

Текст: Ирина Дорохова

Фото: ИБРАЭ РАН, US Department of Energy, Росатом / Алексей Башкиров

Игорь Линге, советник дирекции ИБРАЭ РАН:

«Безопасность — дело живое и интересное»



Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН) — место, где сконцентрированы научные знания о безопасности атомных станций и объектов ядерного наследия. Почему понадобился этот институт, над какими задачами трудятся его сотрудники, что обнаруживается при решении этих задач — с такими вопросами «Вестник атомпрома» обратился к советнику дирекции ИБРАЭ доктору технических наук Игорю Линге.

— Игорь Иннокентьевич, расскажите, что стало причиной появления ИБРАЭ?

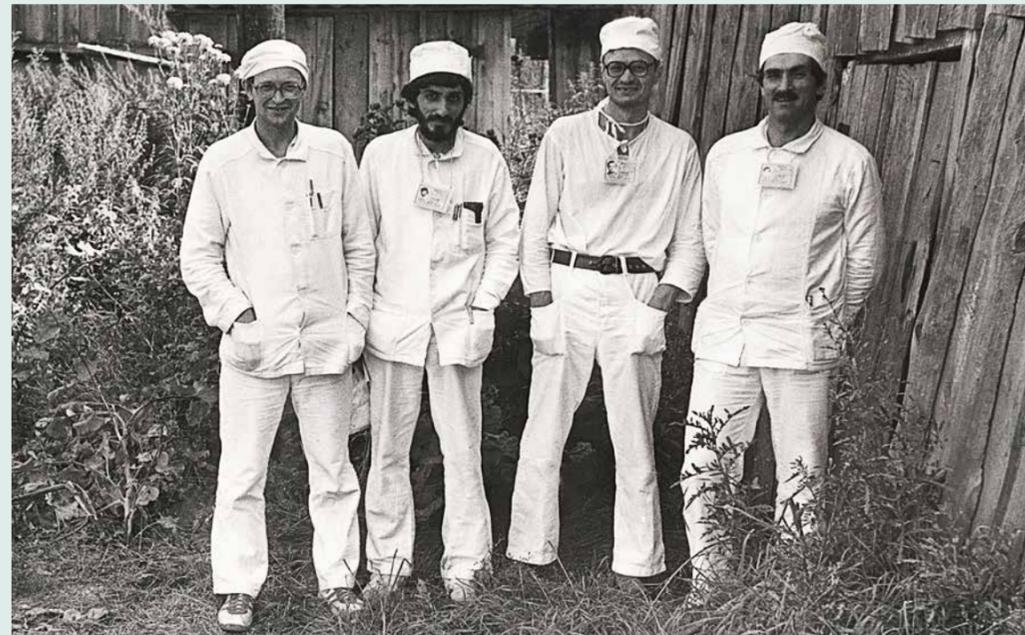
— Исторически в Минсредмаше было много проектных организаций, которые не только занимались научной деятельностью, но и думали о безопасности. Но потом на Чернобыльской АЭС произошла авария. После нее было много обсуждений, в том числе в Академии наук, где была создана комиссия по риску. Ее возглавлял президент АН СССР Гурий Иванович Марчук, а одним из инициаторов был академик Валерий Алексеевич Легасов. Ситуацию рассматривали в целом по стране, имея в виду все виды промышленности, транспорта и т. д., где тоже происходили аварии. Заговорили о том, что надо создать отдельный институт, который станет прорабатывать вопросы безопасности в различных отраслях. Но за пару лет страсти улеглись, поэтому решили ограничиться атомной энергетикой. Так в 1988 году был создан ИБРАЭ.

В то время по теме Чернобыля наиболее авторитетным специалистом был вице-президент АН СССР Евгений Павлович Велихов, его и назначили директором-организатором. В Академии так принято, когда новые институты создаются. Вся работа легла на одного из учеников Велихова, доктора физико-математических наук Леонида Александровича Большова, который в Чернобыле руководил группой, проводившей расчеты по поведению топливной массы, а потом и осуществлявшей поддержку правительственной комиссии, и его коллег, которые с ним работали и имели репутацию ученых, оперативно отвечающих на широчайший круг вопросов. Среди них надо отметить Рафаэля Варназовича Арутюняна и Валерия Федоровича Стрижова. Впоследствии Леонид Александрович возглавил ИБРАЭ и долгое время был директором института, а затем стал его научным руководителем. Это тоже академическая традиция.

Деятельность по анализу причин аварии на ЧАЭС и поддержке правительственной комиссии по вопросам радиационной обстановки — что можно делать, что нельзя — быстро разрослась до направлений, которые развиваются до сих пор. В первые годы чернобыльская тематика, конечно, занимала больше половины всей работы в разных ипостасях. Это и анализ опыта, и разработка программ по ликвидации последствий, и деловые игры, учения, и т. д.

— Поясните, пожалуйста, что такое деловые игры в данном случае.

В. Ф. Стрижов, Р. В. Арутюнян, С. Ю. Чернов, Л. А. Большов (слева направо) принимали участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС и затем составили костяк ИБРАЭ (1986 г.)



— Это традиционный прием, который применяется, чтобы проверить, работает та или иная организационная схема или нет. Первую такую игру мы провели совместно с французскими специалистами из Института ядерной защиты и безопасности (IPSN). Сейчас он называется Институт радиационной защиты и ядерной безопасности — IRSN. Раньше он входил в Комиссариат по атомной энергии, а потом его подчинение стало более сложным: его координирует и Министерство охраны окружающей среды, и парламент. По направлениям деятельности они похожи на нас. Или мы на них, потому что они покрупнее, около двух тысяч сотрудников, и побогаче. Деловая игра получилась достаточно масштабной и результативной. В ней приняли участие вице-губернатор одной из областей, руководство Госкомчернобыля России. По ее итогам было несколько семинаров, в том числе международных.

Одна из тем, которая была порождена Чернобылем, — это создание расчетных кодов для анализа тяжелых аварий на АЭС. В проектах, конечно, было расписано, какие аварии могут произойти, для них разрабатывались инструкции, методики и прочее. Но некоторые типы аварий считались маловероятными и не требующими предварительного рассмотрения. После аварии на ЧАЭС произошло крупнейшее изменение в системе безопасности: рассмотрение таких тяжелых маловероятных аварий стало обязательным. И поскольку ИБРАЭ нарабатывал опыт расчетов процессов плавления активной зоны и попадания расплава топлива в нижнее помещение (а они подтвердились, когда специалисты увидели так называемую «слоновью ногу», большую массу вытекшего расплава), зарубежные центры стали привлекать Институт для разработки программ.

Первые лет десять нашим заказчиком было МЧС, также мы выполняли небольшое госзадание по академической линии, но и все. Минатом России нас не финансировал, потому что у них было много своих ученых, которым в тот период тоже не хватало денег. А мы работали с Комиссией по ядерному регулированию США, IPSN, коллегами из Германии и т. д.

— Что вы им считали?

— Наши специалисты разрабатывали компоненты расчетных программ для анализа тяжелых аварий. Например, как ведет себя топливо после расплавления, как оно будет вести себя в корпусе реактора, как будет его проплавлять, вытекать в ловушку и т. д. Там, образно говоря, на каждом углу свои нюансы.

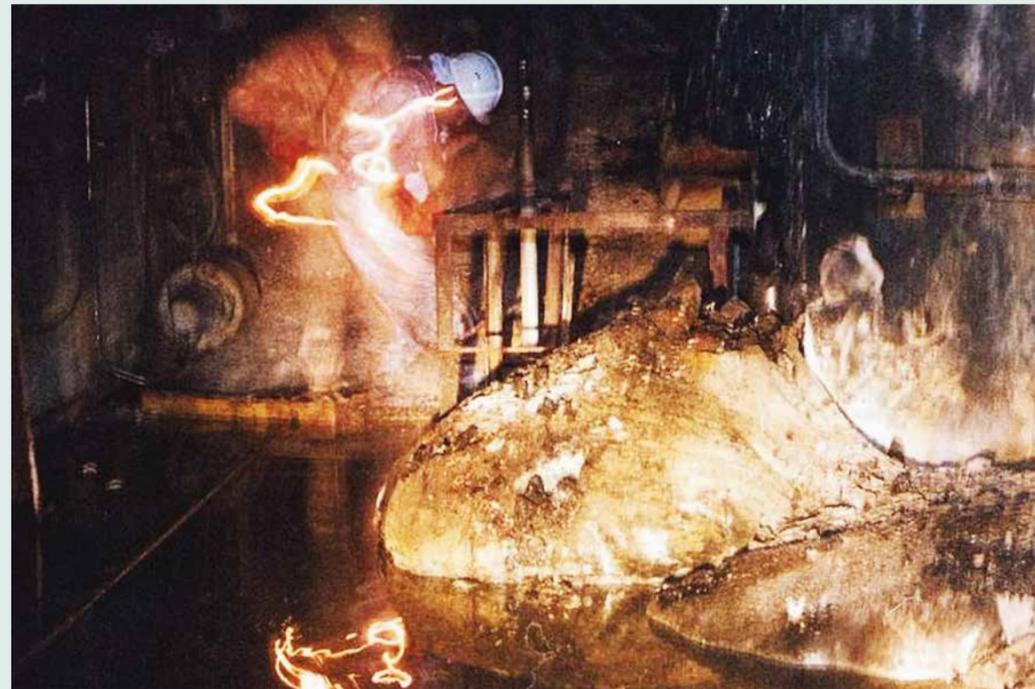
Интересно, что в нашей стране раньше пользовались американской программой Melcor. В Россию ее передали без права коммерческого использования. Но в 1998 году возникла ситуация, связанная с сооружением АЭС в Китае, когда Минатому понадобился национальный код, а его нет. Нам поручили его разработать, и команда во главе с Большовым и Стрижовым с этой задачей блестяще справилась. Затем код начали развивать в различных вариантах под новые типы установок. Этим до настоящего времени занимаются до сотни наших сотрудников из примерно 500 человек.

— А в настоящее время что считаете?

— То же самое, только увеличивается количество рассчитываемых процессов, добавляется детализация, конкретизация. На первом шаге, как говорят радиобиологи, представим корову в форме шара, потом расчетная модель детализируется для некоторых

На фото

Знаменитая фотография «слоновой ноги» — большой массы вытекшего расплава. Необычные эффекты, похожие на молнии, объясняются не огромным радиационным фоном, а длительной выдержкой (ЧАЭС, 1996 г.)



органов, а потом фиксируется на многие годы. Для энергоблоков темпы детализации по геометрии и количеству рассчитываемых процессов, мелких нюансов, которые работают в конкретных диапазонах условий, гораздо выше. Дальше процессы привязываются к типу реактора, здесь тоже много специфики. Кроме ВВЭРов, расчеты нужны для быстрых реакторов, таких как БН, БРЕСТ, и т.д. Работа по развитию расчетных кодов идет высокими темпами.

— Что происходит, когда код создан?

— Сначала код проходит аттестацию в уполномоченной организации Ростехнадзора. Это НТЦ ЯРБ. И только затем передаем его конструкторской или проектной организации, которая в рамках обоснования безопасности нового проекта рассчитывает необходимые параметры.

— Насколько просто создать код?

— Непросто, потому что, во-первых, нужны специалисты-физики, которые понимают, что именно нужно моделировать, нужны условия, чтобы они занимались этим, в том числе и соответствующая среда для дискуссий, вычислительная техника, зарплаты и многое другое. И у нас это есть, направление состоялось и развивается.

— Чернобыльская тематика постепенно сокращается?

— Да. Но мы до сих пор организуем подготовку национальных докладов по Чернобылю. В 1996 году

мы докладывали в МАГАТЭ, спустя 10 лет в Киеве на конференции, 25-летие было смазано аварией, произошедшей на АЭС «Фукусима», хотя доклад мы тоже сделали. Последний был в 2021 году. Доклад — объемный труд страниц на сто, в нем обзоры по основным направлениям: что изменилось, как улучшилась радиационная обстановка, как обстоят дела с наблюдениями за здоровьем населения. Доклад готовили несколько институтов — биофизики, сельскохозяйственной радиологии и другие.

— Что удалось выяснить?

— Радиологические последствия очень небольшие. В Брянской области четко зафиксировано увеличение доз облучения щитовидной железы, особенно у детей, но длилось это только первые месяцы. Как следствие, выявлено довольно много случаев рака щитовидной железы. Но это же еще и вопрос скрининга: до аварии никто щитовидку с помощью УЗИ не проверял. По ликвидаторам есть информация, что число лейкозов выросло, но по факту речь идет о буквально полусотне случаев среди всех участников работ в зоне ЧАЭС. Вокруг них идут дискуссии, возникли ли эти лейкозы сами собой с течением времени или все же были спровоцированы радиацией. Куда более тяжелыми оказались социальные последствия. Сотням тысяч жителей буквально жизнь покaleчили, особенно в первый год после аварии: молоко пить нельзя, его надо как-то перерабатывать, десятки тысяч людей переселили.

— Какие новые направления работ появились в институте?

— Например, проблема утилизация атомных подводных лодок в Арктике. В начале века она просто «кричала»: на береговых базах ВМФ отработавшее топливо хранилось ненадлежащим образом, выведенные из эксплуатации атомные подводные лодки не утилизировались и т.д. Но потом были приняты решения по федеральным целевым программам, началось глобальное сотрудничество. В его начале требовалась разработка ясного для зарубежных партнеров плана. Возглавил эту работу академик РАН Ашот Аракелович Саркисов. Был разработан Стратегический мастер-план комплексной утилизации, который прошел все международные экспертизы. В результате зарубежное финансирование работ было открыто, а это многие миллиарды долларов. Сегодня ситуация радикально улучшилась. Лодки почти все утилизировали, построили громадный центр в Сайда-Губе, где специальным образом хранятся все отходы от комплексной утилизации.

— Чем вы сами занимаетесь?

— Ядерным наследием в промышленности и науке, например закрытыми производствами и обращением с РАО. Финальный этап жизни объекта поначалу считался несложным, у американцев еще в 1950-х годах в одном из первых тематических докладов говорилось, что для захоронения РАО достаточно нескольких толковых геологов и инженеров. Но проблем, как выяснилось, хватает и при захоронении РАО, и при выводе из эксплуатации объектов. И результаты работ очень сильно зависят от уровня научно-технической проработки. Приведу пример: предположим, имеется объект, в котором размещено десять кубометров радиоактивных отходов. Если работать небрежно, их станет сто или тысяча. Таких примеров много. А можно и наоборот — минимизировать.

— Каким образом?

— Здесь своя большая «кухня», которую мы потихонечку освоили. Это и создание трехмерных цифровых моделей объектов, и цифровое комплексное инженерно-радиационное обследование (КИРО), и новые методы анализа пространственно-распределенных данных. Благодаря им удается получить представление о погрешностях, определить, где ключевые точки, где надо еще промерить для надежности. И, самое главное, точно определиться с конечным состоянием объекта. Мы разрабатываем общие подходы к реализации проектов вывода из эксплуатации и определения конечного состояния, методики для вывода из эксплуатации, говорим проектантам и эксплуатирующим организациям, как это сделать правильно.

— А как правильно?

— Прежде всего, нужно разбираться в явлениях и в процессах, сопровождающих вывод из эксплуатации. Надо сделать цифровую модель объекта, потом КИРО, разработать план, продумать и просчитать стоимость различных вариантов финального

состояния. Можно довести до «зеленой лужайки», что безумно дорого и почти никогда не нужно, а можно что-то оставить, если будут необходимые барьеры для предотвращения выхода радиоактивности, и, скажем, через сто лет все само распадется. Эта тема начала развиваться недавно, в 2006–2007 годах.

— Если говорить о геологических захоронениях, то один из наиболее частых вопросов: как вы можете обосновать, что за 10 тыс. лет в хранилище ничего не случится?

— Во-первых, надо как следует выбрать и изучить площадку. «Как следует» означает и лабораторию подземную создать, и эксперименты продумать и провести. Посмотреть геологическую историю: если в этом месте миллионы лет ничего не происходило, то есть высокая уверенность в том, что на протяжении десятков и сотен тысяч лет ничего не произойдет. В целом это громадный объем исследований специалистов различных профилей.

— Тогда почему проекты буксуют?

— Наверное, это просто страх перед ядерными технологиями и отходами. Ведь есть множество других токсичных веществ, которые не имеют периода полураспада вообще. Но с ними как-то обходимся, делаем захоронение отходов. А атома боятся. Но не везде. Например, Швеция блестяще решила вопрос принципиального согласования с местным населением. Лет 10–15 назад выбирали между двумя площадками, обе подходили, но думали, что одна из них будет лучше воспринята местными. Оказалось, что 80% жителей в обоих местах выступили за то, чтобы объект был у них. Причина этого проста: решение о размещении в Швеции принимает не регион, как у нас, а муниципалитет. Жители региона часто думают, что выгод им никаких не будет, а пятно на экологической репутации появится. А в шведском случае вблизи объекта живет полторы сотни семей, из них два десятка работают на объекте по захоронению, у остальных — родственники, и они четко понимают, какие выгоды несет проект. Правда, на объектах захоронения используются почти безлюдные технологии, много рабочих мест не создать. Плюс может все что угодно помешать. В США одни из ключевых проблем — права собственности на землю и права индейцев. К тому же конгрессмен выступил против объекта по захоронению в своем штате и так и несет гордо это знамя на протяжении двух десятков лет. Дело пока забуксовало.

— Вы участвуете в российском проекте по геологическому захоронению?

— Да, активно, нас пять лет назад определили научными руководителями работ по геологическому захоронению. Когда приступили, обнаружилось много проблем. Одна из них — законодательство в сфере недропользования регулирует правила извлечения чего-то. А захоронение в эти правила не укладывается.

— **Нельзя вести геологоразведку под объект захоронения?**

— Можно, но в нашем случае нужно по-другому. Но многое уже удалось преодолеть. Только недавно мы получили одобрение Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) на доизучение дальней зоны.

— **Какова ваша позиция по затопленным подводным лодкам в Арктике?**

— Лучше не поднимать, а если принимать какие-то меры, то по изоляции их на дне. Не все с этим согласны. Некоторые организации, например, против, там считают, что надо поднимать, и это их работа.

— **Можно ли надежно изолировать? Водичка же, говорят, дырочку найдет.**

— Здесь должен быть компромисс между рисками утечки и аварийной ситуацией, когда АПЛ вытасят на берег. Ведь что потом? В Сайда-Губу не положено везти, у них нет лицензии на работу с ядерно опасным материалом, у них лицензия только на работу с РАО.

— **Может быть, на «Маяк»?**

— Думаете, там с удовольствием возьмутся разделять и утилизировать? У них своих проблем хватает. Это достаточно опасное дело. И потом это большие объекты, которые не так просто перемещать.

— **Хорошо, если укрывать, то проводились ли расчеты, как, чем, как быстро?**

— Предварительные наработки были — есть же геотекани, которые сотни лет могут сохранять свой состав. Но решения пока нет, есть дискуссия. С нашей стороны есть понимание, что даже в самом худшем случае ничего страшного не произойдет. Радиоактивному загрязнению подвергнется совсем небольшая часть Северного Ледовитого океана, оно растворится в колоссальном объеме воды.

— **ИБРАЭ также занимается атомными станциями малой мощности (АСММ). Что в этой сфере делает институт?**

— Академик Саркисов пропагандировал АСММ, много писал на эту тему, организовал несколько конференций. Он хотел добиться от сотрудников нашего института помощи в формулировании неких идей, которые бы позволили создать АСММ, принципиально отличающуюся от большой АЭС. Поясню: Билибинская станция является АЭС малой мощности, но по факту была маленькой копией большого объекта со всеми системами. В последние годы по контрактам с конструкторскими бюро Росатома мы делаем расчеты тяжелых аварий для РИТМ-200, «Шельфа» и других. Этим занимаются отделения Настасьи Александровны Мосуновой и Аркадия Евгеньевича Киселева.

— **Какой должна быть нормативная база для атомных станций новых типов?**

— Конечно, для новых типов установок должны быть свои правила. Про АСММ детали сказать не могу, не погружен, а для термоядерных установок в 2021 году открылось специальное мероприятие в рамках федерального проекта, которое направлено на разработку нормативной базы. Для термоядерных установок на базе детального изучения предусматривается своя система федеральных норм и правил (ФНП). Принцип такой: разработчики предлагают конструкции, мы пишем программы, которые позволяют рассчитывать безопасность, а потом вместе работаем с Научно-техническим центром по ядерной и радиационной безопасности над тем, как оформить требования и правила.

— **Как можно писать правила для того, чего еще нет?**

— Это действительно иной путь. Например, перед тем как строить БРЕСТ, конструкторы и проектанты представили обоснование безопасности. Ростехнадзор его смотрел, проводил экспертизы, писал замечания, все это долго продолжалось именно потому, что некоторые вопросы в ФНП не были прописаны. Наконец, лицензию на сооружение дали. Но прежде чем реактор запустить, нужно получить лицензию на эксплуатацию. Это опять повтор всей «кухни» с обоснованиями с учетом того, как энергоблок реально построен, с ответами на вопросы, получение которых было отнесено на более поздний срок. Лицензия дается при условии, что разработчики разберутся с поставленными вопросами. Эта «кухня» не оригинальная, она принята во всем мире. И в соответствии с общепринятыми в мире подходами выдаются лицензии и у нас.

— **Изменились ли подходы к оценке безопасности, к тому, как оценивать?**

— Про изменение подходов после аварии на ЧАЭС я уже сказал. Авария на АЭС «Фукусима» дала мощные импульсы к углубленному анализу безопасности, многие требования были усилены.

— **Изменились ли как-то методики оценки безопасности?**

— Они меняются с каждым годом. Увеличивается мощность компьютеров — можно считать более сложные объекты. Если раньше расчеты делали для одномерных моделей, то сейчас есть возможность все считать в трехмерной геометрии, в динамике во времени, учитывать больше факторов. В 2022 году нам удалось существенно увеличить наш вычислительный кластер, он входит в число 25 самых крупных в России. На нем можно решать другие задачи. CFD-коды (методы вычислительной гидродинамики — Computational Fluid Dynamics. — Прим. ред.) — это детальнейший учет всех процессов, которые происходят, например, в трубе со всеми ее шероховатостями. Кроме того, сейчас требуется аттестовывать

программные средства. Созданные программы в течение года, а то и нескольких, рассматривает комиссия из пяти — десяти специалистов. Рассматривает со всех сторон, тестирует. В конце концов она выдает аттестационный паспорт, подтверждающий, что программа позволяет считать такие-то установки в таких-то режимах. Несколько лет назад в законе «Об использовании атомной энергии» появилось положение, что все, что используется для обоснования безопасности, должно быть аттестовано.

— **Если взять ваше направление вывода из эксплуатации, то что вы считаете в модели? Степень загрязнения?**

— Да, прикидываем, сколько материалов — это РАО, каких видов, классов и другие характеристики. Затем на базе расчетов даем рекомендации, какие технологии применять, чтобы объем РАО был минимальным. Считаются и дозы облучения работников, а в ряде случаев и населения. Моделирование и предварительное тестирование могут сэкономить много денег и времени. Например, в Германии для вывода из эксплуатации построили макет корпуса исследовательского реактора, который надо было разобрать. На макете отработывали устройство, которое снимало внутренний, наиболее загрязненный слой. Наши специалисты, прикидывая этот опыт на себя, посмеялись: мол, кто же им позволит нести дополнительные расходы на макет? А немецкие коллеги ответили: «Вы знаете, мы на этом макете выяснили, что у нас цепь, на которой крепится оборудование, была слабой, она оборвалась, все упало. Если бы это произошло на реальном объекте, нас бы лишили лицензии, и мы бы ничего не смогли сделать».

Поэтому есть много способов, которые позволяют вывести объект из эксплуатации наиболее аккуратно. Один из ключевых моментов — это цифровая модель и отработка на ней различных вариантов технологий с занесением всех данных в таблицы для расчета стоимости и последующей оптимизации. Это принципиально отличается от того, с чего мы начинали. Помню, 15 лет назад в техническом задании на вывод из эксплуатации одного из объектов проектант должен был предложить различные варианты. Но в проекте черным по белому было написано: «Варианты не предусмотрены». И критерий очистки почвы от радиоактивности был дан на очень низком значении, со ссылкой на документ регионального главного санитарного врача. Когда я попросил своих коллег выяснить, откуда взято это значение, то оказалось, что этот документ уже отменен. Это яркий пример того, как не просчитывалась и не минимизировалась стоимость работ. В этом случае резко увеличивается объем простых работ и для проектанта, и для исполнителя. Они в выигрыше, поскольку и для проектантов, и для исполнителей чем дороже проект, тем выгодней. Единственные, кто в проигрыше, так это бюджет и общество в целом. Такая система была изначально, сейчас она меняется, мы смотрим технические задания на разработку проекта и сами проекты, чтобы оптимизировать их.

Так что дело наше достаточно живое и интересное, поскольку в конце концов экологическое благополучие формируется на предприятиях и вокруг них. Это и многие иные обстоятельства, в том числе востребованность работ по кодам, определяют оптимизм и научного руководителя, и ведущих специалистов Института относительно будущего.



На фото

Центр в Сайда-Губе, где специальным образом хранятся все отходы от комплексной утилизации АПЛ