

БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Главное о МАГАТЭ | Июнь 2018 года



УРАН

От разведки до реабилитации

Взлеты и падения: экономика уранодобывающего производства, стр. 4

МАГАТЭ публикует уникальную карту мировых запасов урана, стр. 12

Новый Стратегический мастер-план для координации работ по рекультивации площадок уранового наследия в Центральной Азии, стр. 20



IAEA

Международное агентство по атомной энергии
Атом для мира и развития

Также в выпуске:
Новости МАГАТЭ



БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ

издается

Бюро общественной информации
и коммуникации (ОРИС)

Международное агентство по атомной энергии

а/я 100, 1400 Вена, Австрия

Тел.: (43-1) 2600-21270

Факс: (43-1) 2600-29610

iaebulletin@iaea.org

Редактор: Миклош Гашпар

Ответственный редактор: Аабха Диксит

Дизайн и верстка: Риту Кенн

БЮЛЛЕТЕНЬ МАГАТЭ имеется

в интернете по адресу www.iaea.org/bulletin

Выдержки из материалов МАГАТЭ, содержащихся

в Бюллетене МАГАТЭ, могут свободно

использоваться при условии указания на их

источник. Если указано, что автор материалов не

является сотрудником МАГАТЭ, то разрешение на

повторную публикацию материала с иной целью,

чем простое ознакомление, следует испрашивать

у автора или предоставившей данный материал

организации.

Взгляды, выраженные в любой подписанной

статье, опубликованной в Бюллетене МАГАТЭ,

необязательно отражают взгляды Международного

агентства по атомной энергии, и МАГАТЭ не берет

на себя ответственности за них.

Обложка: ОРАНО

Читайте наши новости на сайтах:



Миссия Международного агентства по атомной энергии состоит в том, чтобы предотвращать распространение ядерного оружия и помогать всем странам — особенно развивающимся — в налаживании мирного, безопасного и надежного использования ядерной науки и технологий.

Созданная в 1957 году как автономная организация под эгидой Организации Объединенных Наций, МАГАТЭ — единственная организация системы ООН, обладающая экспертным потенциалом в сфере ядерных технологий. Уникальные специализированные лаборатории МАГАТЭ способствуют передаче государствам — членам МАГАТЭ знаний и экспертного опыта в таких областях, как здоровье человека, продовольствие, водные ресурсы, экономика и окружающая среда.

МАГАТЭ также служит глобальной платформой для укрепления физической ядерной безопасности. МАГАТЭ выпускает Серию изданий по физической ядерной безопасности, в которой выходят одобренные на международном уровне руководящие материалы по физической ядерной безопасности. МАГАТЭ также ставит своей задачей содействие минимизации риска того, что ядерные и другие радиоактивные материалы попадут в руки террористов и преступников и что ядерные установки окажутся объектом злоумышленных действий.

Нормы безопасности МАГАТЭ закладывают систему фундаментальных принципов безопасности и отражают международный консенсус в отношении того, что можно считать высоким уровнем безопасности для защиты людей и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения. Нормы безопасности МАГАТЭ разрабатывались для всех типов ядерных установок и деятельности, преследующих мирные цели, а также для защитных мер, необходимых для снижения существующих рисков облучения.

Кроме того, при помощи своей системы инспекций МАГАТЭ проверяет соблюдение государствами-членами их обязательств, касающихся использования ядерного материала и установок исключительно в мирных целях, в соответствии с Договором о нераспространении ядерного оружия и другими соглашениями о нераспространении.

Работа МАГАТЭ многогранна, и в ней участвует широкий круг партнеров на национальном, региональном и международном уровнях. Программы и бюджет МАГАТЭ формируются на основе решений его директивных органов — Совета управляющих, насчитывающего 35 членов, и Генеральной конференции всех государств-членов.

Центральные учреждения МАГАТЭ находятся в Венском международном центре. Полевые бюро и бюро по связи расположены в Женеве, Нью-Йорке, Токио и Торонто. В Вене, Зайберсдорфе и Монако работают научные лаборатории МАГАТЭ. Кроме того, МАГАТЭ оказывает поддержку и предоставляет финансирование Международному центру теоретической физики им. Абдуса Салама в Триесте, Италия.

Обеспечение безопасных, надежных и стабильных поставок урана

Юкия Аmano, Генеральный директор МАГАТЭ

Уран — это основной вид топлива, используемый в ядерной энергетике, одной из ключевых низкоуглеродных технологий генерации электроэнергии. Сегодня в 30 странах эксплуатируется 451 ядерный энергетический реактор, вырабатывающий 11% мирового объема электричества. По прогнозам МАГАТЭ, к 2050 году мировые ядерно-энергетические мощности, скорее всего, возрастут, но остается открытым вопрос о том, будет ли этот рост скромным или значительным.

Согласно оценкам, запасов урана нашей планете хватит еще на десятилетия. Однако чтобы избежать дефицита, важно, чтобы уран добывали и производили и управляли этими процессами экологически устойчивым образом. Новым поколениям ядерных энергетических реакторов, которым — в зависимости от используемой технологии — требуется меньше урана, в том числе реакторам малой и средней мощности или модульным реакторам, принадлежит центральная роль в устойчивом управлении использованием этого важного ресурса.

Каждая страна вправе сама решать, стоит ли ей создавать ядерную энергетику или заниматься добычей урана. МАГАТЭ не намерено влиять на эти решения. Однако если страны делают выбор в пользу ядерной энергетике или решают изучить возможность производства урана, наш долг — помочь им сделать это безопасным, надежным и устойчивым образом. Обеспечение ядерной и физической ядерной безопасности также относится к национальной компетенции; задача МАГАТЭ — собрать страны вместе для того, чтобы те могли согласовать международные нормы и перенять опыт друг у друга. Посредством наших консультативных услуг, миссий и рекомендаций экспертов мы помогаем национальным властям обеспечить безопасное и надежное обращение с ураном в течение всего его жизненного цикла.

В этом выпуске Бюллетеня МАГАТЭ рассматривается нынешнее состояние отрасли и ее перспективы. В нем рассказывается о помощи, оказываемой Агентством странам в области добычи и переработки урана и реабилитации урановых рудников. В выпуске делается обзор экономики уранового производства (стр. 4) и приводится конкретный пример разработки проекта добычи урана с нуля в Танзании

(стр. 6). Вы также узнаете о том, как подход МАГАТЭ, изложенный в документе «Milestones» («Основные этапы»), — методология, на основе которой страны и организации ведут планомерную работу по созданию ядерной энергетике, — применяется к производству урана (стр. 10).



Вы можете подробно познакомиться с уникальной картой месторождений урана, недавно опубликованной МАГАТЭ (стр. 12). Специалисты МАГАТЭ по гарантиям рассказывают о малоизвестной стороне их работы по ядерной проверке: применению гарантий на урановых производствах (стр. 14). Специалисты по перевозкам из Австралии и Малави делятся мыслями о важности обеспечения безопасности и сохранности урана при перевозке (стр. 18).

И мы знакомим читателей с недавно опубликованным Стратегическим мастер-планом, закладывающим основу для рекультивации бывших уранодобывающих объектов в Центральной Азии (стр. 20). В этом издании Бюллетеня МАГАТЭ также рассказывается о месторождении Окло, возраст которого составляет два миллиарда лет и которое известно как единственный в мире природный ядерный реактор (стр. 26), и дается аргументированный анализ будущего урановой отрасли (стр. 24).

На Международный симпозиум «Урановое сырье для ядерного топливного цикла: вопросы разведки, добычи, производства, спроса и предложения, экономики и экологии» собираются эксперты и заинтересованные стороны из многих областей, чтобы обсудить последние научные исследования и актуальные проблемы, связанные со всеми аспектами начальной стадии ядерного топливного цикла.

Надеюсь, что из данного выпуска Бюллетеня МАГАТЭ вы узнаете много нового об этой малоизвестной, но увлекательной и важной области работы Агентства.



(Фото: К. Брейди/МАГАТЭ)



(Фото: К. Брейди/МАГАТЭ)



(Фото: Росатом)



1 Обеспечение безопасных, надежных и стабильных поставок урана



4 Взлеты и падения: экономика уранодобывающего производства



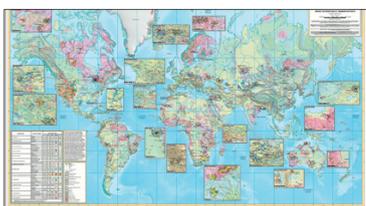
6 Пять лет спустя: разведка урана в Танзании



8 Как добывают уран



10 Проверен на деле: подход МАГАТЭ, изложенный в документе «Milestones», теперь применяется к урановому производству



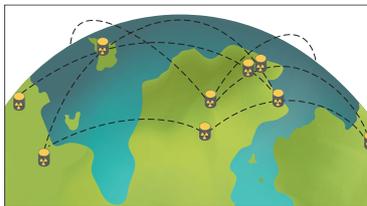
12 МАГАТЭ публикует уникальную карту мировых запасов урана



14 Применение гарантий МАГАТЭ на урановых рудниках помогает составить более полное представление о ядерной деятельности страны



16 Стадии добычи урана



18 Безопасная и надежная транспортировка важнейшего для ядерной отрасли природного ресурса



20 Новый Стратегический мастер-план восстановления окружающей среды на площадках уранового наследия в Центральной Азии



22 Выщелачивание урана: как делают желтый кек



24 Перспективы урана как надежного источника энергии



26 Около, единственный известный природный ядерный реактор на Земле, которому уже два миллиарда лет

Мировой обзор

28 Состояние, трудности и перспективы развития уранового производства: взгляд изнутри

— Александр Бойцов

Сегодня в МАГАТЭ

30 МАГАТЭ расширяет работу по созданию потенциала для борьбы с детским раком

30 На конкурсе МАГАТЭ среди учащихся старших классов выбрано лучшее игровое онлайн-приложение

31 МАГАТЭ открывает новый хаб по созданию потенциала в области ядерной энергии

32 Публикации

Взлеты и падения: экономика уранодобывающего производства

Миклош Гашпар и Ноа Мэйхью

Многие руководители предприятий отрасли говорят, что добыча урана практически ничем не отличается от добычи остальных основных металлов: разведка, получение лицензии, разработка месторождения и закрытие рудника по окончании срока его службы. Однако если учесть такие аспекты, как радиационная защита, долгосрочное обращение с радиоактивными отходами и отсутствие общественной поддержки уранового производства в некоторых странах, становится ясно, что имеющиеся в этой отрасли проблемы серьезнее, чем сопровождающие добычу других металлов. Экономические показатели уранового производства тоже не отличаются стабильностью: за последние десять лет цены на уран демонстрировали наиболее высокий уровень волатильности — в 2007 году максимальное значение цены достигло 300 долл. США за кг, а в 2016 году был зарегистрирован минимум в размере 41 долл. за кг (см. таблицу).

«За последние несколько лет накопился избыток запасов уранового концентрата, что привело к снижению цен. Это было вызвано высокими темпами производства в сочетании со снижением спроса, — отмечает Бретт Молдован, специалист МАГАТЭ по урановому производству. — При нынешних ценах на уран эксплуатировать многие рудники экономически убыточно».

Сегодня, когда цены на уран колеблются у отметки 49 долл. за кг, многие из крупнейших урановых рудников мира переведены в режим содержания и обслуживания. «Возобновить их работу будет экономически целесообразно лишь тогда, когда спотовая цена превысит стоимость производства и, согласно прогнозам, будет держаться на одном уровне или же расти. Из-за разницы

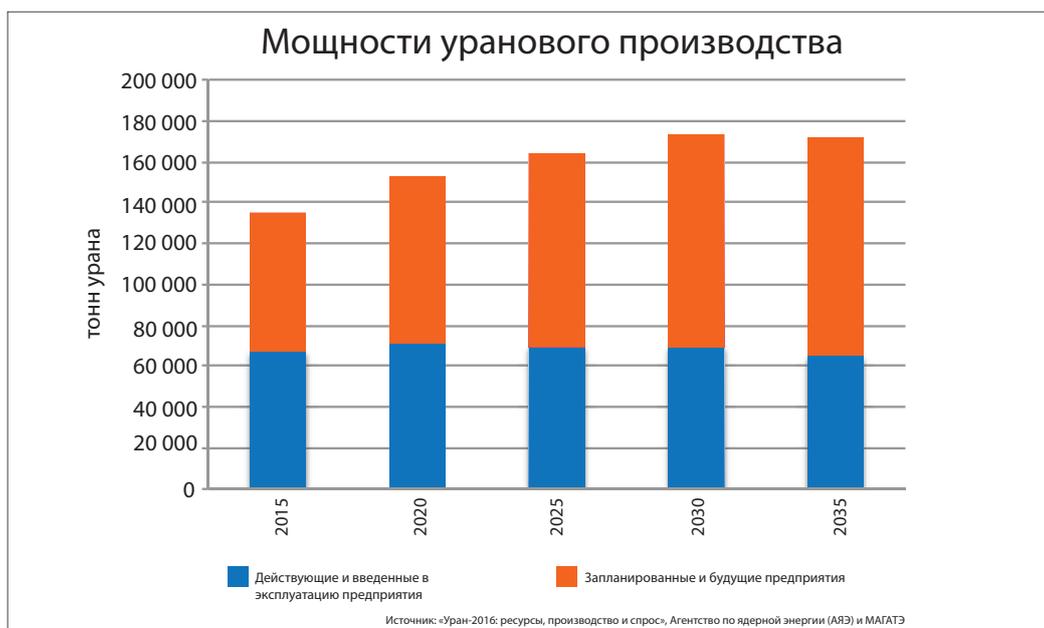
в эксплуатационных расходах рудников цена на уран, необходимая для возобновления работы каждого рудника, неодинакова, — объясняет г-н Молдован. — Пиковые цены на уран обычно держатся недолго, а вот минимумы могут длиться десятилетиями».

Спрос на уран определяет главным образом ядерная энергетика. Сейчас в мире эксплуатируется 451 АЭС, и еще 59 находятся на стадии строительства, при этом в 2017 году были окончательно остановлены пять станций, а годом ранее — еще четыре. По прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА), к 2030 году общемировое потребление электроэнергии возрастет на 18%, а к 2050 году — на 39%, в связи с чем возникает вопрос, какую роль в удовлетворении этого растущего спроса будет играть ядерная энергетика.

Согласно минимальной оценке МАГАТЭ, общемировые показатели выработки электроэнергии на АЭС будут постепенно снижаться до 2040 года, а к 2050 году вернуться к нынешнему уровню. Этот сценарий используется исключительно в консервативной оценке. При максимальной же оценке мощности выработки электроэнергии на АЭС возрастут по сравнению с показателем 2016 года на 42% к 2030 году и на 123% к 2050 году. Такая оценка подразумевает сохранение текущих темпов экономического роста в сочетании с возрастанием интереса к ядерной энергетике, прежде всего в странах Восточной Азии.

Хотя на производство урана приходится лишь 5–10% цены электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, от него всецело зависит долгосрочная устойчивость всей отрасли. По данным последнего издания справочной публикации «Уран–2016: ресурсы, производство и спрос», подготавливаемой совместно Агентством по ядерной энергии (АЯЭ) и МАГАТЭ, при минимальной оценке





роста ядерной энергетики общемировые поставки урана за счет первичных производственных мощностей будут обеспечены как минимум до 2035 года. При текущей динамике спроса разведанных запасов урана хватит приблизительно на 118 лет, а если учесть неразведанные запасы (см. таблицу) — то и на более длительный период.

Инвестиции в урановый рудник

Открытие уранового рудника требует существенных капиталовложений и представляет собой длительный процесс — обычно до начала работы рудника проходит от 10 до 15 лет. Стоимость оборудования для добычи урана и его переработки в урановый концентрат, которая, как правило, производится на месте добычи, составляет свыше 100 млн долл. США, а в некоторых случаях может достигать нескольких миллиардов. Поэтому перед открытием рудника и частные компании, и государственные предприятия должны тщательно оценить долгосрочные экономические перспективы. Многие впервые приступающие к добыче урана страны, подобные Ботсване и Танзании, прибегают к услугам и помощи экспертов МАГАТЭ для создания необходимой для эксплуатации рудников инфраструктуры, нормативно-правовой базы и системы природоохранных мер. Сейчас рудники находятся на завершающих стадиях разработки и ожидают более благоприятных экономических условий.

Большинство контрактов в урановом производстве носят долгосрочный характер, и в них устанавливаются как максимальные уровни цен для защиты потребителей, так и минимальные уровни — для защиты интересов добывающих компаний. Хотя спотовые цены и влияют на общую рыночную цену, меняется она не так быстро. В зависимости от текущей рыночной цены и масштаба ядерно-энергетической программы страны в некоторых случаях может быть выгодней закупать уран, чем добывать его внутри страны.

В некоторых странах, например, в Индии и Китае, урановые рудники главным образом обеспечивают бесперебойность поставок на внутренний рынок, в то время как экономические соображения имеют второстепенное значение. Тем не менее, основной объем урана в мире сегодня добывается на коммерческой основе. Одни страны, например, Австралия, Казахстан и Намибия, производят уран на экспорт, другие, в том числе Канада, — используют добытый уран для своих нужд и экспортируют его за рубеж.

Итак, чего же ожидать в будущем? В долгосрочной перспективе прогнозируется рост спроса на уран, поэтому и цены на него тоже будут расти. Но когда это произойдет и насколько они вырастут, спрогнозировать трудно, прежде всего из-за того, что общественность во многих странах сомневается в целесообразности инвестиций в ядерную энергетику.

«Принятые ранее предприятиями отрасли меры, например, усиление социальной ответственности корпораций, различные усилия по вовлечению в работу заинтересованных сторон, утрачивают свою эффективность, поскольку в обществе растет скептицизм по отношению к горнорудной промышленности в целом», — рассказывает Хуссейн Аллабун, руководитель Иорданской уранодобывающей компании.

Иордания — одна из многих стран, изучающих перспективы открытия уранового производства. В стране были проведены необходимые технико-экономические оценки и построен экспериментальный завод для сбора необходимых промышленных и технических данных. По словам г-на Аллабуна, данный проект — одна из составляющих комплексной национальной программы перехода к ядерной энергетике, необходимость реализации которой обусловлена острой потребностью страны в надежном источнике электроэнергии.

Пять лет спустя: разведка урана в Танзании

Аабха Диксит



Отбор проб окружающей среды на реке Мукжу для оценки радиационной обстановки до начала добычи.

(Фото: Фирмы П. Банзи/Комиссия по атомной энергии Танзании)

По сообщению местных экспертов в Танзании полным ходом идет подготовка к разведке урановых месторождений, добычу на первом урановом руднике планируется начать, как только сложится благоприятная экономическая конъюнктура и цены на уран вырастут. МАГАТЭ помогало Танзании с внедрением программы добычи урана, в частности в 2013 году была организована консультативная миссия, которая помогла начать реализацию проекта.

«Прошло пять лет, и нам удалось добиться большого прогресса, — сообщил Деннис А. Малонго, директор департамента ионизирующего излучения Комиссии по атомной энергии Танзании (КАЭТ). — Правительство провело большую работу по выполнению рекомендаций Группы по оценке предприятий по производству урана (УПСАТ) МАГАТЭ, в том числе внесло необходимые изменения в нормативно-правовую базу в соответствии с международными требованиями».

«Правительство завершило первый этап строительства лабораторного комплекса КАЭТ, который будет заниматься радиоаналитикой и в рамках регулирующего надзора над добычей урана в стране и регионе в целом оказывать услуги по калибровке оборудования», — добавил он.

Он отметил, что добыче урана предшествует долгосрочное планирование, в том числе необходимо изучить выбранные для разведки площадки, провести оценку

почв, заниматься информационно-просветительской деятельностью и созданием потенциала. «Миссия МАГАТЭ УПСАТ заложила основу для решения этой задачи, проведя комплексную оценку перспектив добычи урана в Танзании».

На площадке на реке Мукжу — а это проект по добыче урана, по которому был достигнут наибольший прогресс, — была проведена оценка и выявлены ресурсы в объеме 36 тысяч тонн и потенциальные ресурсы в объеме 10 тысяч тонн. «Оператором площадки станет Uranium One, российская уранодобывающая компания, которая планирует добывать 1400 тонн урана ежегодно, — отметил Малонго. — Добыча урана будет способствовать успешному и устойчивому социально-экономическому развитию Танзании. Еще одна важная задача — это оснащение морского порта в Дар-эс-Саламе для транспортировки и экспорта урана».

Для удовлетворения растущих потребностей в электроэнергии Танзания планирует внедрить ядерную энергетику, опираясь на закон об атомной энергии 2003 года, который разрешает использование урана для производства электроэнергии. В законе содержатся строгие требования по безопасному использованию урана. Благодаря этому решению Танзания стала первой страной Восточной и Центральной Африки, которая готова включить ядерную энергетику в структуру энергопроизводства.

Миссия УПСАТ способствует совершенствованию нормативно-правовой базы

Основные решения по пропагандированию и внедрению добычи урана основывались на рекомендациях миссии УПСАТ МАГАТЭ, включавших создание регулирующей инфраструктуры, принятие нормативно-правовых актов, регулирующих безопасную добычу урана, а также обеспечение согласованности норм, регламентирующих защиту людей и охрану окружающей среды.

В то же время КАЭТ разработала закон о разведке, строительстве, добыче и обогащению, упаковке и транспортировке урана, а также окончательном выводе из эксплуатации уранодобывающих объектов.

«Правительство приняло конкретные регламенты по обращению с радиоактивными материалами и отходами, а также по защите работников, населения и окружающей среды», — добавил Малонго.

МАГАТЭ, Европейская комиссия, Комиссия по ядерному регулированию Соединенных Штатов и Комиссия по ядерной безопасности Канады способствовали созданию потенциала, целевой подготовке кадров, использованию международных экспертных знаний и развитию прикладных навыков.

Привлечение общественности

Добыча урана — это сложный вид деятельности, состоящий из многих аспектов и требующий участия всех заинтересованных сторон, в том числе общественности.

Для решения поставленной задачи правительство провело ряд информационных кампаний и семинаров, направленных на информирование о существующей регулирующей базе по добыче урана. В кампаниях приняли участие чиновники национального и местного уровней, эксплуатирующие организации, регулирующие органы, неправительственные организации, студенты, члены парламента и представители гражданского общества. Задача нормативно-правовой базы — гарантировать, что оператор будет осуществлять добычу и переработку урана эффективно и без ущерба для жизни и здоровья человека и охраны окружающей среды.



Первый этап строительства урановой лаборатории Комиссии по атомной энергии Танзании.

(Фото: Д. Малонго/Комиссия по атомной энергии Танзании)



Урановая лаборатория оснащена, помимо прочего, системой гамма-спектрометрии, с помощью которой власти смогут проводить надлежащую оценку урана, добытого в стране.

(Фото: Д. Малонго/Комиссия по атомной энергии Танзании)



Как добывают уран

Когда урановая руда находится близко к поверхности, уран, как и другие минеральные ресурсы, как правило, добывается открытым способом, а когда она залегает глубже — подземным способом. Подземная добыча, с тем чтобы снизить облучение рабочих от газа радона, требует весьма интенсивной вентиляции. Радон является продуктом процесса естественного распада урана.

В различных районах мира степень концентрации урана в руде может варьироваться от нескольких сотен частей на миллион до 20%. Из обычных рудников руда доставляется на заводы по переработке или обогащению, где уран очищается и конвертируется в оксид урана. Вместо открытого и подземного способа добычи, если геологические условия позволяют, может применяться скважинное подземное выщелачивание, когда для растворения урана в скважину закачивается вода с добавлением химических веществ. Работники горнодобывающей компании по трубам вводят в руду щелочные растворы, такие как растворы на основе бикарбоната натрия, или, альтернативно, кислотные растворы, благодаря чему уран под землей отделяется от руды, а затем полученный раствор выкачивается на поверхность, где из него извлекается уран.

Во всем мире ежегодно производится около 60 000 тонн урана. Три ведущих производителя урана — Австралия, Казахстан и Канада, на долю которых в совокупности приходится около двух третей мирового производства урана.

— Аабха Диксит



Урановый рудник «Рёссинг» в
Намибии
(Фото: К. Брейди/МАГАТЭ)

Проверен на деле: подход МАГАТЭ, изложенный в документе «Milestones», теперь применяется к урановому производству

Айхан Эврэнсель



Урановый рудник Дольни-Розинка в Чешской Республике — одной из примерно 20 стран-производителей урана. (Фото: Д. Кальма/МАГАТЭ)

Вы проводите разведку уранового месторождения, выполняете технико-экономические обоснования, разрабатываете проект, добываете уран, перерабатываете и перевозите его, сворачиваете проект и рекультивируете площадку. Вот, собственно, и все. Выглядит все довольно просто.

Но так ли это на самом деле?

Может возникнуть множество факторов, которые повлияют на эту хронологию производства урана — химического элемента, составляющего основу атомной энергетики. Из 170 государств — членов МАГАТЭ около 20 в настоящее время производят уран — в разных количествах. Еще около 10 государств-членов проводят или уже завершили исследования, связанные с возможным налаживанием уранового производства.

Как стране-новичку или стране, желающей возобновить производство урана, узнать, как правильно это сделать? Какие шаги они должны предпринять, задолго до того, как за что-нибудь всерьез браться, чтобы гарантировать безопасное и устойчивое производство?

Прежде чем начинать или возобновлять добычу и переработку урана, необходимо обдумать целый ряд вопросов. МАГАТЭ дает методические указания на всех этих этапах при помощи норм безопасности,

публикаций, совещаний, сетей и других средств. Пришло время обобщить всю эту методическую работу.

По просьбе ряда государств-членов МАГАТЭ приступило к работе по применению подхода, изложенного в документе «Milestones» («Основные этапы»), к урановому производству.

Подходу, изложенному в документе «Milestones», — 11 лет

В 2007 году, учитывая растущий интерес государств-членов к включению в свой энергобаланс ядерной энергетики, МАГАТЭ опубликовало документ «Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power» («Основные этапы развития национальной инфраструктуры ядерной энергетики»). Поскольку срок от первоначального изучения страной ядерно-энергетической альтернативы до начала эксплуатации первой АЭС составляет от 10 до 15 лет, в документе «Milestones» этот период подразделяется на три этапа: изучение, подготовка, строительство. На каждом этапе стране предстоит решить 19 ясно определенных задач — от создания нормативно-правовой базы до развития людских ресурсов, от привлечения заинтересованных сторон до обращения с радиоактивными отходами.

В 2012 году этот подход был адаптирован к исследовательским реакторам, так как ряд государств-членов, заинтересованных в их строительстве, нуждались в аналогичном руководстве. Выпущенный документ «Specific Considerations and Milestones for a Research Reactor Project» («Специфические особенности и основные этапы проектов исследовательских реакторов»), в котором вновь были выделены три этапа — изучение, подготовка и строительство — и 19 вопросов, был призван помочь национальным властям лучше подготовиться к безопасной, надежной, устойчивой эксплуатации исследовательских реакторов.

Сегодня ведется работа по применению данного подхода к урановому производству. Однако налаживание добычи урана для страны-новичка — это нечто, в корне отличающееся от создания ядерной энергетики или сооружения исследовательских реакторов.

«Теоретически вы можете закупить любой из этих реакторов за рубежом и построить или эксплуатировать его в любой точке мира, — говорит Бретт Молдован, специалист МАГАТЭ по урановому производству. — Но уран находится там, где вы его обнаружили. Мы хотим дать понять тем, кто впервые имеет дело с добычей урана, что это процесс поэтапный. Что идти вперед имеет смысл, только если вы найдете что-то многообещающее. Если дело это стоящее и финансово выгодное».

Четыре стадии уранового производства

ТС учетом этих соображений на совещании в декабре 2016 года был дан старт подготовке руководящего документа, работа над которым сегодня близится к завершению.

В нем выделены четыре стадии, на которых могут находиться государства-члены, с соответствующими контрольными показателями готовности:

- те, кто рассматривает возможность разведки или добычи урана в первый раз или после многолетней паузы, но не имеет конкретного проекта;
- те, кто намерен начать/расширить добычу урана на основе одного или нескольких конкретных проектов;
- зарекомендовавшие себя производители урана, которые желают укрепить имеющуюся базу/потенциал;
- бывшие производители с закрытыми объектами/объектами, находящимися в процессе закрытия и на стадии реабилитации/рекультивации или последующего наблюдения.

В этом документе будут описаны общие процессы и положительные практики, и он станет подспорьем для государств-членов при выявлении на каждой стадии тех областей, в которых они подготовлены хуже всего, и источником рекомендаций относительно перехода на следующую стадию.

«Но эти стадии не имеют четких границ, — говорит г-н Молдован. — Государство-член может находиться одновременно на нескольких из них. И даже проделав превосходную работу по разведке месторождений, имея грамотную политику, законы, постановления и квалифицированных специалистов, государство-член может оставаться на самой ранней стадии просто потому, что так и не открыло залежи урановой руды».

Назначение этого руководящего документа — показать государствам-членам оптимальные способы обнаружения, добычи и переработки урана, а также безопасной очистки объектов по окончании их срока службы, — добавляет г-н Молдован. — Наша цель — помочь им сделать это правильно».



Туннель на глубине 1200 метров, урановый рудник Дольни-Розинка, Чешская Республика.

(Фото: Д. Кальма/МАГАТЭ)

МАГАТЭ публикует уникальную карту мировых запасов урана

Флоренсия Карузо

МАГАТЭ опубликовало полную, онлайн-ую, интерактивную и интегрированную цифровую карту распределения мировых запасов и месторождений урана. Это второе издание «World Distribution of Uranium Deposits» («Размещение урановых месторождений в мире») было подготовлено при участии Геологической службы провинции Саскачеван, Геологической службы Южной Австралии и Геологической службы Соединенных Штатов.

Информация в нем классифицирована по типам месторождений, и оно уникально в том смысле, что содержит огромный объем новой информации и знаний, сводя воедино данные из сотен открытых источников. Оно доступно каждому в режиме онлайн и включает в себя усовершенствованные интерактивные инструменты.

«Цель заключалась в том, чтобы составить сложную карту, которой очень просто пользоваться», — говорит Мартин Фэрклаф, специалист МАГАТЭ по урановому производству и один из составителей карты.

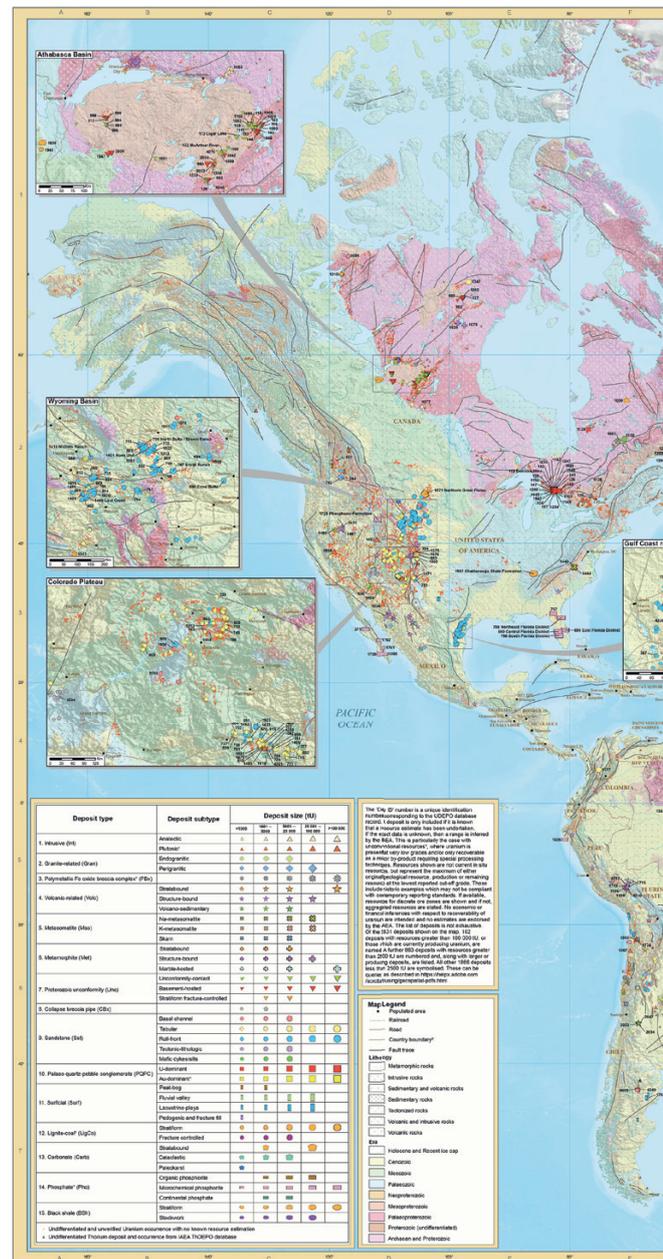
Эта карта была подготовлена для нужд управления ресурсами и запасами урана, геологических изысканий и содействия открытию и эксплуатации урановых месторождений. Она также содержит данные, имеющие отношение к реализации ядерно-энергетических программ по всему миру.

Карта основана на данных из базы данных МАГАТЭ «Размещение урановых месторождений в мире» (UDEPO), которые были уточнены в документах «Geological Classification of Uranium deposits and Description of Selected Examples» («Геологическая классификация урановых месторождений и описание отдельных примеров») и «IAEA UDEPO 2016 edition» («UDEPO МАГАТЭ, издание 2016 года»). UDEPO постоянно обновляется и включает в себя техническую информацию и подробные геологические данные о регионах, районах и месторождениях. Оба документа, служащие дополнением к карте, могут быть загружены онлайн.

Со времени выхода в свет первого издания карты в 1995 году объем материала и многообразие имеющейся в мире информации выросли в разы, одновременно с углублением знаний об урановых месторождениях. В первом издании содержалась информация о 582 урановых месторождениях мира; в последней публикации — о 2831 месторождении.

«Эта новейшая карта — сгусток всех современных знаний: кладезь информации, визуальное отображение данных из различных технических документов, и все это собрано в одном месте», — говорит г-н Фэрклаф.

И этот огромный объем информации отображается на карте совершенно по-новому. На ней урановые месторождения разбиты на 15 разных типов, а также подтипов. Они показаны различными значками, величина которых также указывает на размер месторождения. Например, звездочкой показаны вулканогенные типы месторождений, ее цвета обозначают подтипы, а ее величина — размер месторождения в тоннах урана. Зеленая звездочка, например, будет указывать на вулканогенно-осадочный подтип месторождения. И чем больше размер звездочки, тем крупнее месторождение.



Применение гарантий МАГАТЭ на урановых рудниках помогает составить более полное представление о ядерной деятельности страны

Метт Фишер



Инспекторы по гарантиям МАГАТЭ на урановом руднике.

(Фото: Д. Кальма/МАГАТЭ)

Гарантии МАГАТЭ играют важнейшую роль в предотвращении распространения ядерного оружия, так как помогают удостовериться, что весь ядерный материал используется исключительно в мирных целях. Через предприятия по добыче и переработке урана проходит большой объем урана, поэтому они подпадают под режим проверки МАГАТЭ и действие дополнительных протоколов к соглашениям о всеобъемлющих гарантиях.

«Проверка на предприятиях по добыче урана проводится в рамках анализа на согласованность, — заявил Рассел Лесли, эксперт МАГАТЭ по гарантиям. — Чтобы удостовериться, что государство выполняет все свои обязательства по гарантиям, инспекторы МАГАТЭ в ходе посещения предприятий по добыче и переработке урана собирают информацию и сверяют ее с официально представленными сведениями, а также всеми прочими данными, относящимися к гарантиям, имеющимся у МАГАТЭ, в том числе с результатами проведенных в государстве инспекций».

Государства соглашаются с применением гарантий путем заключения соглашений о гарантиях. Инспекторы по гарантиям проводят проверки предприятий по добыче урана только в тех странах, которые ввели в действие дополнительный протокол и соглашение о всеобъемлющих гарантиях. Дополнительный протокол расширяет возможности МАГАТЭ по проведению проверок и для повышения эффективности и

действенности гарантий предусматривает дополнительные меры, такие как: предоставление дополнительной информации о деятельности, связанной с ядерным топливным циклом, и физический доступ на некоторые объекты. На сегодняшний день в 132 государствах действуют дополнительные протоколы, в том числе во всех странах, в которых имеются действующие урановые рудники.

Эти страны обязаны предоставлять МАГАТЭ более подробную информацию о своей деятельности, связанной с ядерным топливным циклом, и обеспечивать доступ на соответствующие объекты, в том числе предприятия по добыче и обогащению урана, а также ториевые обогатительные установки. Это помогает укрепить доверие в отношении мирного характера ядерной деятельности страны.

В соответствии с дополнительным протоколом инспекторы собирают информацию о местоположении и эксплуатационном состоянии предприятий по добыче и переработке урана и оценивают расчетную годовую производственную мощность заводов по обогащению урановой руды. Чтобы проверить точность этой информации МАГАТЭ может осуществить дополнительный доступ на соответствующие предприятия по добыче и переработке, чтобы получить дополнительные подтверждения отсутствия незаявленного ядерного материала и деятельности.

«Дополнительный доступ запрашивается для подготовки обоснованной оценки объема производства», — заявил Лесли.

У Австралии, которая является одним из крупнейших производителей урана в мире, МАГАТЭ в среднем запрашивает один дополнительный доступ на один из действующих урановых рудников каждый год. В ходе дополнительного доступа инспекторы Австралийского бюро гарантий и нераспространения сопровождают инспекторов МАГАТЭ на предприятиях по добыче и переработке урана. До начала инспекции для инспекторов МАГАТЭ проводится брифинг, на котором им рассказывается о статусе рудников.

Во время дополнительного доступа на предприятия по добыче и переработке урана инспекторы МАГАТЭ могут проводить визуальное наблюдение и отбор проб, измерения методом неразрушающего анализа и изучать отчеты о производстве и отгрузке урана. Такие мероприятия МАГАТЭ может проводить, направив властям страны уведомление всего за 24 часа.

Визуальное наблюдение включает осмотр рудника и инфраструктуры предприятия. Отбор проб подразумевает забор небольших образцов урановой руды и переработанного концентрата урановой руды, а также проб окружающей среды, для чего с различных

поверхностей на руднике ватными тампонами собираются пробы, которые затем помещаются в герметичные контейнеры и направляются в лабораторию для проверки.

«Анализ концентрата руды дает больше полезной информации, чем анализ неочищенной породы, так как ее чистота варьируется в зависимости от того, в какой части шахты она была получена», — заявил Лесли. Концентрат руды содержит важнейшие данные, которые необходимы для анализа на согласованность, а также для лучшего понимания ядерной деятельности страны в целом», — добавил он.

Неразрушающий анализ — это методика, используемая для анализа и идентификации ядерных материалов, с использованием таких приборов, как гамма-детекторы. С помощью этого метода инспекторы могут на месте идентифицировать находящиеся на руднике ядерные материалы.

Изучение документации, которое проводится совместно с персоналом предприятия, включает обзор сведений о произведенной добыче и текущей работе. Для целей проверки также могут использоваться снимки со спутников, — сообщил Лесли.

Дополнительный доступ на урановые рудники не только помогает удостовериться в отсутствии незаявленного ядерного материала и деятельности, но и подтвердить статус шахт, готовящихся к выводу из эксплуатации или проверить, действительно ли шахта все еще открыта и эксплуатируется.

Инспекторы по гарантиям МАГАТЭ на складе для хранения урана.

(Фото: Д. Кальма/МАГАТЭ)



СТАДИИ ДОБЫ



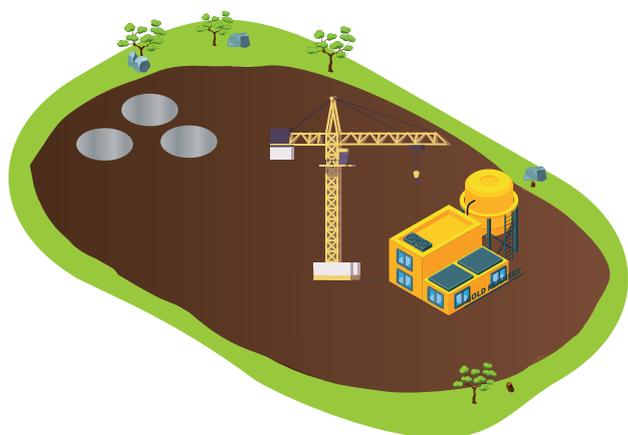
РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

10–15 лет



ПОДГОТОВКА ТЭО

1–3 года



СТРОИТЕЛЬСТВО РУДНИКА

1–3 года

(Инфографика: Р. Кенн/МАГАТЭ)



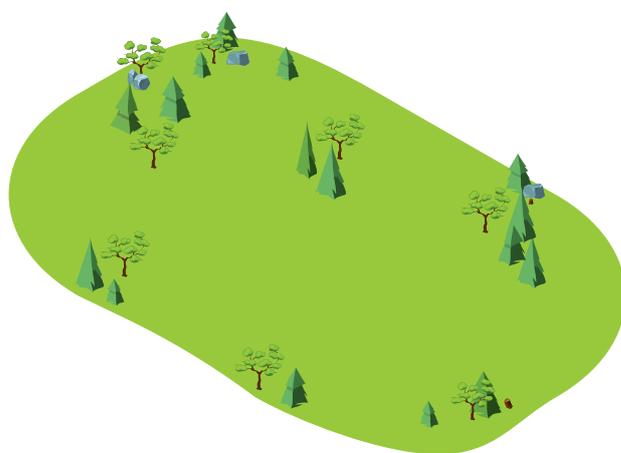
ДОБЫЧА И ПЕРЕРАБОТКА

5–50 лет



РЕАБИЛИТАЦИЯ/ВОССТАНОВЛЕНИЕ

2–10 лет (+ последующее наблюдение)



Безопасная и надежная транспортировка важнейшего для ядерной отрасли природного ресурса

Николь Яверт

Транспортировка урана похожа на перевозку высокопоставленных лиц. Она происходит по суше, воде или воздуху, здесь точно так же возникают задержки и остановки и, поскольку уран, как и высокопоставленные лица, имеет важное значение для всего мира и особый интерес для преступников, каждый аспект перевозки должен быть продуман так, чтобы обеспечить безопасность и физическую безопасность на всех ее этапах

«Поскольку уран производится лишь в считанных странах, а используется в создании топлива для большинства АЭС мира, его можно назвать очень ценным глобальным стратегическим сырьевым ресурсом, — считает Роберт Флойд, генеральный директор Австралийского бюро гарантий и нераспространения (АБГН). — Учитывая необходимость транспортировки урана по всему миру, важное значение имеет поддержание этих высоких стандартов на международном уровне».

Более 80% используемого в мире урана производится лишь в пяти странах. Из 30 стран, эксплуатирующих 451 ядерный энергетический реактор, всего несколько самостоятельно производят уран. Таким образом, каждый год в мире обычно перевозится более 50 000 тонн концентрата урановой руды.

Уран — радиоактивный материал природного происхождения. Концентрат урановой руды, или желтый кек, представляет собой концентрированный уран в виде порошка, полученного в результате очистки урановой руды от примесей. (Подробнее о процессе получения желтого кека см. на стр. 23). В основном уран перевозится в форме желтого кека, поскольку в таком виде его транспортировка менее затратна, чем перевозка неочищенной урановой руды.

Хотя желтый кек не представляет большой радиационной опасности, с ним все равно нужно осторожно обращаться. «С точки зрения безопасности достаточно соблюдать лишь основные меры радиационной защиты», — отмечает Эрик Ребер, специалист МАГАТЭ по безопасности перевозок.

Что касается физической безопасности, то, по словам Давида Ладсу, старшего сотрудника по физической ядерной безопасности, «защитные меры служат для того, чтобы уран не попал не в те руки. Они особенно важны потому, что уран имеет большую экономическую и стратегическую ценность, которая в том числе служит мотивом к совершению хищений и диверсий».

МАГАТЭ сотрудничает с компетентными органами стран в сфере подготовки кадров и оказывает им помощь в создании нормативно-правовой базы в области безопасности и физической безопасности перевозки урана. Национальные нормативные акты, регулирующие безопасность и сохранность радиоактивных материалов, должны соответствовать международным стандартам и быть составной частью международного режима

безопасности и физической безопасности, считает г-н Ребер. Совместные усилия Агентства и компетентных органов охватывают весь процесс перевозки — от производства и упаковки до планирования транзитных маршрутов и доставки. Они также направлены на решение таких потенциальных проблем, как пиратство.

«Несмотря на то что перевозка желтого кека сопряжена с меньшими рисками, чем другие стадии ядерного топливного цикла, для укрепления доверия стран и международного сообщества к ядерной отрасли в целом необходимо применять строгие нормы безопасности и физической безопасности», — говорит г-н Флойд.

Укрепление доверия на благо стабильного развития урановой промышленности

По мнению г-на Ладсу, доверие строится на упомянутых выше национальных нормативных актах и международных стандартах, ведь благодаря им страны, участвующие в системе поставок, придерживаются одних и тех же строгих требований безопасности и физической безопасности. Их соблюдение особенно важно для стран, приступающих к производству урана или производящих его в небольших количествах, а также таких стран, как Малави, которые прилагают усилия к восстановлению урановой промышленности.

«До недавнего времени одна из наших самых больших трудностей заключалась в том, что другие страны могли не признать наличие у нашего временного компетентного органа — департамента по охране окружающей среды — достаточных полномочий по контролю за перевозкой радиоактивного материала, в том числе желтого кека, что могло привести к периодическим отказам от его поставок», — поясняет Бюрнетт Мсика, главный горный инженер в департаменте горнорудной промышленности министерства природных ресурсов, энергетики и горнорудной промышленности Малави.

Несмотря на временную приостановку работы своей единственной шахты в 2014 году — спустя всего пять лет после начала ее эксплуатации — из-за резкого падения цен на уран и высоких эксплуатационных расходов, Малави при поддержке МАГАТЭ продолжает активно обновлять свои нормативные документы и обучать персонал, чтобы подготовиться к возобновлению добычи урана.

«Отчасти именно поэтому при поддержке департамента по охране окружающей среды мы дали старт работе национального регулирующего органа по атомной энергии и продолжаем наращивать и укреплять кадровый потенциал и развивать сотрудничество с регулирующими органами на всех стадиях транспортировки», — добавляет г-н Мсика.

Что касается более опытных экспортеров, таких как Австралия, которая занимает третье место в мире

по производству урана и где находятся крупнейшие урановые месторождения, то они уделяют особое внимание поддержанию своей репутации надежных поставщиков энергоресурсов.

По словам г-на Флойда, Австралия регулярно анализирует и обновляет свою нормативную и разрешительную документацию и обучает персонал, чтобы иметь возможность каждый год доставлять получателям 8000 тонн сырья. Во всех штатах и территориях Австралии действуют дополнительные нормативные акты и кодексы, регулирующие процесс перевозки. Вместе они формируют нормативную базу, в которой содержатся требования к упаковке, транспортировке, планированию маршрута, безопасности и физической безопасности перевозки желтого кека.

Для такой большой страны координация усилий на федеральном уровне и уровне штатов имеет особое значение. «Австралия — шестая по величине страна мира, поэтому преодоление больших расстояний, часто по обширным удаленным территориям, представляет для нас одну из основных трудностей. В случае инцидента прибытие на место происшествия может занять много времени. Поэтому важно быть к этому готовым, быть постоянно на связи, уметь полагаться на собственные силы и иметь подходящие средства», — заявляет г-н Флойд.

Власти Австралии планируют и далее тесно сотрудничать с МАГАТЭ в целях дальнейшего укрепления режима транспортировки. В будущем планируется формирование единого реестра национальных ресурсов, которые можно задействовать в случае инцидента, повышение качества учебных материалов и создание типового руководства по планированию перевозки желтого кека для лучшего понимания новых начинаний в горнодобывающей сфере.



Новый Стратегический мастер-план для координации работ по рекультивации площадок уранового наследия в Центральной Азии

Мариам Аргаманян

В мае 2018 года был опубликован Стратегический мастер-план, который должен ускорить работу по рекультивации бывших урановых рудников в Центральной Азии. При наличии необходимых средств приоритетные объекты можно будет рекультивировать всего за несколько лет.

Новый план, разработанный под руководством МАГАТЭ в сотрудничестве с экспертами из этого региона и международных организаций, обеспечивает основу для проведения своевременных, скоординированных, затратоэффективных и устойчивых мероприятий по рекультивации. На основе оценок воздействия на окружающую среду, финансируемых Европейским союзом, и технико-экономических обоснований и исследований, выполненных российской Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом», в мастер-плане определены приоритетные места и направления рекультивации в регионе. В нем также изложены оценки рисков и затрат.

Бывшие объекты добычи урана расположены в районе Ферганской долины — одном из самых плодородных и густонаселенных районов Центральной Азии, где проживает 14 млн человек. Протекающая в нем река Сырдарья является одной из главных рек региона. Среди целей проектов, о которых говорится в Стратегическом мастер-плане, — содействие региональному сотрудничеству и повышение стабильности и безопасности в регионе.

Побочным продуктом переработки урана на предприятиях являются хвосты, представляющие собой песчаную смесь, которая содержит тяжелые металлы и радий. На этом изображении показаны хвосты на площадке уранового наследия в Дегмае, Таджикистан.

(Фото: М. Робертс/МАГАТЭ)

Первоочередными площадками для рекультивации, согласно документу, станут семь бывших объектов добычи урана в Кыргызстане, Таджикистане и Узбекистане (см. карту). Для финансирования этих работ уже привлечено 30 млн евро, однако требуется еще 130 млн евро. В конце 2018 года Европейская комиссия планирует провести конференцию высокого уровня по сбору средств для привлечения взносов на Счет экологической реабилитации в Центральной Азии. Этот счет, находящийся под управлением Европейского банка реконструкции и развития, будет использоваться для финансирования рекультивационных мероприятий на семи первоочередных объектах.

На местном и региональном уровне уже проводились рекультивационные мероприятия, однако из-за недостатка ресурсов они были направлены не на ликвидацию загрязнения, а на недопущение его распространения. На других объектах региона под надзором Росатома начались предварительные рекультивационные работы.

«Этот план станет дорожной картой, которая позволит наиболее эффективно использовать ограниченные ресурсы, накопленные для целей рекультивации, на национальном, региональном и международном уровнях, проводя мероприятия в соответствии с четко сформулированными и согласованными целями», — говорит отвечающий за



эту программу специалист МАГАТЭ по безопасности отходов Мишель Робертс.

По ее словам, план будет регулярно пересматриваться, оцениваться и обновляться с учетом хода работы по программе и ее приоритетных направлений.

Бывшие объекты добычи урана

Урановые рудники обустроивались в середине 1940-х годов, когда нормативов по закрытию месторождений по окончании срока службы практически не существовало. Они разрабатывались несколько десятилетий, а в 1990-х годах деятельность на них была прекращена. Месторождения и расположенная рядом с ними инфраструктура для переработки руды по-прежнему содержат остатки радиоактивных и высокотоксичных химических загрязнителей.

В среднем уровни доз гамма-излучения на объектах составляют от 0,30 микрозиверт в час до 4,0 микрозиверт в час, что эквивалентно воздействию среднемирового естественного фонового излучения в течение периода от тридцати минут до четырех часов. Однако в районе присутствует ряд факторов, которые могут потенциально привести к накоплению и распространению загрязнения.

«Это сейсмически активный регион, подверженный землетрясениям, оползням и наводнениям. Поэтому пока на объектах не проведена рекультивация, сохраняется риск выброса загрязненных материалов в реки», — поясняет Байгабыл Толонгутов, директор кыргызстанского Центра государственного регулирования в сфере охраны окружающей среды и экологической безопасности.

По его словам, из-за одного выброса такого масштаба придется надолго ограничить использование воды, что приведет к ее серьезному дефициту с последствиями для здоровья людей и экономики. Это может также отрицательно сказаться на стабильности и безопасности в



Площадки уранового наследия, подлежащие рекультивации согласно Стратегическому мастер-плану.
(Источник: Стратегический мастер-план)

регионе, особенно в случае перемещения радиоактивных или токсичных материалов через границы.

Резолюция Организации Объединенных Наций

В 2013 году необходимость скоординированного подхода к реабилитации была признана в резолюции Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций, в которой подчеркивается ответственность международного сообщества за предотвращение радиационной угрозы в Центральной Азии. Толонгутов подчеркивает, что решение проблемы уранового наследия способствует и достижению целей Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития: «Программа реабилитации будет способствовать долгосрочным социально-экономическим изменениям за счет развития навыков и роста занятости».

План был разработан секретариатом Координационной группы МАГАТЭ по бывшим урановым объектам, работа которой частично финансируется Европейским союзом.



Желтый кек, поступающий из фильтр-пресса.

(Фото: Orano)



Выщелачивание урана

Как делают желтый кек

При добыче урана из-под поверхности земли его содержание в руде или породе обычно составляет лишь около 0,1%. Традиционно для его извлечения руда сначала добывается из недр и дробится. Затем раздробленная руда измельчается в воде до получения раствора такой же консистенции, что и смешанный с водой морской песок или даже порошок талька. Обычно в этот раствор добавляется серная кислота, которая растворяет уран; оставшиеся после этого нерастворенными частицы породы и большинство других минералов называются хвостами.

Другой метод добычи получил название «подземное выщелачивание» — при нем уран непосредственно извлекается из руды, без значительного физического воздействия на недра. В настоящее время этим способом добывают около половины всего урана в мире. При подземном выщелачивании в грунтовые воды добавляются кислота или щелочь вместе с окислителем, и полученный раствор вводится в урановую руду, где он циркулирует, растворяя уран. Затем содержащая растворенный уран смесь выкачивается на поверхность для дальнейшей обработки.

В результате обоих упомянутых методов получают жидкость с растворенным в ней ураном. При необходимости из нее отфильтровываются оставшиеся в ней хвосты. Уран оседает в жидкости, фильтруется и сушится до получения концентрата оксида урана, который затем герметично упаковывается по цилиндрическим контейнерам. Этот концентрат в виде порошка может иметь ярко-желтый (отчего его называют «желтым кеком») или, после сушки при высоких температурах, темно-зеленый цвет.

После дальнейшей обработки и, в большинстве случаев, обогащения желтый кек можно использовать для изготовления ядерного топлива. Желтый кек производят все страны, в которых добывается уран. Он умеренно радиоактивен.

— Лаура Хиль

Перспективы урана как надежного источника энергии

Ноа Мэйхью



Урановый концентрат упаковывается в специальные герметичные стальные барабаны, по размеру похожие на бочку с нефтью. Каждая весит не более 350 килограммов в наполненном состоянии.

(Фото: Д. Кальма/МАГАТЭ)

По данным Международного энергетического агентства, к 2030 году глобальное потребление энергии может возрасти на 18 %, а к 2050 году — на 39 %. Возрастет потребность в различных источниках энергии, в том числе ядерной энергетике и, следовательно, в уране.

«По мере ввода новых и вывода устаревших энергетических реакторов надежность поставок и эффективное освоение ресурсов урана станут важнейшими факторами, от которых в ближайшие десятилетия будут зависеть энергопоставки, — заявила г-жа Адриенн Хэнли, специалист по урановым ресурсам МАГАТЭ. — Мы полагаем, что топливо на основе урана останется основным и надежным источником энергии для низкоуглеродной ядерной энергетике. То, как мы будем использовать этот вид топлива, в значительной степени будет зависеть от появления новых технологий и стратегий рационального использования природных ресурсов».

Даже по низкому сценарию будущего ядерной энергетике МАГАТЭ, согласно которому ее доля снизится с сегодняшних 11 % от энергетической корзины до всего 6 % к 2015 году, объем генерирующих мощностей возрастет на 24 %. Согласно высокому сценарию, объем ядерной энергетике увеличится в 2,8 раз, а ее доля глобального энергетического рынка возрастет до 13,7 % к 2050 году.

В связи с тем, что в ядерной энергетике развиваются новые технологии, некоторые из которых потребляют

меньше урана или могут в качестве топлива использовать материалы, которые сейчас относятся к ядерным отходам, увеличение производства ядерной энергии не обязательно повлечет пропорциональное увеличение спроса на добываемый уран. Тем не менее, ожидается, что спрос на него все равно возрастет.

Каким образом отрасль будет удовлетворять растущий спрос? Хотя запасов урана, доступных с использованием технологий, применяющихся в горнодобывающей промышленности, хватит по крайней мере на 100 лет, в настоящее время ведутся исследования альтернативных методов добычи мировых запасов урана.

Уран из морской воды

Одним из таких методов является добыча урана из морской воды, в которой растворено более 4 миллиардов тонн урана, что значительно превышает объем подтвержденных запасов урана на суше. Помимо прочего, добыча урана из морской воды обещает стать безопасным для экологии и устойчивым источником урана, дополняющим мировые месторождения суши.

В теории извлекать уран из морской воды в промышленных количествах проще, чем из руды. Содержащийся в морской воде уран возникает в результате устойчивых химических реакций между водой и породами, содержащими уран. Со временем объем извлеченного урана будет возобновляться благодаря вымыванию из горных пород. Если эти исследования

увенчаются успехом, мы получим практически неиссякаемый источник урана.

Разрабатываемые методики извлечения урана из морской воды предусматривают покрытие полиэтиленовых волокон, получаемых из обычного пластика, амидоксимой, которая притягивает диоксид урана и связывает его с волокнами. В кубометре воды содержится около трех миллиграммов урана, то есть примерно одна крупинка соли на литр. Волокна погружаются в воду примерно на месяц, затем ученые поднимают их на поверхность и обрабатывают кислотой для отделения урана, после чего волокна могут использоваться повторно.

Хотя этот метод разрабатывается уже не первое десятилетие, его коммерческое применение пока не кажется рентабельным из-за низкой стоимости урана, а также больших запасов в обычных рудниках. За последние пять лет стоимость добычи урана из морской воды снизилась в четыре раза и составила 440 долл. США за килограмм. Однако чтобы этот метод начал применяться в промышленном масштабе, цена должна опуститься существенно ниже.

Более эффективное использование урана

Не менее важным, чем наличие надежного источника урана, является его эффективное и рациональное использование. В мире возрос интерес к использованию малых модульных реакторов (ММР), так как они позволяют гибко подходить к выбору величины мощностей и предназначены для широкого круга

пользователей и применений. Одно из преимуществ ММР (в зависимости от используемой технологии) заключается в том, что для достижения той же мощности требуется меньше урана.

Широкое распространение ММР может существенно изменить структуру спроса и повлиять на предсказуемость рынка. Сегодня отрасль удовлетворяет стабильный спрос на большие реакторы, потребность в которых значительно отличается от возможного спроса на малые реакторы.

Помимо развития новых технологий, позволяющих добывать больше урана, ядерной энергетике придется внедрять рациональные методы обращения с ресурсами, — заявила Хэнли. В последние годы МАГАТЭ совместно с Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) занимается вопросами рационального использования ресурсов, в том числе анализирует их социальные и экономические аспекты, технологическую осуществимость и достоверность оценок.

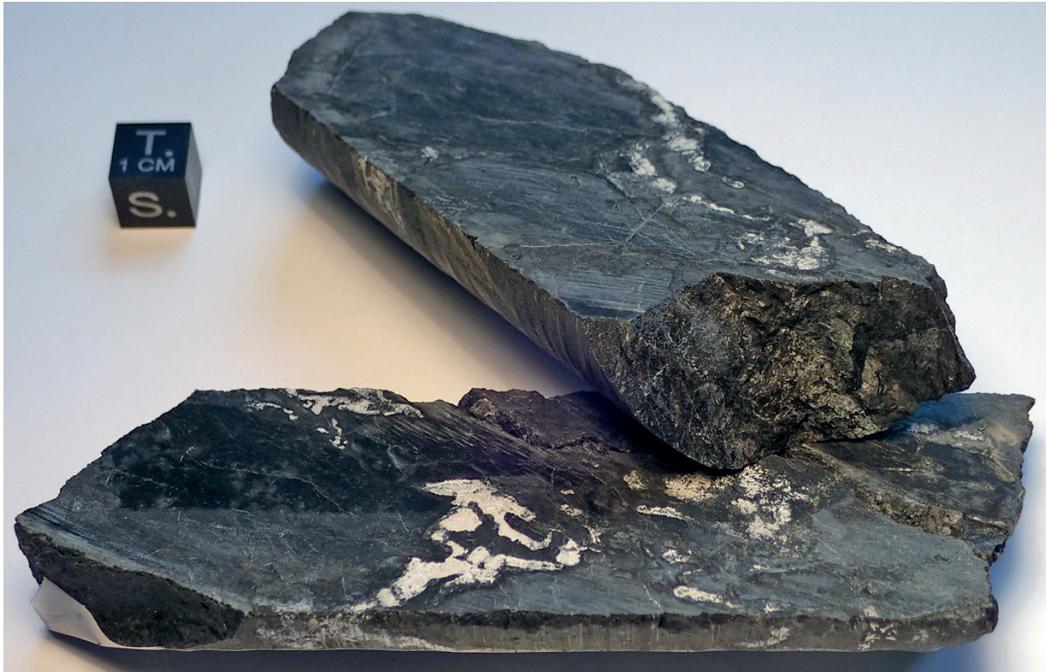
«Уран должен восприниматься как низкоуглеродный вид топлива, использование которого может способствовать достижению многих целей Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития и выполнению обязательств в сфере борьбы с изменением климата», — заявил Харикришна Тулсидас, сотрудник по экономическим вопросам ЕЭК ООН. «Новые технологии должны сыграть важнейшую роль в создании устойчивых моделей производства урана».

В морской воде содержится больше урана, чем во всех месторождениях на суше вместе взятых, однако его извлечение в настоящее время нерентабельно.



Окло, единственный известный природный ядерный реактор на Земле, которому уже два миллиарда лет

Лаура Хиль



Образцы из Окло, подаренные Музею естественной истории Вены.

(Фото: Людовик Ферьер/Музей естественной истории)

Однажды в 1972 году на юге Франции на заводе по переработке ядерного топлива физик Франсис Перрен сидел за своим столом и думал «этого просто не может быть». Перед ним лежали темный образец природной радиоактивной урановой руды, добытый в африканской шахте, и подтвержденные научные данные о постоянном уровне радиоактивного урана в породе.

При изучении этого образца высокообогащённой руды, добытого на месторождении в Габоне, обнаружилось отклонение от нормы изотопного состава — пониженная концентрация изотопа урана-235 (U-235), что обычно бывает результатом реакции расщепления. Снижение было совсем незначительным, однако достаточным, чтобы заставить исследователей крепко задуматься.

Прежде всего физики логично предположили, что нетипичное содержание U-235 объяснялось тем, что уран не был природным. Весь известный на сегодня природный уран содержит 0,720 % U-235. Не важно, добыт он в недрах Земли, на Луне или из метеорита, соотношение остается неизменным. Однако в образце руды из Окло содержание U-235 составляло лишь 0,717 %.

Что это могло значить? Сперва у физиков была единственная гипотеза, что урановая руда подверглась искусственному расщеплению, т. е. что некоторые изотопы U-235 распались в результате ядерной цепной реакции. Это бы объясняло изотопное отношение ниже нормы.

Проведя дополнительный анализ, Перрен и его коллеги убедились в абсолютно естественном происхождении руды. Что еще более удивительно, они обнаружили следы реакции расщепления. Получается, урановая руда была естественной, однако когда-то в ней протекала ядерная реакция деления. Оставалось единственно возможное объяснение — более двух миллиардов лет назад кусок руды подвергся природной реакции расщепления.

«Проведя дополнительные изыскания, в том числе на месторождении, они обнаружили, что в урановой руде протекала ядерная реакция деления», — заявил Людовик Ферьер, куратор коллекции минералов Музея естественной истории Вены, в котором этот образец руды будет выставлен в 2019 году. «Другого объяснения просто не было».

Чтобы это явление возникло естественным путем, для начала цепной реакции в месторождениях урановой руды на западе Экваториальной Африки должна была содержаться критическая масса U-235. В свое время так оно и было.

Второй фактор, необходимый для начала и поддержания цепной реакции, это наличие замедлителя. Им стала вода. Если бы вода не замедляла нейтроны, управляемая реакция расщепления была бы невозможна. Расщепления атомов бы не произошло.

«Как и в техногенном легководном ядерном реакторе реакция расщепления в отсутствии замедлителей нейтронов просто останавливается», — заявил Питер Вуд, руководитель группы по производству урана МАГАТЭ. «В Окло замедлителем стала вода, которая абсорбировала нейтроны и контролировала цепную реакцию».

Особая геологическая структура региона, который находится на территории современного Габона, также оказалась благоприятной. Химическая концентрация урана (включая U-235) была достаточно высока, а отдельные образования — достаточно глубокими и широкими. Наконец, Окло оказался неподвластен времени. Эксперты предполагают, что в мире могли существовать и другие подобные природные ядерные реакторы, но они скорее всего были разрушены в результате геологических процессов, эрозии или движения тектонических плит — или просто пока еще не найдены.

«Удивительно, как все сошлось — время, геологические условия, вода. Иначе ничего бы не было», — заявил Вуд. И природный реактор сохранился до сих пор. Детективная загадка разгадана».

Образец породы в родном городе МАГАТЭ

Образцы породы из Окло, полученные из буровых скважин, хранятся в штаб-квартире французской компании «Орано», которая занимается ядерной и возобновляемой энергетикой. В начале 2018 года два распиленных продольно керна были подарены Музеем естественной истории Вены. Спонсорами выступили компания «Орано» и Комиссия по альтернативным источникам и атомной энергии (СЕА) Франции при поддержке постоянного представительства Франции при Организации Объединенных Наций и международных организациях в Вене. Когда образцы были доставлены в Вену, научные сотрудники МАГАТЭ контролировали уровень радиоактивности и помогли обеспечить безопасность при обращении с образцами. Уровень излучения на расстоянии 5 сантиметров от образцов составляет примерно 40 микрозивертов в час, что сравнимо с уровнем космического облучения, которое получает пассажир восьмичасового рейса по маршруту Вена — Нью-Йорк. У музея, который каждый год посещают 750 тысяч посетителей, есть опыт обращения с радиоактивными образцами, так как в коллекции уже экспонируется ряд низкорadioактивных камней и материалов. «Мы хотим, чтобы люди знали о естественной радиоактивности, понимали, что радиация существует вокруг нас и что в малых дозах естественное



Людовик Ферьер, куратор коллекции минералов, представляет реактор из Окло в Музее естественной истории Вены. Образец из Окло будет экспонироваться в постоянной коллекции музея с 2019 года.

(Фото: Л. Хиль/МАГАТЭ)

радиоактивное излучение не опасно. Радиоактивно все, что нас окружает: полы и стены наших домов, еда, которую мы едим, воздух, которым мы дышим, даже наше собственное тело, — говорит Ферьер. — Лучший способ продемонстрировать это — показать настоящий образец породы из Окло, где природная ядерная реакция деления происходила миллиарды лет назад». В постоянной коллекции будут экспонироваться различные источники фоновой радиоактивности. Благодаря карте мира, на которой обозначено распределение радиоактивности, радиационному детектору, счетчику Гейгера или камере Вильсона посетители смогут увидеть воздействие природной радиации. «Камни похожи на книги. Название и имя автора можно увидеть на обложке, но чтобы узнать, о чем книга, ее надо прочесть», — сказал Ферьер.

Состояние, трудности и перспективы развития уранового производства: взгляд изнутри

Александр Бойцов

Согласно двум недавним отчетам, как минимум до 2023 года рынок урана будет перенасыщен. В «Обзоре рынка урана за 2018 год», подготовленном консалтинговой фирмой Ux Consulting, и «Отчете о ядерном топливе за 2017 год», составленном Всемирной ядерной ассоциацией, дается прогноз спроса и предложения в области ядерного топливного цикла до 2030 и 2035 года, соответственно.

В течение обоих периодов порядка 10% глобального спроса будет покрываться за счет вторичных источников. К ним относятся гражданские запасы у энергопредприятий и правительств, регенерированный уран и плутоний или обедненный уран, прошедший повторное обогащение. Однако доля этих источников в общем объеме предложения на рынке урана будет постепенно снижаться, и в долгосрочной перспективе альтернатив первичным источникам останется не так много.

К 2035 году из-за истощения запасов и закрытия шахт производство первичного урана на действующих рудниках упадет на 30%, а производственных мощностей новых шахт хватит лишь на то, чтобы компенсировать мощности тех, что уже были выработаны. В обоих отчетах говорится, что в период с 2023 по 2026 год спрос на уран может превысить предложение. Для того чтобы к 2035 году устранить этот разрыв и нарастить объем производства до требуемых 30 000 тонн в год, необходимо в ближайшие десять лет начать производство урана на потенциально



Александр Бойцов — советник вице-президента компании «Ураниум Уан Груп» (Uranium One Group) со штаб-квартирой в Москве. На протяжении 40 лет он работал в сфере разведки урановых месторождений, оценки ресурсов, добычи и переработки. С 1994 года он представлял Российскую Федерацию в Объединенной урановой группе МАГАТЭ и Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и был сопредседателем подгруппы Всемирной ядерной ассоциации по составлению «Отчета о рынке ядерного топлива за 2011 год».

Автор и соавтор более 100 публикаций, изданных в России и по всему миру, в том числе опубликованной в 2012 году монографии «Уран: геология, добыча, экономика».

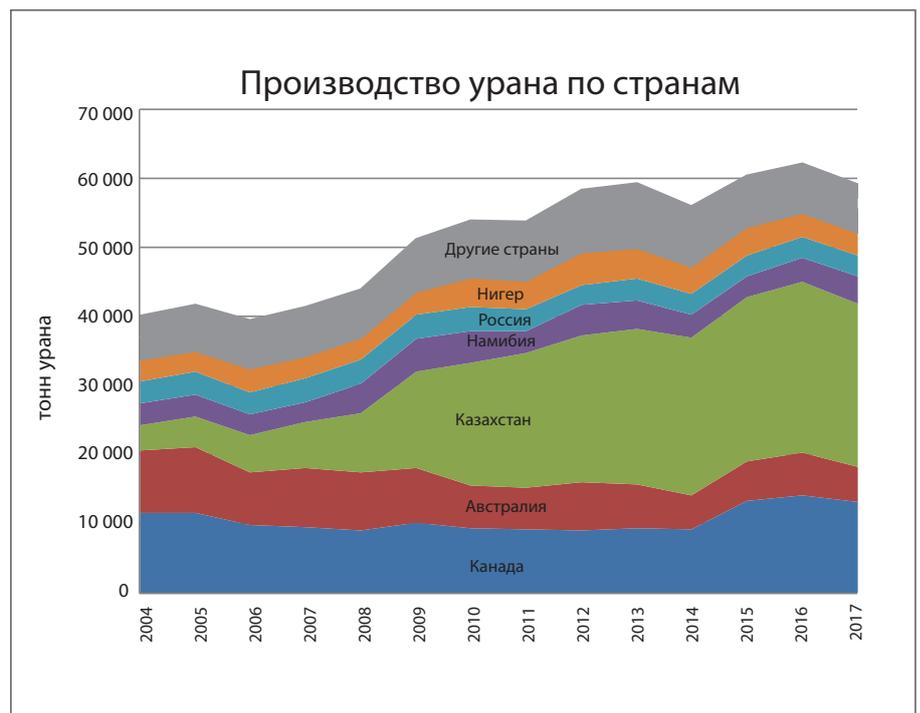


Рис. 1. Производство урана по странам

Источник: подготовлено автором на основе публичных отчетов компаний-производителей урана.

новых рудниках. Однако проблема заключается в том, что в планах компаний разработка таких будущих месторождений еще не подтверждена. В связи с этим возникает вопрос: достаточно ли мировых запасов урана и мощностей по его добыче для удовлетворения долгосрочных потребностей ядерной энергетики?

Несмотря на застой на рынке, в течение последних десяти лет производство урана продолжало постепенно расти и в 2016 году — впервые с 1983 года — достигло исторического максимума в 62 000 тонн. (В 2017 году было произведено 59 000 тонн урана.) Рост в основном был вызван шестикратным увеличением производства в Казахстане в течение последних десяти лет; с 2009 года страна является крупнейшим производителем урана (см. рис. 1).

Сегодня уран чаще всего добывается методом подземного выщелачивания. Доля урана, добываемого таким способом, увеличилась с 20% в 2005 году до 50% в 2016 и 2017 годах. Однако, по мнению Ux Consulting, после 2028 года из-за истощения запасов добывающие мощности при использовании этого метода начнут сокращаться, а с 2022 года на рудниках с низкой себестоимостью добычи и использованием подземного выщелачивания произойдет резкое снижение производства. Из-за увеличения себестоимости добычи и ограничения доступности ресурсов уранодобывающие компании могут испытать экономические и технические трудности при разработке новых проектов добычи методом подземного выщелачивания.

По данным Ux Consulting, только на 40% из 43 действующих рудников себестоимость производства урана ниже его текущей рыночной цены. С учетом нынешних непростых условий на рынке на плаву, скорее всего, смогут удержаться лишь компании, ведущие дешевое

производство или заключившие выгодные долгосрочные контракты.

Низкие цены на уран — не единственная проблема; компании также сталкиваются с политическими, социальными и экологическими ограничениями. Эти ограничения помешали развитию нескольких урановых проектов в Австралии, Канаде, Казахстане, России и ряде стран Африки, из-за чего в 2018 году может наблюдаться падение производства как минимум на 10%.

Сейчас Казахстан остается ведущим производителем урана в мире, но в будущем он может испытать аналогичные трудности. Республика планирует поддерживать текущие добывающие мощности на уровне 25 000 тонн в год в течение следующих пяти лет, однако из-за истощения ресурсов и закрытия старых шахт к 2030 году объемы добычи могут упасть на 40%, а к 2035 — на 70%.

В мире достаточно урана, но во что обойдется его добыча?

Ключевую роль в устойчивом и долгосрочном производстве играет наличие надежных и дешевых с точки зрения себестоимости добычи урановых ресурсов. В целом, мировых запасов урана более чем достаточно для удовлетворения долгосрочных потребностей ядерной отрасли. Однако многие ресурсы относятся к категориям дорогостоящих. После 2020 года производители урана могут испытать нехватку дешевых урановых ресурсов. За последние десять лет общемировой объем разведанных запасов урана увеличился на 21%, однако дешевые по себестоимости добычи запасы — менее 80 долларов за килограмм — сократились на 48% (см. рис. 2).

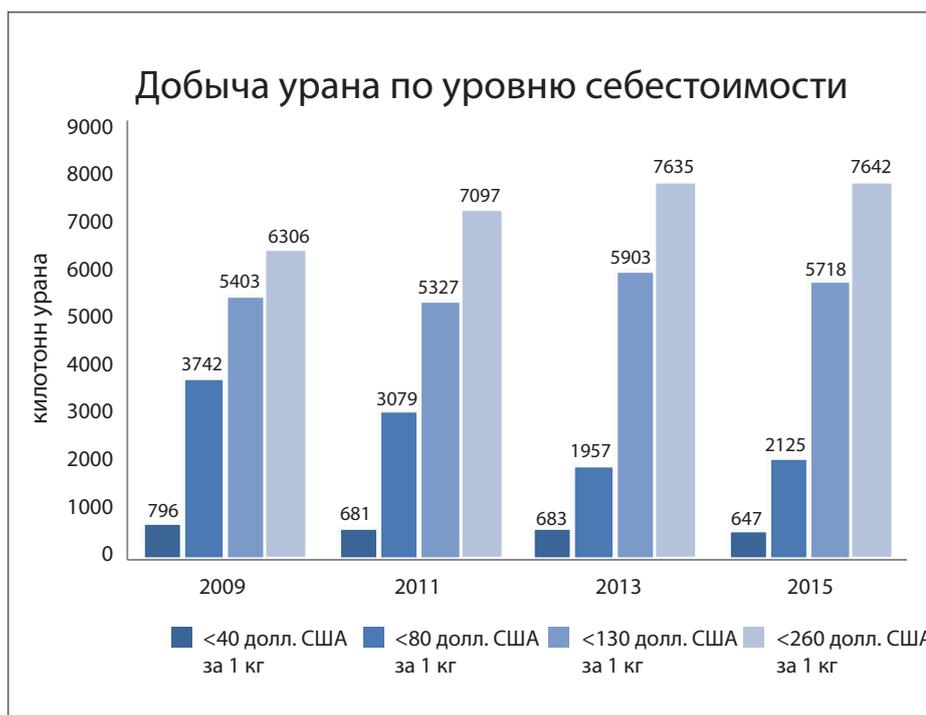


Рис. 2. Себестоимость добычи урановых ресурсов

Источник: совместный доклад Агентства по ядерной энергии и МАГАТЭ «Uranium 2016: Resources, Production and Demand» («Уран-2016: ресурсы, производство и спрос»).

МАГАТЭ расширяет работу по созданию потенциала для борьбы с детским раком

Новое партнерство позволит МАГАТЭ лучше помогать странам с низким и средним уровнем дохода в расширении доступа к средствам раннего обнаружения и лечения рака у детей. В рамках соглашения о сотрудничестве с Международной конфедерацией родительских организаций по борьбе с детским раком (МКДР), подписанного в начале июня 2018 года, МКДР и МАГАТЭ будут вместе организовывать для педиатров профильную подготовку, повышать осведомленность и мобилизовывать ресурсы в интересах больных раком детей в государствах — членах МАГАТЭ.

МКДР объединяет 188 организаций из 93 стран, которые представляют родителей онкобольных и молодых людей, переживших рак. Она пропагандирует наилучшие практики, разрабатывает эффективные, новаторские подходы и реализует экономически эффективные решения для снижения смертности от рака детства. В нескольких странах (среди которых Гана, Мьянма и Эфиопия) МКДР выполняет проекты по удовлетворению медико-санитарных потребностей находящихся на лечении детей, подготовке стажеров в области

детской онкологии, созданию устойчиво функционирующих учреждений и групп поддержки родителей.

Ежегодно у детей в возрасте до 14 лет диагностируется более 300 000 случаев рака, и число таких случаев растет. Согласно опубликованному в журнале «Ланцет» исследованию CONCORD-2, показатель выживаемости детей в менее развитых регионах мира может составлять всего 30%, тогда как в странах с высоким доходом он превышает 80%.

Расширение доступа к лечению

«Это соглашение — база для борьбы с раковыми заболеваниями у детей, которая позволит расширить доступ детей в развивающихся странах к услугам лучевой терапии, — говорит Дачжу Янг, заместитель Генерального директора и руководитель Департамента технического сотрудничества МАГАТЭ. — Наши государства-члены смогут задействовать налаженные таким образом связи для удовлетворения растущего спроса на услуги и специализированные навыки в области онкологии».

В тесном сотрудничестве с государствами — членами МАГАТЭ разрабатывает и осуществляет многодисциплинарные программы борьбы с раковыми заболеваниями охватывающие все этапы — от профилактики и раннего выявления до лечения — и включающие в себя компонент радиационной медицины. Наряду с подготовкой медицинских специалистов Агентство участвует в разработке мер контроля качества и закупке оборудования для лечения рака у детей, в частности путем передачи передовых технологий, таких как протонная терапия. Агентство разрабатывает инструкции по обеспечению безопасности и защиты подвергающихся облучению пациентов, в том числе детей.

Имеющийся у МАГАТЭ глобальный опыт в области диагностики и лечения рака позволит МКДР задействовать это партнерство на пользу молодым пациентам и их семьям по всему миру, уверена Рут Хоффман, президент МКДР: «Наша цель — обеспечить всех больных раком детей и подростков уходом и диагностикой на максимально высоком уровне. С помощью МАГАТЭ мы можем этого добиться».

— Джеймс Хоулетт

На конкурсе МАГАТЭ среди учащихся старших классов выбрано лучшее игровое онлайн-приложение



Малайзийская школьная команда представляет свою работу, занявшую первое место на конкурсе МАГАТЭ по инновационным подходам к популяризации ядерной науки и техники, 31 мая 2018 года, Кёнджу, Южная Корея.

(Фото: МАГАТЭ)

На третьей Международной конференции МАГАТЭ по развитию людских ресурсов для ядерно-энергетических программ, которая состоялась в мае 2018 года в Кёнджу, Южная Корея, были объявлены победители международного конкурса среди учащихся старших классов. Первое место заняла команда школьников из Малайзии, создавшая игровое приложение для популяризации ядерной науки.

Команда из средней школы Куала-Бесута назвала свое приложение «100 фактов о ядерной науке и жизни». После выпуска этого приложения в начале 2018 года выяснилось, что пользующиеся им местные жители и туристы кардинально изменили свои взгляды на ядерную промышленность.

«До начала проекта 93% респондентов относились к ядерной науке и технике отрицательно, — говорит Сафийя бinti Мухаммад Насир, один из трех участников команды-победителя. — Но после знакомства с основами ядерных применений о положительном отношении к ядерной энергии и науке заявили уже 96% опрошенных».

Цель конкурса, проводившегося во время четырехдневной конференции, заключалась в том, чтобы пробудить у учеников старших классов интерес к ядерной науке и технике. Участвовать в нем могли школьники из любой страны мира в возрасте 14–18 лет. Перед ними стояла задача содействовать обсуждению и осознанию результатов применения ядерной науки и техники в настоящем и будущем.

Пять команд-финалистов (из Венгрии, Малайзии, Соединенных Штатов Америки, Южной Кореи и Японии) разработали и реализовали инновационные проекты и выиграли поездку в Кенджу, где смогли представить их на конференции МАГАТЭ.

Учитель Ван Мод Шатар, сопровождающий команду из школы

Куала-Бесута, подчеркивает: «Важно отметить, что это ребята из рыбацкой деревни в Малайзии, где люди плохо знакомы с достижениями ядерной науки. Благодаря этому конкурсу они не только наладили общение с населением, но и начали исследовать новую научную область».

К критериям первоначального отбора относились точность, новаторский характер, потенциальный эффект и гендерная сбалансированность.

«Когда мы услышали о международном конкурсе МАГАТЭ для школьников, мы поняли, что это отличная возможность больше узнать о ядерной отрасли и подчеркнуть наше стремление к обеспечению безопасного использования ядерной энергии», — говорит Эндрю Кинг, заместитель директора средней школы им. д-ра Ольги Мохан, США, направившей на конкурс одну из команд-финалистов. Ее ученики выяснили, что представление о ядерной энергии у школьников омрачено страхом перед ядерным оружием и что для информирования студентов о карьере в ядерном секторе необходима более обширная информационная работа.

По завершении конференции верховный комиссар Комиссариата по атомной энергии и альтернативным источникам энергии Франции Ив Бреше подчеркнул, что для будущего ядерной энергетики одинаково важны все уровни образования: от начальной школы до докторантуры. В принципе, во время обучения и подготовки кадров можно охватить все проблемы, с которыми ныне сталкивается ядерная отрасль:

- повышение социальной приемлемости ядерной энергетики требует просвещения населения в целом и повышает важность научной подготовки для всех и каждого;
- потребность в повышении эффективности и безопасности должна мобилизовать новое поколение инженеров, лучше знакомых с компьютерным моделированием и анализом данных;
- для развития инноваций потребуются научно-техническая база, долгосрочные проекты и научные сотрудники различных специализаций.

В конференции приняли участие более 520 участников и наблюдателей из 51 страны и пяти организаций.

— Шант Крикорян

МАГАТЭ открывает новый хаб по созданию потенциала в области ядерной энергии

В целях содействия странам, эксплуатирующим АЭС, и странам, рассматривающим или разрабатывающим новые ядерно-энергетические программы, МАГАТЭ открыло новую цифровую платформу, посвященную вопросам планирования трудовых ресурсов, лидерства, подготовки кадров, привлечения заинтересованных сторон и действий человека. Хаб по созданию потенциала в области ядерной энергии позволяет зарегистрированным пользователям влиться в профессиональные сообщества, где ведется активная работа по обмену информацией, созданию потенциала и налаживанию связей.

Эксперты могут присоединяться к любому тематическому

сообществу, направлять отзывы на проекты МАГАТЭ, тестировать средства электронного обучения МАГАТЭ, просматривать нужные им веб-страницы, знакомиться с публикациями МАГАТЭ и находить документы предыдущих совещаний.

«Новый хаб — это уникальное интерактивное онлайн-пространство для специалистов в ядерной области, — говорит Лотта Хальт, специалист МАГАТЭ по подготовке кадров в области ядерной энергетики. — Он станет «единым окном» МАГАТЭ в области информационной работы и обсуждения тем, связанных с развитием людских ресурсов и привлечением заинтересованных сторон в интересах реализации ядерно-энергетических программ».

Презентация хаба состоялась на третьей Международной конференции МАГАТЭ по развитию людских ресурсов для ядерно-энергетических программ, прошедшей в Кенджу, Южная Корея, 28–31 мая 2018 года.

Он был разработан по просьбам государств-членов, касающимся модернизации каналов связи между специалистами-ядерщиками. Он призван стать площадкой для более оперативного и тесного взаимодействия.

Зарегистрироваться и принять участие в работе хаба можно, отправив сообщение по адресу HRD.Contact-Point@iaea.org.

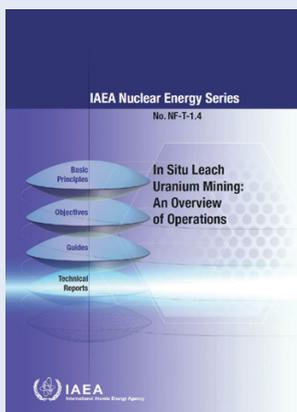
— Лица Бертелло



«Урановые месторождения в мире» (второе издание) («World Distribution of Uranium Deposits. Second Edition»)

представляет собой полную, онлайн-ую, интерактивную и единую цифровую карту расположения урановых месторождений в мире. Во второе издание вошли материалы, подготовленные службами геологоразведки Саскачевана, Южной Австралии и Соединенных Штатов. В первом издании, опубликованном в 1995 году, содержалась информация о 582 урановых месторождениях мира; в данной публикации приводятся данные о 2831 месторождении. Публикация предоставляет доступ к современным интерактивным средствам и также распространяется в печатном виде. (Подробнее см. статью на стр. 12).

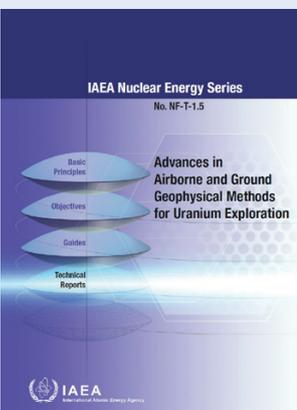
Non-serial Publications; ISBN:978-92-0-100118-4; на английском языке; 20,00 евро; 2018 год <https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/12314/World-Distribution-of-Uranium-Deposits>



«Обзор деятельности по добыче урана методом подземного выщелачивания» («In Situ Leach Uranium Mining: An Overview of Operations»)

дает экскурс в историю и предлагает описание мирового опыта в использовании подземного выщелачивания (добычи растворением), ставшего одним из традиционных способов производства урана. Данной публикацией можно руководствоваться при осуществлении технической деятельности с учетом экологических факторов, экономической стороны этого процесса, включая ответственный подход к закрытию шахт. В публикации рассказывается о безопасном и эффективном создании и осуществлении текущих и будущих проектов, а также управлении ими, при повышении эффективности и снижении негативного воздействия на окружающую среду.

IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-1.4; ISBN: 978-92-0-102716-0; на английском языке; 30,00 евро; 2016 год <https://www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/10974/Uranium-Mining>



«Достижения в области воздушной и наземной геофизической разведки месторождений урана» («Advances in Airborne and Ground Geophysical Methods for Uranium Exploration»)

дает представление о новейших средствах геофизической разведки и способах их применения при разведке месторождений урана и содержит краткое описание современных методов с демонстрацией их применения на конкретных примерах.

IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-1.5; ISBN: 978-92-0-129010-6; на английском языке; 26,00 евро; 2013 год <https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/8641/Uranium-Exploration>

За дополнительной информацией и для заказа книг просьба обращаться по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)
Международное агентство по атомной энергии
Венский международный центр:
а/я 100, А-1400 Вена, Австрия
Эл. почта: sales.publications@iaea.org

Конференция на уровне министров

Ядерная наука и технологии:
решение текущих и новых
задач развития

28–30 ноября 2018 года
Вена, Австрия



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

Атом для мира и развития



#Atoms4Life

CN-262

Научный форум Международного агентства по атомной энергии

Ядерные технологии в борьбе с изменением климата

*Смягчение последствий
Мониторинг
Адаптация*

18–19 сентября 2018 года
Венский международный центр
Зал заседаний D Совета управляющих
Здание С
4-й этаж



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

Атом для мира и развития



<https://www.iaea.org/scientific-forum>