

США

В июне 2020 года в договор о продаже хвостов обедненного гексафторида урана (UF_6), заключенный в 2016 году между компанией GE-Hitachi Global Laser Enrichment (GLE) и Министерством энергетики США (DOE), были внесены изменения, заложившие основу для промышленного внедрения технологий лазерного обогащения урана с созданием завода в Падаке (штат Кентукки, Paducah Laser Enrichment Facility, PLEF). Эти изменения обеспечили соответствие положений договора текущей ситуации на рынке и являлись главным условием для достижения соглашения между австралийской компанией Silex Systems¹, канадской корпорацией Cameco² и GE-Hitachi Nuclear Energy по реструктуризации GLE: 51% ее акций получила Silex Systems, а доля акций Cameco должна возрасти к концу 2020 года с 24% до 49%. GLE выступает в качестве единственного лицензиата компании Silex Systems: промышленная эксплуатация завода в Падаке должна стартовать в конце 2020-х гг. Переработка всего объема обедненного урана, как ожидается, займет несколько десятилетий при условии производства порядка 2000 тонн/год природного урана в форме UF_6 , что эквивалентно эксплуатации месторождения с ежегодным объемом добычи около $2,4 \cdot 10^6$ кг U_3O_8 [1].

Кроме того, DOE отдельно озвучило свои планы по захоронению объемов оксидов обедненного урана, накопленных на площадках остановленных заводов по газодиффузионному обогащению (хвостохранилища, находящиеся в ведении DOE) и отнесенных к категории отходов. По данным DOE, на площадках в Портсмуте (штат Огайо) и Падуке накоплено в общей сложности около 800 000 тонн обедненного UF_6 , отнесенного к категории РАО. На обеих площадках работают установки, осуществляющие конверсию UF_6 в более стабильную форму с получением обедненного оксида урана, который затем может быть либо использован повторно, либо захоронен. В июне 2020 года DOE опубликовало протокол о принятии решения (англ. Record of

Decision, ROD), в котором вариант захоронения обедненного оксида урана на трех возможных площадках был признан предпочтительным (площадки EnergySolutions LLC вблизи г. Клайв в штате Юта, Waste Control Specialists LLC в г. Андрус, штат Техас и Nevada National Security в округе Най, штат Невада) [1].

В конце июня 2020 года компания Isotek Systems, принадлежащая канадской корпорации SNC-Lavalin, подписала контракт с DOE, стоимостью 254 млн долларов США, по переработке и утилизации материала на основе ^{235}U на территории Окриджской национальной лаборатории (штат Теннесси) с планируемым окончанием работ в 2024 году (рис. 1). Производство ^{235}U осуществлялось с целью его использования в качестве альтернативного топливного источника для ядерных реакторов. Однако впоследствии такое топливо было признано неперспективным. Данный материал сейчас находится на хранении в здании 3019, построенном еще в 1940-х гг. (старейшая, до сих пор действующая, ядерная установка на территории США). Удаление накопленных объемов ^{235}U позволит снизить как риски, так и затраты на обеспечение физической и ядерной безопасности, а также будет способствовать созданию более благоприятной среды для проведения общенаучных исследований на территории Окриджской лаборатории [2].

Работы по подготовке к удалению ^{235}U из здания 3019 проводятся Isotek с 2003 года. В октябре 2019 года Isotek приступила к переработке контейнеров с ^{235}U в здании 2026, с последующей передачей переработанного материала на захоронение. В ходе операций по переработке происходит выделение изотопов ^{229}Th , используемых в исследованиях раковых заболеваний, а средства от их продажи Isotek направляет в Фонд утилизации ^{235}U . Согласно положениям подписанного



Рис. 1. Окриджская национальная лаборатория (США)

¹ Компания, занимающаяся разработкой промышленных технологий лазерного обогащения урана, Separation of Isotopes by Laser EXcitation.

² Канадская горнорудная компания, один из крупнейших производителей урана в мире.

контракта, Isotek продолжит свое сотрудничество с DOE с привлечением 254 млн долларов США на обеспечение безопасного захоронения более чем 80 % всего накопленного объема ^{235}U . К настоящему времени из здания 3019 удалено и направлено на окончательное захоронение не более половины накопленного объема урана [2].

В настоящее время концепция глубинного скважинного захоронения ОЯТ рассматривается США в качестве перспективной. Проработкой данного вопроса занимается компания Deep Isolation. Предлагаемая ею технология предусматривает размещение отходов в контейнерах из коррозионно-стойкого материала диаметром 22–23 см и высотой 4,3 м, устанавливаемых в горизонтальные скважины, пробуренные на большой глубине в толще пород, которые на протяжении десятков и даже сотен миллионов лет оставались стабильными (рис. 2). Протяженность вертикального участка скважины, идущего от поверхности земли, может достигать нескольких сотен метров или даже километров. После установки контейнеров вертикальный участок скважины и начало горизонтального герметизируют, используя местную породу, бентонит и другие материалы, с обеспечением в случае необходимости возможности повторного извлечения уже захороненных отходов. Среди преимуществ данной концепции отмечают значительную глубину захоронения; размещение отходов в среде, находящейся ниже уровня грунтовых вод, в породах, не представляющих коммерческого интереса и оставшихся стабильными на протяжении миллионов лет. Кроме того, малый диаметр скважин позволяет минимизировать нарушения вмещающей среды по сравнению с традиционной концепцией создания ПГЗРО [3].

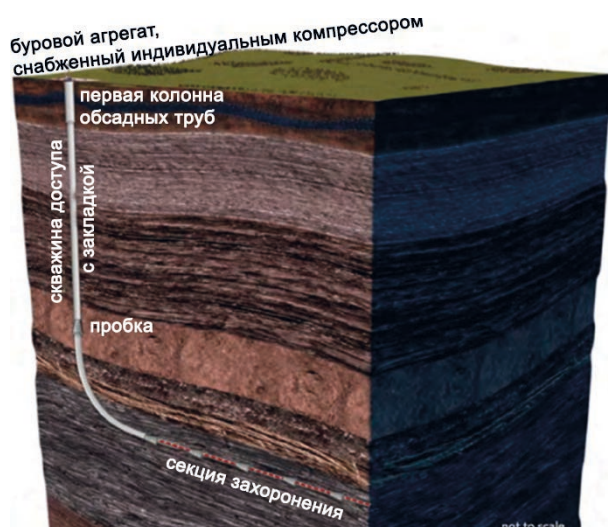


Рис. 2. Концепция глубинного скважинного захоронения (США) [3]

В середине лета 2020 года Deep Isolation подписала договор о долгосрочном сотрудничестве и лицензионное соглашение с NAC International, которая займется проектированием, производством и поставками контейнеров для хранения и/или захоронения ВАО и ОЯТ в пунктах глубинного скважинного захоронения США [3].

Летом 2020 года DOE выдало разрешение на проведение работ с высокоактивными веществами на площадке Завода по переработке солевых отходов (Salt Waste Processing Facility, SWPF) в Саванна Ривер (рис. 3). SWPF позволит DOE переработать более 117 млн литров солевых РАО, на данный момент размещенных в подземных резервуарах-хранилищах на площадке, где с 1950-х гг. осуществлялось производство основных материалов, необходимых для изготовления ядерного оружия, в первую очередь трития и ^{239}Pu . В Саванна Ривер действовало 5 промышленных реакторов, а также целый ряд установок, включая два завода по химической сепарации, установку для обезвоживания, заводы по изготовлению ядерного топлива и сборок-мишеней, а также установки по обращению с РАО. Удаление солевых отходов, на которые приходится более 90 % всего накопленного объема ЖРО, считается ключевой задачей, которую необходимо решить в рамках реализуемой программы по реабилитации и очистке загрязненных территорий Саванна Ривер [4].

SWPF позволит отделить ВАО, в основном путем выделения цезия, стронция, актинидов и шлама, от солевого раствора с более низким уровнем активности. Концентрат ВАО подлежит остекловыванию на находящейся поблизости установке, а прошедший обработку солевой раствор после смешения с раствором на основе цемента поместят в специально сооруженный пункт захоронения, расположенный на площадке.

До настоящего времени переработка солевых отходов осуществлялась на другой установке, действующей на площадке, однако ввод в эксплуатацию SWPF позволит значительным



Рис. 3. Завод по переработке солевых отходов в Саванна Ривер [4]

образом повысить производительность, тем самым сэкономить миллиарды долларов, сократив эксплуатационные расходы за счет ускоренного выполнения поставленной задачи по очистке площадки (согласно оценкам, цель будет достигнута на несколько лет быстрее). Завершить работы планируется к 2030 году [4].

Также в начале 2000-х гг. на площадку Саванна Ривер было доставлено 9,5 тонн плутония оружейного качества для его переработки с целью получения смешанного оксидного топлива (МОКС-топлива). Строительство завода по производству МОКС-топлива было окончательно остановлено по решению министра энергетики в 2018 году: на тот момент затраты на реализацию проекта превысили бюджет на 13 млрд долларов США, а отставание от графика строительства составило 32 года [5].

Еще в 2002 году было принято постановление, в котором зафиксировано, что, если перерабатывающий завод не сможет выполнить производственные задачи, утвержденные в проекте, DOE обязуется вывезти весь объем плутония с территории штата Южная Каролина, а в случае несоблюдения сроков — выплачивать штраф в казну штата.

На данный момент в отношении накопленных объемов плутония DOE реализует так называемую концепцию разбавления и захоронения, признанную безопасной и эффективной, но требующей чрезвычайно больших временных затрат. Очевидно, что DOE не сможет уложиться в отведенный срок до 1 января 2022 года — текущий график работ предусматривает их завершение лишь к 2049 году. Так, каждый день просрочки обошелся бы DOE в 1 млн долларов США или максимально 100 млн долларов США в год, что эквивалентно общей сумме выплат за весь срок более 2 млрд долларов США. Однако в начале осени 2020 года между правительством штата Южная Каролина и правительством США было заключено мировое соглашение, согласно которому DOE обязуется перечислить в казну штата в общей сложности 600 млн долларов США при условии завершения работ по удалению всего объема плутония к 2037 году. Данное соглашение позволит сэкономить средства налогоплательщиков в размере более 1,5 млрд долларов США, а властям штата заручиться подкрепленным финансово обязательством правительства США по решению поставленной задачи [5].

Бельгия

Бельгийский ядерный регулятор (Бельгийское федеральное агентство по ядерному контролю, FANC) одобрил концепцию создания

пункта геологического захоронения ВАО и/или долгоживущих РАО. Соответствующий проект предложения был ранее направлен Ondraf/Niras (Бельгийское агентство по обращению с РАО) органам государственной власти на рассмотрение, а в период с 15 апреля по 13 июня 2020 года состоялись общественные слушания [6].

FANC заявил, что, учитывая текущий уровень развития научного знания, концепцию геологического захоронения следует рассматривать в качестве наиболее предпочтительного варианта с точки зрения обеспечения долгосрочной безопасности. При этом, поскольку отходы будут достаточно надежно изолированы и отделены от среды обитания человека, риски, связанные с некими предполагаемыми ситуациями в будущем (войнами, изменением климата, нехваткой финансовых ресурсов), будут, насколько это возможно, минимизированы. Вместе с тем FANC отметило, что безопасность конкретного проекта ПГЗРО потребует обосновать отдельно на последующих этапах, так как в текущем проекте предложения рассмотрены лишь общие принципы реализации концепции геологического захоронения. О том, каким образом, где и когда будет построен данный объект, пока речь не идет: на данном этапе Бельгии лишь предстоит определить свою национальную политику в отношении окончательного захоронения ВАО и/или долгоживущих РАО.

В ближайшее время Ondraf/Niras предстоит обобщить результаты общественных слушаний, а также проанализировать советы и рекомендации Федерального совета по устойчивому развитию, региональных органов власти, FANC и других консультативных органов и на их основе разработать проект национальной политики, который будет направлен на рассмотрение Совета Министров. В том случае, если бельгийское правительство одобрит сам принцип геологического захоронения в качестве решения, способного обеспечить безопасность ВАО и/или долгоживущих РАО в долгосрочной перспективе, то FANC примет участие в процессе принятия решений, касающихся выбора типа вмещающей среды и площадки для строительства ПГЗРО [6].

Канада

Канадская компания OPG (англ. Ontario Power Generation) официально аннулировала ранее направленную ею заявку на получение лицензии на размещение и строительство ПГЗРО для НАО и САО вблизи АЭС Брюс (провинция Онтарио) (рис. 4). Также формально была остановлена процедура оценки воздействия данного

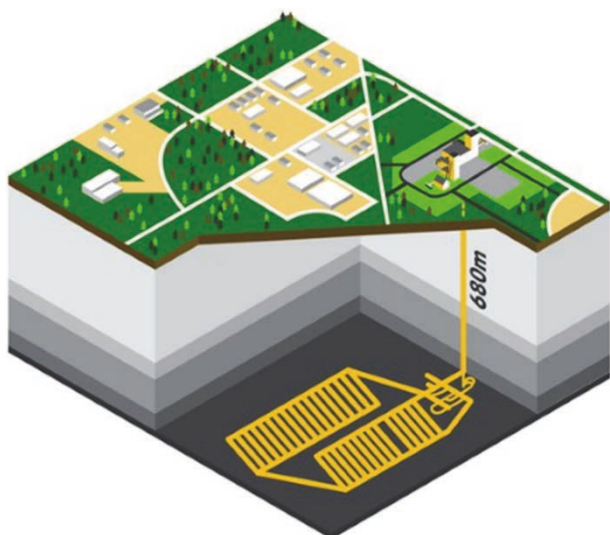


Рис. 4. Канадская концепция геологического захоронения НАО и CAO [7]

объекта на окружающую среду. Решение было принято OPG вследствие неодобрения предложенного места размещения ПГЗРО представителями общин коренных народов Saugeen Ojibway Nation (SON) в ходе голосования, состоявшегося в январе 2013 года [7].

Прекращение процедуры оценки воздействия на окружающую среду не означает, что в дальнейшем OPG или другая организация не сможет подать заявку на реализацию данного или подобного ему проекта. Вместе с тем OPG подчеркивает свое стремление к поиску альтернативного решения, способного обеспечить безопасность окончательной изоляции РАО, образующихся на эксплуатируемых компанией атомных реакторах, при условии привлечения к процессу принятия решений представителей коренных народов, а также местных органов власти [7].

Великобритания

Университет Манчестера и Университет Шеффилда удостоились гранта RWM (организация, ответственная за обращение с РАО в Великобритании) в размере 3,3 млн долларов США на проведение независимых исследований в обоснование проекта создания ПГЗРО в Великобритании. В начале августа 2020 года RWM также объявила об учреждении в собственной структуре Департамента научной поддержки (Research Support Office, RWM RSO), что позволит ей применить весь спектр доступных средств и методов для проведения научных исследований в области геологического захоронения, которые будут использованы RSO с целью формирования независимых оценок и надежного обоснования безопасности в процессе проектирования

национального ПГЗРО. Штаб-квартира RWM RSO располагается в Ядерном институте Далтона (Университет Манчестера). RWM RSO возглавила профессор Кэтрин Моррис, заведующая кафедрой исследований радиоактивности окружающей среды Университета Манчестера. В стратегических исследованиях в области обращения с РАО будут задействованы ученые, обладающие многопрофильными знаниями в областях науки и техники, связанных с геологическим захоронением [8].

Основными направлениями исследований для RSO станут: перспективные технологии производства; прикладная математика; прикладная социология; наука об окружающей среде; геология; материаловедение; научные основы взаимодействия с общественностью; радиохимия и обучение персонала. По данным направлениям планируется проведение экспериментальных и модельных исследований в различных сферах науки и техники при условии обеспечения координации исследовательской деятельности, направленной на изучение социальных и социально-экономических аспектов, имеющих отношение к проекту создания ПГЗРО, в том числе вопросов, связанных с формированием и поддержанием доверия и уверенности в безопасности проекта среди местного населения [8].

Важнейшей функцией RSO станет координация различных исследований, проводимых с учетом имеющихся и возникающих потребностей. Исследователи из всех университетов Великобритании смогут подавать заявки на участие в исследованиях по указанным выше направлениям. Ожидается, что на данные нужды RWM в течение следующих 10 лет выделит около 20 миллионов фунтов стерлингов.

Швейцария

В августе 2020 года Швейцарский национальный кооператив по захоронению радиоактивных отходов Nagra опубликовал отчет о преимуществах и недостатках размещения завода по инкапсуляции ОЯТ и ВАО вблизи предполагаемого места строительства ПГЗРО и на других площадках [9]. Первый вариант был рассмотрен в качестве референтного. Также рассматривались перспективы строительства завода на площадке пункта хранения в Цвиллаге, где сейчас находится большая часть накопленных объемов швейцарских ВАО, вблизи пункта промежуточного хранения на площадке АЭС Бецнау, а также вблизи АЭС Гёстен и АЭС Лайбштадт. Кроме того, были рассмотрены варианты строительства завода на зеленых площадках.

В ходе сравнения предложенных вариантов были проанализированы особенности организации



Рис. 5. Перегрузочное оборудование для ВАО (Цвилаге)

транспортировки РАО, требования к пространственному размещению объекта, возможности использования имеющейся инфраструктуры и опыта. Согласно выводам экспертов, наиболее оптимальным решением станет строительство завода по инкапсуляции либо непосредственно на площадке будущего ПГЗРО, либо на площадке пункта промежуточного хранения в Цвилаге. Именно эти варианты позволяют добиться максимальной синергии в использовании возможностей имеющейся инфраструктуры и сокращения количества перевозок (рис. 5) [10].

К настоящему времени площадки в трех регионах Швейцарии Zürich Nordost, Jura Ost и Nördlich Lägern рассматриваются в качестве кандидатов для размещения ПГЗРО. Nagra планирует подать заявку на получение генеральной лицензии на ПГЗРО для ОЯТ и ВАО к 2024 году с предполагаемым завершением процедуры лицензирования к 2030 году. Затем будет проведен национальный референдум, и в случае положительного решения ввод в эксплуатацию швейцарского ПГЗРО может состояться в 2060 году [10].

Япония

Компания Japan Nuclear Fuel Limited (JNFL) объявила о том, что ввод в эксплуатацию завода по переработке ОЯТ в Роккашо, префектура Аомори, (рис. 6) пришлось отложить еще на один год (до марта 2023 года). Данное решение было



Рис. 6. Завод по переработке ОЯТ в Роккашо (Япония)

продиктовано необходимостью реализации дополнительных мер по обеспечению безопасности, включая сооружение новой градирни. Так, после аварии на АЭС Фукусима Даичи в марте 2011 года были утверждены новые нормы в области обеспечения безопасности на установках ЯТЦ. Требования этих норм различаются в зависимости от типа установки, но в целом включают набор мер по усилению защиты от природных катаклизмов, таких как землетрясения, цунами, торнадо, вулканическая активность и лесные пожары. При обосновании безопасности заводов по переработке ОЯТ требуется также продемонстрировать наличие и достаточность применяемых мер, направленных на предотвращение возможных террористических атак, взрывов водорода, пожаров, возникающих вследствие протечек растворов и испарения ЖРО [11].

Начиная с августа 2019 года действует требование в отношении обязательной установки специальных стальных сетей на градирни с целью их укрепления и защиты в случае возникновения торнадо с максимальной расчетной скоростью ветра до 100 м/с. На площадке Роккашо одна из таких градирен расположена на крыше здания установки для резки ОТВС. Согласно оценкам JNFL, установка стальной сетки в этом случае привела бы к снижению сейсмической устойчивости самого здания вследствие увеличения нагрузки на строительные конструкции. По этой причине было решено построить новую градирню, оснащенную такой сеткой.

29 июля 2020 года JNFL получила разрешение от Управления ядерного регулирования Японии на внесение изменений в перечень мер по обеспечению безопасности строящегося завода. Ведется установка дополнительного оборудования и систем для ликвидации возможных последствий тяжелых аварий. Кроме того, реализуются дополнительные меры по обеспечению безопасности, такие как установка системы защиты от внутреннего наводнения, повышение сейсмостойкости трубопроводов и модернизация системы пожаротушения [11].

Австралия

В Австралии нет ни одного атомного реактора, более того, строительство и эксплуатация АЭС в этой стране запрещены на законодательном уровне. Тем не менее Австралия имеет многолетний опыт эксплуатации исследовательских реакторов и установок, производящих радиоизотопы для медицины, промышленности и научных исследований. Всего на различных

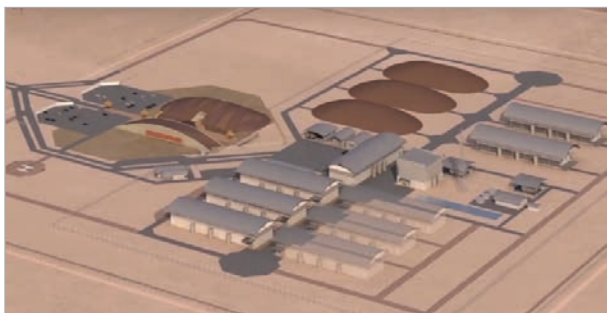


Рис. 7. Проект пункта захоронения НАО (Австралия)

площадках образуется около 45 м³ РАО в год, преимущественно низкой активности. Накопленные объемы отходов сейчас хранятся на более чем 100 площадках по всей стране, включая исследовательские установки, больницы и университеты. Спустя 28 лет с начала реализации проекта по поиску площадок для строительства двух ПЗРО — одного для НАО (рис. 7), другого для САО (ПГЗРО) — из шести площадок-кандидатов, номинированных на добровольной основе по желанию самих муниципалитетов, наиболее предпочтительной правительством страны была признана площадка вблизи города Напанди в штате Южная Австралия. В июле 2020 года было учреждено Австралийское агентство по обращению с РАО (Australian Radioactive Waste Agency, ARWA), которое займется вопросами строительства ПЗРО и транспортировки РАО [12].

В сентябре 2020 года австралийский Сенат рекомендовал Парламенту страны принять закон, согласно положениям которого пункты захоронения НАО и пункт промежуточного хранения САО будут построены вблизи города Напанди. Вместе с тем также рассматриваются перспективы строительства пункта захоронения САО на другой площадке. Сам законопроект был вынесен на общественное обсуждение еще в феврале 2020 года: всего было проведено 4 общественных слушания, в ходе которых комитетом Сената было получено 105 предложений и более 3600 единиц корреспонденции. С учетом результатов проведенных обсуждений комитет подготовил окончательную версию проекта закона, рекомендовав Парламенту страны одобрить его без внесения дополнительных изменений [12].

Источники:

1. DOE amends UF6 sale agreement, outlines disposal plans, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/DOE-amends-agreement-for-UF6-sale-outlines-dispos?feed=feed> (дата обращения: 08.06.2020)

2. Isotek, DOE sign legacy waste contract modification, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Isotek-DOE-sign-legacy-waste-contract-modification?feed=feed> (дата обращения: 22.06.2020)

3. Deep Isolation, NAC extend cooperation on waste canisters, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Deep-Isolation-NAC-extend-cooperation-on-waste-can?feed=feed> (дата обращения: 22.07.2020)

4. First-of-a-kind US waste treatment facility authorised for operations, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/First-of-a-kind-US-waste-treatment-facility-author?feed=feed> (дата обращения: 20.08.2020)

5. US Administration reaches settlement with South Carolina over plutonium removal, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/US-Administration-reaches-settlement-with-South-Ca?feed=feed> (дата обращения: 02.09.2020)

6. Belgian regulator supports geological disposal for high-level waste, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Belgian-regulator-supports-geological-disposal-for?feed=feed> (дата обращения: 15.06.2020)

7. OPG terminates environmental assessment process for repository, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/OPG-terminates-environmentalassessment-process-for?feed=feed> (дата обращения: 29.06.2020)

8. RWM launches new venture to lead UK repository research, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/RWM-launches-new-venture-to-lead-UK-repository-res?feed=feed> (дата обращения: 05.08.2020)

9. Arbeitsbericht NAB 20-14B Verpackungsanlage hochaktiver Abfälle: Vor- und Nachteile verschiedener Standortvarianten, Juni 2020, Nagra

10. Nagra reports on siting options for Swiss encapsulation plant, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Nagra-reports-on-siting-options-for-Swiss-encapsul?feed=feed> (дата обращения: 17.08.2020)

11. Japanese reprocessing plant delayed by another year, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Japanese-reprocessing-plant-delayed-by-another-yea?feed=feed> (дата обращения: 25.08.2020)

12. Senate inquiry recommends passing of Australian waste bill, World Nuclear News, URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Senate-inquiry-recommends-passing-of-Australian-wa?feed=feed> (дата обращения: 17.09.2020)

Обзор подготовила Н. С. Цебаковская