |         |              |
| Стоимость работ по разделению на т затраченного UF6 [\$/т UF6]         | 1522,08 | 2312,79      | 5355,10      |         |         |              |
| цена, уплаченная за добогашение [млн. \$]                              | 15,76   | 13,49        | 24,20        |         |         |              |
| Рыночная ценность продукта в виде UF6 [млн. \$]                        | 68,58   | 69,20        | 127,89       | 197,09  | 265,67  | 127,89       |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]             | 53,92   | 25,93        | 26,71        | 52,64   | 106,55  |              |
| теоретическая стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]             | 25,94   | 12,47        | 12,85        | 25,32   | 51,26   |              |
| прибыль UE1NO = стоим. продукта ./ трансп. ./ разделение. [млн. \$]    | 34,87   | 44,50        | 96,63        | 141,13  | 176,00  |              |
| прибыль UE1DE = UE1NO + сэкон. утил. (DE) [млн. \$]                    | 282,50  | 184,05       | 204,71       | 388,76  | 671,26  |              |
| прибыль UE1UR = UE1NO + сэкон. утил. (UR) [млн. \$]                    | 98,78   | 80,52        | 124,52       | 205,04  | 303,82  |              |
| прибыль UE1US = UE1NO + сэкон. утил. (US) [млн. \$]                    | 65,61   | 61,83        | 110,05       | 171,88  | 237,49  |              |
| прибыль R1UR = цена добог. ./ разделение ./ захор.(UR) [млн. \$]       | -53,92  | -25,93       | -26,71       | -52,64  | -106,55 |              |
| прибыль R1US = цена добог. ./ разделение ./ захор.(US) [млн. \$]       | -25,94  | -12,47       | -12,85       | -25,32  | -51,26  |              |
|  |         |              |              |         |         |              |
| <b>Добогашение хвостов Шаг 2</b>                                       |         |              |              |         |         |              |
| Удельная стоимость работ по разделению [\$/ед. разд.]                  | 20,00   | 20,00        | 20,00        |         |         | 110,00       |
| Стоимость работ по разделению [млн. \$]                                | 67,35   | 30,26        | 31,15        | 61,40   | 128,74  | 99,27        |
| Стоимость работ по разделению на кг произведенного Uenr [\$/кг U]      | 128,76  | 135,53       | 135,53       | 135,53  | 131,90  |              |
| Стоимость работ по разделению на т сырья UF6 [\$/т UF6]                | 7711,60 | 7200,72      | 7200,72      | 7200,72 | 7459,22 |              |
| Рыночная ценность продукта Uenr в виде UF6 [млн. \$]                   | 149,11  | 63,61        | 65,52        | 129,14  | 278,24  | 278,24       |
| стоимость захоронения хвостов (UR) [млн. \$]                           | 49,14   | 23,89        | 24,61        | 48,50   | 97,64   |              |
| стоимость захоронения хвостов (US) [млн. \$]                           | 23,64   | 11,49        | 11,84        | 23,33   | 46,97   |              |
| прибыль R2NO = R1 + ценн. прод. + сэкон. утил. ./ разделение [млн. \$] | 81,76   | 33,37        | 34,37        | 67,74   | 149,50  |              |
| прибыль R2UR = R2NO ./ стоим. захор. (UR) [млн. \$]                    | 32,62   | 9,48         | 9,76         | 19,24   | 51,86   |              |
| прибыль R2US = R2NO ./ стоим. захор. (US) [млн. \$]                    | 58,12   | 21,88        | 22,53        | 44,41   | 102,52  |              |

## Глоссарий

Степень обогащения: концентрация изотопа (U-235, если не указан другой) в уране, обычно измеряется в процентах по массе

Урансодержащий продукт для смешивания: уран (\*низкообогащенный уран (НОУ), \*природный уран (Unat), или \*обедненный уран (DU), предназначенный для смешивания с \*ВОУ

Перевод: перевод урана из одной химической формы в другую (обычно из \*U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> в \*UF<sub>6</sub>, если не указано другое)

Обедненный уран (DU): уран (в любой химической форме) с содержанием изотопа U-235 ниже, чем в \*природном уране (< 0,711 % по массе)

ДЭ: Департамент энергетики США

Смешивание: смешивание ВОУ с урансодержащим материалом с целью получения НОУ, пригодного для производства ядерного топлива

DU: \*обедненный уран (depleted uranium)

Обогащенный уран: uranium уран (в любой химической форме) с содержанием изотопа U-235 выше, чем в \*природном уране (> 0,711 % по массе)

Обогащение: процесс увеличения концентрации расщепляемого изотопа U-235 в уране, обычно при помощи физических процессов, таких как, газовая диффузия или газовая центрифугация, продуктом которого является \*обогащенный уран, побочным продуктом - \*обедненный уран (хвосты)

ESA: Агентство снабжения Евроатома

Сырье: уран в форме \*UF<sub>6</sub>, который вводится в процесс многократных обогатительных процедур

ВОУ: \*высокообогащенный уран

Высокообогащенный уран (ВОУ): уран со \*степенью обогащения U-235 20% или выше (используется только в ядерном оружии и исследовательских реакторах)

HLW: высокоактивные РАО

МАГАТЭ: Международное агентство по атомной энергии

НОУ: \*низкообогащенный уран

LLW: низкоактивные РАО

Низкообогащенный уран (НОУ): уран со \*степенью обогащения U-235 > 0,711% и < 20% (используется в легководных реакторах (\*LWR)



LWR: легководный реактор, типа реактора кипящей воды (Boiling Water Reactor) и реактор воды под давлением (Pressurized Water Reactor), требует топлива в виде \*обогащенного урана со \*степенью обогащения U-235 3-5%

Природный уран: уран (в любой химической форме) с природным содержанием изотопов, содержащий 0,711 % по массе (равно 0,72 % по количеству атомов) U-235

«Эквивалентный природному» уран: в данном документе термин используется для обозначения урана с природным содержанием U-235, получаемый в результате \*дообогащения \*хвостов; концентрация изотопа U-234 в нем ниже, чем в настоящем \*Unat; иногда используется термин «псевдо-природный» уран.

NRC: Комиссия по ядерному урегулированию США (U.S. Nuclear Regulatory Commission)

Продукт: обогащенный (или дообогащенный) \*UF<sub>6</sub>, полученный в процессе \*обогащения

Дообогащение: процесс \*обогащения, в котором в качестве \*сырья используется скорее \*обедненный уран, чем \*природный; не путать с переработкой урана, содержащегося в отработавшем ядерном топливе.

Росатом: Российское федеральное агентство по атомной энергии (бывший Минатом)

Вторичные хвосты: \*хвосты, возникшие в результате \*дообогащения хвостов

Единица разделения (изотопов) – мера исчисления объема работ по разделению (изотопов)

т: тонна = 1000 кг

т U: тонна урана, содержащаяся в каком-либо составе

Хвосты: побочный продукт \*обогащения урана: \*обедненный уран в виде \*UF<sub>6</sub>; не путать с отходами производства урана, возникающем при извлечении урана из руды; то же для \*дообогащения

Udep: \*обедненный уран (depleted uranium)

Uenr: \*обогащенный уран (enriched uranium)

Unat: \*природный уран (natural uranium)

Uneq: \*«эквивалентный природному» ("natural-equivalent" uranium)

UF<sub>6</sub>: гексафторид урана (химическая форма, необходимая для процесса обогащения)  
1 т UF<sub>6</sub> содержит 0,676 т U; 1 т U содержится в 1,479 т UF<sub>6</sub>

UO<sub>2</sub>: диоксид урана (в этой химической форме уран используется в качестве топлива для \*LWR)  
1 т UO<sub>2</sub> содержит 0,8815 т U; 1 т U содержится в 1,134 т UO<sub>2</sub>

U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>: октоксид триурана (в этой химической форме уран извлекается из руды)  
1 т U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> содержит 0,848 т U; 1 т U содержится в 1,179 т U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>  
1 lb U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> содержит 0,385 кг U; 1 кг U содержится в 2,6 lbs U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

USEC: U.S. Enrichment Corporation

## Использованная литература

[ASTM] Standard Specification for Uranium Hexafluoride Enriched to Less Than 5 % <sup>235</sup>U, ASTM, C 996  
<http://www.astm.org/>

[Bukharin 2004] Bukharin, Oleg: Russia's Gaseous Centrifuge Technology and Uranium Enrichment Complex, Program on Science and Global Security, Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Princeton University, January 2004  
<http://www.ransac.org/Documents/bukharinrussianenrichmentcomplexjan2004.pdf>

[Elayat 1997] Elayat, H; Zoller, J; Szytel, L: Cost analysis report for the long term management of depleted uranium hexafluoride, Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-AR-127650, 131 p., May 1997  
<http://web.ead.anl.gov/uranium/documents/costs/>

[ESA AR 1996 - 2003]: Euratom Supply Agency: Annual Reports 1996 - 2003  
<http://europa.eu.int/comm/euratom/>

[HSE 2004] Urenco (Capenhurst) Ltd's strategy for decommissioning its nuclear licensed site, A review by HM Nuclear Installations Inspectorate, The Health and Safety Executive, Bootle, Merseyside, UK, November 2004  
<http://www.hse.gov.uk/nsd/uclqqr.pdf>

[NEA 2001] OECD Nuclear Agency / International Atomic Energy Agency: Management of Depleted Uranium, Paris 2001  
<http://www.nea.fr>

[NEA 2004] OECD Nuclear Agency / International Atomic Energy Agency: Uranium 2003: Resources, Production and Demand, Paris 2004  
<http://www.nea.fr>

[UI 1999a] Uranium Imports to the USA from CIS Countries, UI Trade Briefing, Issue 1, August 1999  
[http://www.world-nuclear.org/trade\\_issues/](http://www.world-nuclear.org/trade_issues/)

[UI 1999b] The US-Russia HEU Agreement, UI Trade Briefing, Issue 1, August 1999  
[http://www.world-nuclear.org/trade\\_issues/](http://www.world-nuclear.org/trade_issues/)

[UI 2000] EU Policy on Imports of Uranium and Enrichment Services, UI Trade Briefing, Issue 1, February 2000  
[http://www.world-nuclear.org/trade\\_issues/](http://www.world-nuclear.org/trade_issues/)

[UI 2001] Trade Aspects of the Re-enrichment of Uranium Tails, UI Trade Briefing Issue 1, January 2001  
[http://www.world-nuclear.org/trade\\_issues/](http://www.world-nuclear.org/trade_issues/)

[Urenco 2002] Urananreicherungsanlage Gronau. Kurzbeschreibung des Endausbaus und der voraussichtlichen Auswirkungen auf die Umgebung. Stand: Dezember 2002, Urenco Deutschland

[Urenco AR 2000 - 2003] Urenco Ltd.: Annual Reports 2000 - 2003  
<http://www.urengo.com>

[USDOE 1999] Final Programmatic Environmental Impact Statement for Alternative Strategies for the Long-Term Management and Use of Depleted Uranium Hexafluoride, U.S. DOE, DOE/EIS-0269, 3 volumes, April 1999  
<http://web.ead.anl.gov/uranium/documents/nepacomp/peis/>

[USEC 2003] U.S. Enrichment Corporation: Application for Renewal of Certificate of Compliance GDP-1, Enclosure 3, Decommissioning Funding Program Description, April 11, <http://www.nrc.gov/reading-rm/adams.html>

[USNRC 1983] U.S. Nuclear Regulatory Commission: Boeing Company Request Concerning Depleted Uranium Counterweights, HPPOS-206  
<http://www.nrc.gov/what-we-do/radiation/hppos/hppos206.html>

[Wingender 1994] Wingender, H J; Becker, H J; Doran, J: Study on depleted uranium (tails) and on uranium residues from reprocessing with respect to quantities, characteristics, storage, possible disposal routes and radiation exposure. European Commission (Ed.), EUR 15032, ISBN 92-826-6478-3, Luxembourg 1994, 95 p.

[Zoller 1995] Zoller, J N; Rosen, R S; Holliday, M A: Depleted Uranium Hexafluoride Management Program. The technology assessment report for the long-term management of depleted uranium hexafluoride. U.S. DOE (Ed.), Washington, D.C. 1995, Volume 1: UCRL-AR-120372-VOL.1, 600 p., Volume 2: UCRL-AR-120372-VOL.2, 400 p.

[Zoller 1997] Zoller, J N; Dubrin, J W; Rahm-Crites, L; et al.: Engineering analysis report for the long-term management of depleted uranium hexafluoride, Lawrence Livermore National Laboratory, 1997, Volume 1: UCRL-AR-124080-VOL-1-REV-2, 957 p., Volume 2: UCRL-AR-124080-VOL-2-REV-2, 1176 p.  
<http://web.ead.anl.gov/uranium/documents/eng/>

BT-Drs. = Bundestags-Drucksache  
NF = Nuclear Fuel (ядерное топливо)