

## Ликвидация последствий чernobylской катастрофы: слухи и факты



Спартак Тимофеевич Беляев, академик, заместитель директора Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, директор отделения ядерной физики этого института. Специалист в области теоретической ядерной физики, квантовой теории многих тел и теории ускорителей.

— Spartak Timofeevich, как известно, сразу же после аварии в Chernobyl прибыли не только руководители высокого ранга и военные, но и ученые. Какова была роль науки в проведении работ на разрушенном блоке, какую долю ответственности она несет за решения (правильные или не вполне), принятые там после 26 апреля?

— Не согласен с самой постановкой вопроса. Во-первых, надо отделить науку от принятия решений. Истинная наука производит знания, устанавливает факты и отвечает только за их достоверность, но никогда никаких решений не принимает. И лишь в силу социального невежества нашего общества на науку и ученых вешают все огни. Но в чрезвычайной ситуации Chernobyl тяжело отделить науку от принятия решений — многие действия там одновременно преследовали и научно-технические, и политические цели.

Во-вторых, следует избегать еще одной путаницы: есть наука, а есть люди в науке. Люди в науке имеют свои интересы — научные и политические, групповые и личные — и могут по-разному использовать те данные, достоверные или не очень, которыми распо-

лагают. Поэтому нужно различать, что есть наука, а что делается людьми науки.

К примеру, сейчас очень сложное положение с научной или даже оклоненаучной информацией о Chernobyl — реальные данные тонут в море домыслов, искаженных слухов. Конечно, то, что эту информацию так долго закрывали, — беда номер один. Но надо понимать, что хотя ее и скрывали от населения, ее никогда не скрывали от людей, которым она была нужна для принятия решений, от специалистов, которые могли дать независимые оценки, предложить альтернативные варианты. С первых дней после аварии под руководством В. А. Легасова в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова ежедневно собиралась рабочая группа — своего рода мозговой центр, где проводился анализ ситуации и поиск возможных решений. И какая бы проблема перед нами ни возникала, мы всегда старались привлечь к ее решению как можно более широкий круг специалистов, рассматривали все методы, которые предлагались, приветствовали любые обращения к нам. Мы никого не отталкивали, никогда не говорили «не надо». Давали возможность поехать в Chernobyl, присмотреться на месте, попробовать. У кого-то получалось, у кого-то нет. Фактически там сейчас остались работать те, чьи предложения оказались лучше, кто выиграл это неявное соревнование.

— Но из-за того, что эти проблемы обсуждали только специалисты, остальные узнавали о ходе работ главным образом из отрывочных и не всегда объективных сообщений газет и телевидения. Не могли бы вы подробнее рассказать об этих работах?

— С самого начала возникло множество вопросов. Первый: не продолжается ли в разрушенном реакторе цепная реакция? Быстро стало очевидным, что она прекратилась — по отсутствию в спектрах воздушных радиоактивных выбросов γ-линий короткоживущих изотопов, постоянно рождающихся при цепной реакции. Надо сказать, что, несмотря на очевидность такого вывода для специалистов, этот вопрос затем неоднократно задавали вновь.

Второй вопрос: где топливо и сколько

его выброшено? Надо представлять обстановку — разрушенный блок, раскрытый реактор, все завалено обломками, остатки графита и топливных элементов на крышах. Высокие радиационные поля — даже на высоте 50—100 м в вертолете над развалом можно находиться считанные минуты. Возникали самые разные спекуляции на тему о том, сколько топлива выброшено — говорили, что половина или больше. А тут еще весьма уважаемая организация после замеров следов плутония в почве оценила выброс в 30 % (потом все объяснилось грубыми ошибками при радиохимическом анализе). Для ведения работ на площадке станции необходимо было установить нахождение хотя бы самых крупных масс топлива — концентрированных источников радиации. Измерение  $\gamma$ -поля обычными дозиметрами дает лишь усредненную картину. Напомню, что пробег  $\gamma$ -квантов в воздухе составляет сотни метров, так что поля разных источников, расположенных на меньших расстояниях, сильно перекрываются. Обнаружить такие источники можно лишь при детальной съемке поля, что в трудных условиях Чернобыля было нереально. Грубые же измерения полей часто приводили к ложным обнаружениям топливных масс. Так, в первые недели считали, что чуть ли не основная масса топлива попала в машинный (генераторный) зал. Для «топографической» съемки были быстро сконструированы и изготовлены детекторы со свинцовыми коллиматорами. Установленные на вертолетных подвесках, они дали возможность получить карту радиоактивных источников на площадке станции, крышах зданий с разрешением порядка 10 м<sup>2</sup>. Выяснилось, в частности, что топлива в машинном зале практически нет — в основном оно находится в здании реактора.

Узнать полный объем топлива в помещениях блока, измеряя  $\gamma$ -поля, невозможно из-за неопределенности, вносимой поглощением  $\gamma$ -квантов в самих топливных массах и завалах строительных конструкций. Возникла идея оценить количество топлива по выделяемому им теплу. (Все топливо реактора выделяло около 1 МВт.) Но как измерить это тепло? Пробовали разные методы. Сначала — самые простые. С вертолетов создавалась плоская дымовая завеса, а мы, наблюдая за поднимающимися вверх волнами, обнаруживали топливо по конвективным воздушным потокам. Замеряя температуру и скорость потоков, можно было грубо рассчитать количество топлива. Затем пробовали в разных местах установить дозиметры, температурные датчики и другие приборы. Пытались опускать их на тросе с вертолета, но

они разбивались или быстро выходили из строя, поскольку попадали на совершенно неизвестную поверхность, в неконтролируемые условия. А усилия на установку приборов тратились большие. Напомню только операцию «Игла» — установку металлического стержня с гирляндой датчиков в саму воронку развала, что потребовало отменного мастерства и мужества от вертолетчиков.

Явно требовалась надежная и комплексная система диагностики развала реактора. Так возник проект «Буй»: комплекс приборов помещался в особый жесткий корпус пирамидальной формы, защищающий от внешних механических воздействий. С помощью вертолетов удалось в разных местах развала установить выше десятка «буев», кабели от которых были выведены на специально обрудованный стенд. Эта система надежно проработала вплоть до сооружения Саркофага, когда ее заменила другая, более совершенная. Но изготовлению «буев» предшествовали долгие обсуждения, «мозговые штурмы». Каких только предложений не было — и использовать надувные шары с приборами, и перебросить над развалом троны, по которым двигались бы специальные тележки с аппаратурой. Для определения химического состава выбросов пытались применять лазерное зондирование. Все варианты трудно даже вспомнить.

Одним из самых важных был вопрос о выбросах радиоактивности. Активная стадия аварии и основные выбросы прекратились через 10 дней после взрыва. Однако периодически возникали подозрения, что выбросы продолжаются и идет сильный перенос радиоактивности. Расскажу лишь об одном таком «ЧП». Самолет военных химиков, поднимаясь по спирали над разрушенным блоком до высоты 1,5 км, замерял активность в воздушном столбе над реактором. Военные считали, что этот столб смещается в сторону со скоростью ветра, перемножали его объем на концентрацию активности и скорость переноса и получали огромную величину выброса. Мы же видели, что выбросы гораздо меньше. Спрашиваем: а почему на площадке АЭС активность не растет? Нам отвечают: перенос идет в верхних слоях воздуха, а внизу незамечен. Как понять, кто прав? Мы сделали простой расчет — прикинули, с какой скоростью поток радионуклидов из блока должен идти вверх, чтобы он успевал наполнить столб высотой 1,5 км за то время, пока ветер проносит его мимо развала. Эта скорость оказалась втрое больше скорости звука, что невозможно. В действительности радиоактивный столб воздуха («шлейф») не сносился, а постоянно стоял

над реактором. Правда, вдоль «шлейфа» медленный перенос активности шел.

Вывод о практическом отсутствии дальнейшего загрязнения мы проверили и по другому. Для работы в районе Чернобыля был привлечен вертолет геологов с канадской детектирующей системой «Макфар». Обычно он используется для аэрогеологической разведки. На его борту стоит ЭВМ, которая одновременно проводит геодезическую и γ-съемку, выдавая карту загрязнений. Автопилот ведет вертолет параллельными галсами, так что за рабочий день можно снять карту в квадрате 15×15 км. Мы выбрали 6 квадратов с разных сторон от ЧАЭС и поочередно проводили в них съемки, так что через 6 дней вертолет возвращался к прежнему квадрату. Повторили цикл 3 раза, а затем сравнили карты между собой. Оказалось, что они почти не изменились — небольшая миграция активности была, особенно там, где высокие градиенты, но ни о каком повторном загрязнении из-за новых выбросов и речи быть не могло.

Из-за высокой активности на площадке АЭС постоянно велась дезактивация, почву засыпали песком, покрывали бетоном, люди и машины приносили на нее новую радиоактивную «грязь», так что радиационная ситуация постоянно менялась. Как быстро обновлять карты заражения с учетом этих изменений? С первых же дней предлагали использовать люминофоры — скажем, разливать их по земле и по характеру свечения сразу же узнавать распределение активности. Но ведь это дорого, да и чтобы заказать их где-то и привезти, нужно немало времени. Потом возникла простая и красавая идея — воздух тоже в какой-то степени люминофор. Скажем, ионизированный азот излучает ультрафиолет. Мы тут же начали разрабатывать методику ультрафиолетовых съемок, изготовили и наладили довольно хорошую аппаратуру, а затем ночью с высоких точек снимали всю площадку. Таким образом, возникла новая аппаратура и методика исследований. Она нам потом помогла при разведке помещений внутри блока перед дезактивацией: на ультрафиолетовых снимках фиксировались пятна радиоактивной грязи. Этот пример — один из многих. Кстати, люминесценцию мы использовали в другом новом приборе — для быстрого поиска в пробах грунта «горячих частиц». Обычно для этой цели применяют радиографию: на тонком слое почвы закрепляют фотопленку, через сутки ее проявляют и по темным пятнам определяют места расположения горячих частиц. Остается еще найти эти частицы в слое почвы. Мы разработали более быстрый способ: про-

ба рассыпается по люминесцентному экрану, а горячие частицы обнаруживаются по светящимся точкам на нем через микроскоп. Этот экспресс-метод позволил собрать и изучить многие сотни горячих частиц.

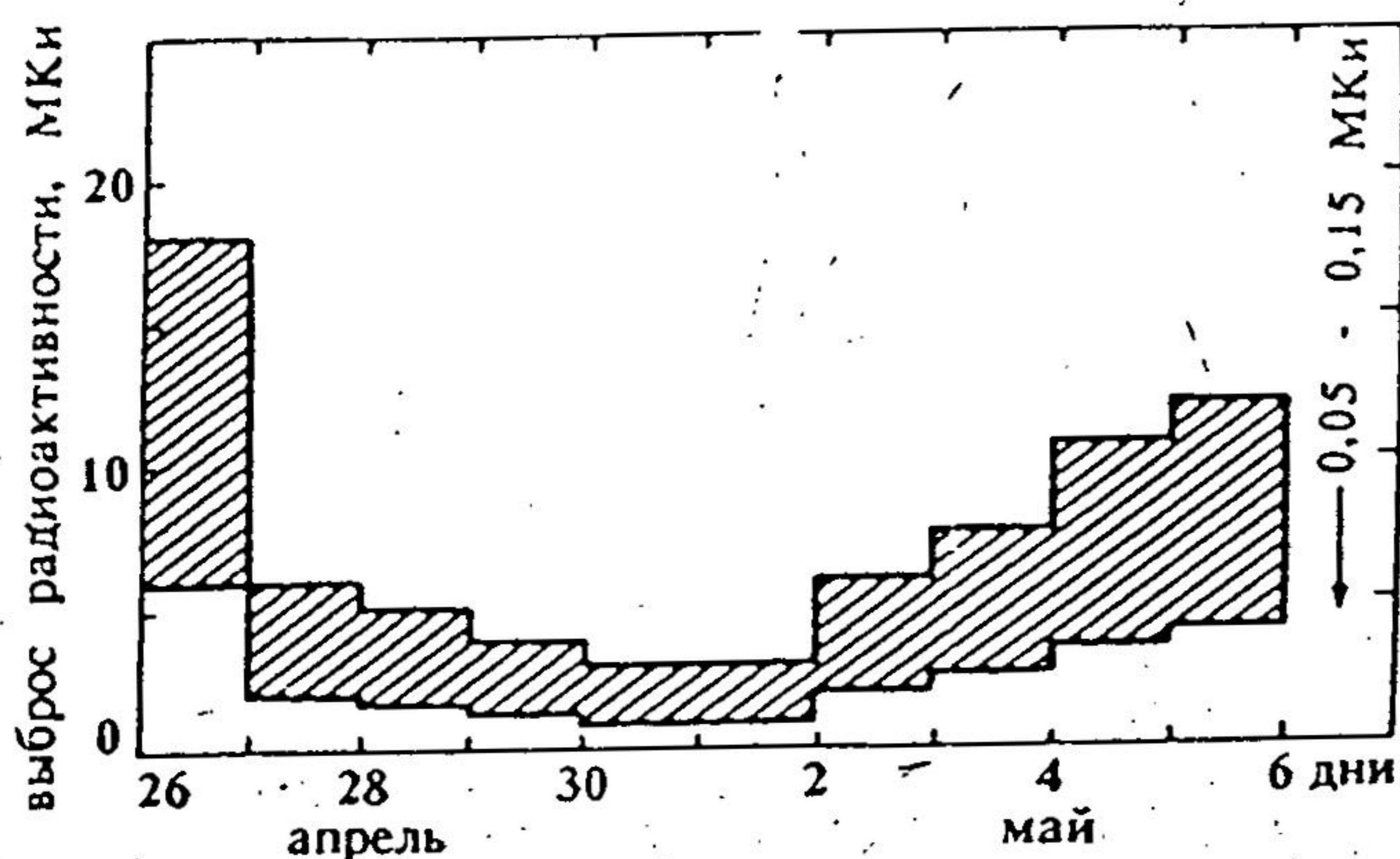
Сегодня работы в Чернобыле в 1986 г. воспринимаются как пожарные, спонтанные. Наверное, в значительной степени так и было. Только после возведения Саркофага началось систематическое изучение 4-го блока.<sup>1</sup>

— Поскольку вначале информация о работах по ЛПА была не слишком подробной, вокруг этих работ возникало множество мифов и слухов, которые ходят и до сих пор. Хотя некоторые из связанных с ними вопросов, возможно, покажутся вам некорректными или даже неграмотными, хотелось бы все же задать их вслух и получить ответ.

Прежде всего, у многих вызывает сомнение официально объявленная величина выброса — 3,5 % топлива. В докладе МАГАТЭ указано, что из реактора выброшено около третиграфита, а поскольку топливные стержни насквозь пронизывали графитовую кладку, многие усматривают противоречие между этими двумя величинами. Быть может, объяснить это противоречие можно так: сколько выброшено топлива при взрыве, сказать трудно, но после очистки крыш, площадки АЭС, самого блока под Саркофаг действительно удалось собрать 96,5 % топлива!

— Давайте прежде определим, что понимать под словом «выброшено». Если иметь в виду «выброшено из шахты реактора», в том числе в соседние помещения, в центральный зал, в подреакторное пространство, на ближайшие крыши — то оценить такой выброс действительно сложно. В конце концов, сейчас мы видим, что в самой шахте реактора почти ничего не осталось — можно считать, что в этом смысле выброшено все. Но говорит ли о чем-нибудь такое понятие «выброса»? Я считаю, что мы должны учитывать не ту активность, которая была собрана управляемыми бульдозерами, сброшена в завал с крыш, укрыта во временных хранилищах, залита бетоном при строительстве Саркофага, а только ту, которая осталась на землях Украины, Белоруссии, России и создает радиационный фон. Она измерена надежно, известно даже, сколько ее выпало в Европе, США, Японии, сколько рассеялось над просторами океанов. Что касается выброшенного графита, то у меня вызывает сомнение точность оценки. Я бы не строил

<sup>1</sup> Подробнее см. в номере: Боровой А. А. Внутри и вне Саркофага.



Выброс радионуклидов из 4-го блока на активной стадии аварии. Заштрихованная часть гистограммы соответствует погрешности измерений.

рассуждения на одной непроверяемой цифре, принимая ее за аксиому. Графит горел много дней, и, думаю, никто не знает, сколько его было выброшено на окрестности, а сколько сгорело или лежит в центральном зале, куда мы долго не могли проникнуть.

И второе соображение. Надо различать выброс топлива и выброс радиоактивности, это не одно и то же. Мы знаем, сколько и каких радиоактивных изотопов образовалось в каждом грамме топлива: Во время взрыва часть диспергированного топлива вместе с содержащейся в нем радиоактивностью была выброшена в атмосферу. Это «топливная» компонента выбросов. Ее характерная особенность — фиксированный набор радиоактивных изотопов, связанных в урановой матрице. Типичные «топливные» нуклиды — плутоний, церий и в значительной мере стронций. Однако во время аварии топливо нагревалось до высоких температур, и при этом летучие элементы (в частности, иод и цезий) выходили из топливной матрицы в виде летучих радиоактивных выбросов. «Топливная» компонента в основном, выпала в 30-километровой зоне, а летучие выбросы распространялись на большие расстояния, образуя там, где были сильные осадки, интенсивные пятна загрязнений. Когда мы говорим о выбросе 3,5 %, то это относится к нуклидам топливной компоненты. Что касается летучих нуклидов, то их выбросы следуют определять индивидуально.

Самым главным было определить выбросы наиболее опасных для человека нуклидов — иода, цезия, стронция и плутония. В первое время особенно важен был плутоний: по нему нормы особенно жесткие. А измерять его непросто, так как он излучает не  $\gamma$ -кванты, а только  $\alpha$ -частицы. Требуются предварительно сложные радиохимические

реакции для его выделения, а лишь; после этого — измерения на  $\alpha$ -спектрометре. Это неделя хорошей работы для квалифицированной группы радиохимиков и спектроскопистов. Ясно, что на основании таких анализов оперативно снять карту загрязнений плутонием невозможно — во всей стране не хватит специалистов.

Чтобы стало ясно, насколько это тонкая работа, приведу пример. Как-то нам присылают результаты анализов из одного очень хорошего института. Там вдруг нашли огромные количества плутония в почве. Но что удивительно: из блока примерно в равной пропорции выброшены три изотопа —  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{240}\text{Pu}$ , а в анализе присутствует только  $^{239}\text{Pu}$ . Оказывается, при анализе пользовались посудой, в которой когда-то работали с этим изотопом, а концентрация плутония в пробах настолько мала, что этого оказалось достаточно, чтобы исказить результат. Случались и другие ошибки. Нам даже пришлось создать специальную бригаду, которая проверяла сомнительные результаты. И соотношение в анализе разных изотопов было надежным критерием достоверности. Скажем, в выбросе присутствовали два изотопа цезия —  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , церия —  $^{141}\text{Ce}$  и  $^{144}\text{Ce}$ , рутения —  $^{103}\text{Ru}$  и  $^{106}\text{Ru}$ . Отношение изотопов цезия служило своеобразными «отпечатками пальцев» чернобыльской аварии — оно сильно зависит от выгорания топлива, и анализ этого соотношения помогал выделять чернобыльские осадки на фоне глобальных выпадений от испытаний атомного оружия. Как-то раз нам сообщили из Литвы, что на Куршской косе обнаружили повышенное содержание цезия. Мы организовали экспедицию, проверили. Действительно, цезия там было несколько больше, чем вокруг (хотя и в пределах фона), но, судя по соотношению изотопов, никак не «чернобыльского». Еще более надежным критерием могло служить отношение изотопов рутения — там две очень близкие спектральные линии на большом сплошном фоне, и чтобы их разделить, нужна очень высокая квалификация и хорошая аппаратура. Если это удалось, значит, анализ проведен достаточно тщательно.

Однако карта заражения плутонием была сделана очень быстро. Помогло то, что тугоплавкий плутоний (температура кипения около  $4000^{\circ}\text{C}$ ) надежно связан с урановой матрицей, как и церий, который химически близок к плутонию, но испускает  $\gamma$ -кванты. И все наши анализы показывали строгую корреляцию между содержанием церия и плутония — оба элемента присутствовали в одних и тех же топливных частицах. По-

этому нам удалось, измеряя  $\gamma$ -излучение церия, построить карту распределения плутония. Конечно, коэффициент корреляции мы постоянно проверяли, делаем это и до сих пор.

— То, что из реактора было выброшено значительное количество активности, во многом связано с длительным горением графита. Но и сам этот пожар вызывает вопросы. Многие недоумевают, почему загорелся графит — ведь температура его воспламенения значительно выше тех 2000 °С, до которых, по официальным сведениям, нагрелась активная зона. Некоторые говорят, что роль катализатора сыграл цирконий и что в графитовом реакторе не стоило использовать циркониевые трубы.

— Я немного интересовался этим, хотя и не химик по образованию. В действительности у графита даже нет определенной температуры воспламенения — все зависит от среды, в которой он находится. Одно-значно сказать, почему он загорелся, трудно. Я не исключаю, что в некоторых точках активной зоны были очень высокие температуры и возникли условия, при которых графит мог загореться. Быть может, как-то повлиял и цирконий. Полной картины процессов после взрыва у нас пока нет. Честно говоря, это направление анализа чернобыльской аварии несколько отстает от других. Хотя много экспериментов с графитом уже проведено и множество идей обсуждалось, восстановить происшедшее в деталях еще не удалось.

— Приходилось слышать самые разные мнения по поводу решения сбрасывать в развал реактора мешки с песком, доломитом, глиной и другими материалами. Одни считают, что это уменьшило выброс активности из блока, другие — что засыпка стала преградой на пути конвективных потоков воздуха через активную зону, поэтому остатки топлива снова начали разогреваться, и этим объясняется некоторое увеличение радиоактивных выбросов на 6-й день после аварии. С другой стороны, говорят, что основная часть сброшенных материалов вообще не попала в шахту реактора.

— Они и не могли туда попасть полностью — шахта имеет диаметр около 15 м, а сбрасывали мешки с большой высоты. Сейчас мы видим, что шахта почти пуста, и трудно сказать, что произошло с материалами, которые туда попали. На блок было три сильных воздействия — сначала взрыв, потом засыпка с вертолетов и, наконец, заливка бетоном при строительстве Саркофага, которую вели дистанционно и потому почти не

могли контролировать. Сейчас очень сложно разделить результаты этих воздействий — скажем, в расплавах, содержащих окись урана и кремний. Неясна пока и причина увеличения выброса после 2 мая. Наверное, зная состояние блока в деталях, можно рассчитать такую последовательность и технологию засыпки, которая минимизировала бы выброс, но тогда мы не обладали такими знаниями, да и сегодня узнали не все. Скажем, часто спрашивают, нужно ли было сбрасывать в развал свинец, не загрязнило ли его кипение площадку дополнительно. Но мы внутри блока пока не обнаружили свинца и не знаем, куда он попал или куда ушел, распавившись. Когда перестраивался машинный зал, оттуда вынимали мешки, сброшенные с вертолетов сквозь крышу, но среди них не оказалось ни одного со свинцом. В подреакторных помещениях свинца тоже нет. Может быть, он лежит в центральном зале, завалы в котором еще не исследованы до конца? Нет свинца и вне блока. В конце 1986 — начале 1987 г. на Украине были тревоги, говорили, что кое-где в почве слишком много свинца. Мы специально брали пробы, проверяли. Свинец был, но в обычных природных количествах, не больше. С тех пор сведений о загрязнении свинцом к нам не поступало.

— Сейчас, когда и неспециалистам стало ясно, что Саркофаг — не окончательное решение проблемы захоронения 4-го блока (раньше об этом как-то не задумывались или не говорили вслух), у многих возникли сомнения в достоинствах выбранного проекта или даже вообще в необходимости такого строительства. Кое-кто утверждает, что лучше было с помощью мощной землеройной техники просто засыпать блок землей, превратив его в гигантский холм.

— Я в отборе проектов не участвовал и не знаю, как он шел, но мне кажется, было сделано все, чтобы выбрать оптимальный в условиях лета 1986 г. вариант. То, что множество активных обломков, лежавших в завалах с южной стороны, нужно было замуровать в каскадной стене, представляется очевидным. Некоторые другие решения тоже однозначно вытекали из ситуации — скажем, крыша из трубного наката. Вначале хотели сделать свинцовую или бетонную, но расчеты показали, что стены блока не выдержат их веса.

Что же касается идеи засыпать блок грунтом, то мы сразу ее отмели. Это привело бы к полной теплоизоляции топлива, его нагреву и плавлению, так что оно могло либо собраться в массу больше критической,

и тогда новый выброс, либо проникнуть в грунт и заразить грунтовые воды. Сейчас топливо выделяет гораздо меньше тепла, чем тогда, и сегодня уже можно обсуждать эту идею вновь. Но я не уверен, что такая засыпка необходима. Это радикальное решение, которое можно принимать только в том случае, если будет остановлен и 3-й блок. Хотя утверждается, что фундаменты 3-го и 4-го блоков не связаны, они находятся рядом, на одном грунте. Была замечена небольшая подвижка турбины 3-го блока после сооружения Саркофага. Что же будет с этим блоком, если мы засыпем Саркофаг огромной массой грунта?

**— Как вы, Спартак Тимофеевич, оцениваете научную сторону работ по ликвидации последствий аварии?**

— Наука всегда стимулируется проблемами, которые ставит перед ней жизнь, но участники этих работ испытывают удовлетворение не от научных достижений, а прежде всего от того, что они хоть в какой-то мере помогли уменьшить масштабы бедствия. Правда, теперь мы понимаем, что там родились многие новые идеи, были разработаны новые методики и приборы, ценные и с научной точки зрения. К примеру, в застывших подтеках расплавленной смеси топлива с песком или бетоном кристаллографы Радиевого института обнаружили совершенно новый тип кристаллов, новое соединение, которого до этого нигде в мире не

встречали. Для рождения таких кристаллов, обладающих очень правильной формой, требуется крайне долгое и равномерное остывание. С другой стороны, это открытие дает нам новые сведения о ходе аварии — мы можем оценить характерные времена некоторых процессов.

Отделение общей и ядерной физики Института атомной энергии к реакторам практически никакого отношения не имеет и до 1986 г. конкретными проблемами атомной энергетики не занималось. Наша область — фундаментальная ядерная физика, физика твердого тела, сверхпроводимость. Почему же мы работали в Чернобыле? Там, как говорят, возникла нештатная ситуация, мы столкнулись с неизвестными явлениями и процессами, к которым нужно было подойти непредвзято, без всяких стереотипов. И оказалось, что фундаментальная наука, навыки исследователя, а не инженера, там были даже нужнее, чем специальный опыт и конкретные знания. Но мы работали с самыми разными организациями, привлекали любых специалистов, и «ведомственных», и «независимых». Всегда ценился сам человек. И, возвращаясь к началу нашей беседы, хочу еще раз подчеркнуть: и хвалить за успехи, и осуждать за неудачи нужно не науку вообще, а людей в науке, с именами которых эти успехи или неудачи связаны. А оценку нашим действиям пусть ставит будущее.

© Материал подготовил Г. М. Львовский