

давления в отделке и производстве мебели для круизных судов и яхт бизнес-класса.

УДК 621.039.72

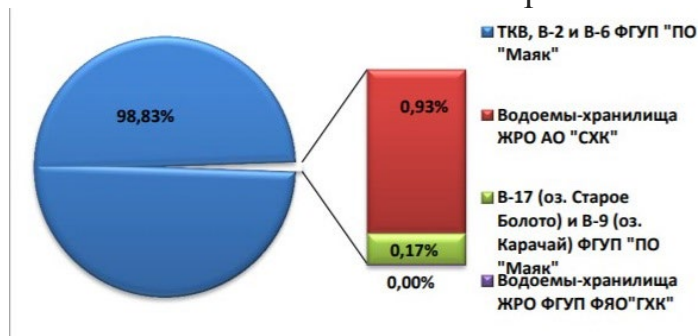
## УТИЛИЗАЦИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Т.С. Бартош

*Научный руководитель – И.Ч. Казьмирук, к.т.н., доцент*

Изначально энергия атома использовалась в военных целях. Комбинаты по производству оружейного плутония для ядерного оружия производят сотни тысяч кубометров жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в год. Возникает проблема утилизации таких отходов. В СССР и США в начале атомной гонки их сливали в открытые водоемы, считая, что самоочищающейся способности природной среды будет достаточно для очистки воды от радионуклидов. Но это привело к загрязнению рек и образованию целых радиоактивных озер. Когда в СССР стали наращивать мощности и строить новые атомные электростанции и использовать энергию атома в мирных целях, пришлось искать иные подходы к утилизации отходов.

В настоящее время более 90% объема ЖРО сосредоточены в открытых водоемах на территории комбината «Маяк» (г. Озерск, Челябинская область), в Теченском каскаде водоемов и ряде озер, например, в озерах Карачай и Старое болото (рисунок 1). Создание и эксплуатация подобных водоемов обернулось огромным количеством экологических проблем.



**Рисунок 1. Распределение объемов накопленных ЖРО, отнесенных к особым РАО**

После инцидента 1967 года Правительством СССР было принято решение о ликвидации водоема Карачай. К середине 1980-х годов была окончательно отработана технология засыпки водоема скальным грунтом с применением специальных конструкций – полых бетонных блоков, позволяющих локализовать донные отложения и наиболее активные илы без их выпячивания на поверхность (рисунки 2, 3).

В период 1988-1990 проходил первый этап закрытия Карачая – проведена отсыпка северо-западной части озера и сооружены разделительные дамбы, снижающие вероятность образования волн и ветрового уноса

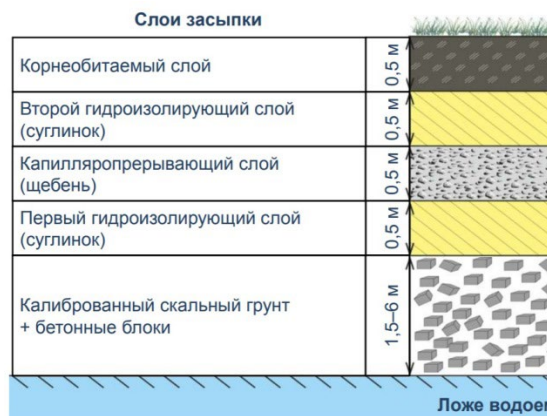
аэрозолей. В 1990-2000 проведена засыпка 80% акватории, значительно снизившая дозовые нагрузки вблизи озера. В 2008-2015 годах была проведен финальный этап ликвидации зеркала озера. А 26 ноября 2015 года водоем Карачай окончательно был засыпан [1].



Технология закрытия акватории



**Рисунок 2. Ликвидация озера Карачай**



**Рисунок 3. Слои засыпки озера Карачай**

Печальный опыт ПО «Маяк» с его авариями и выбросами из поверхностных хранилищ (загрязнение реки Течи, взрыв ёмкости с ЖРО в 1957-м, ветровой разнос с пересохших берегов озера Карачай в 1967-м) требовал поиска иных подходов к утилизации РАО. Изменить технологию производства плутония в то время было невозможно, а способов переработки таких объемом ЖРО не было. Одним из вариантов решения была закачка ЖРО под землю (рисунок 4).



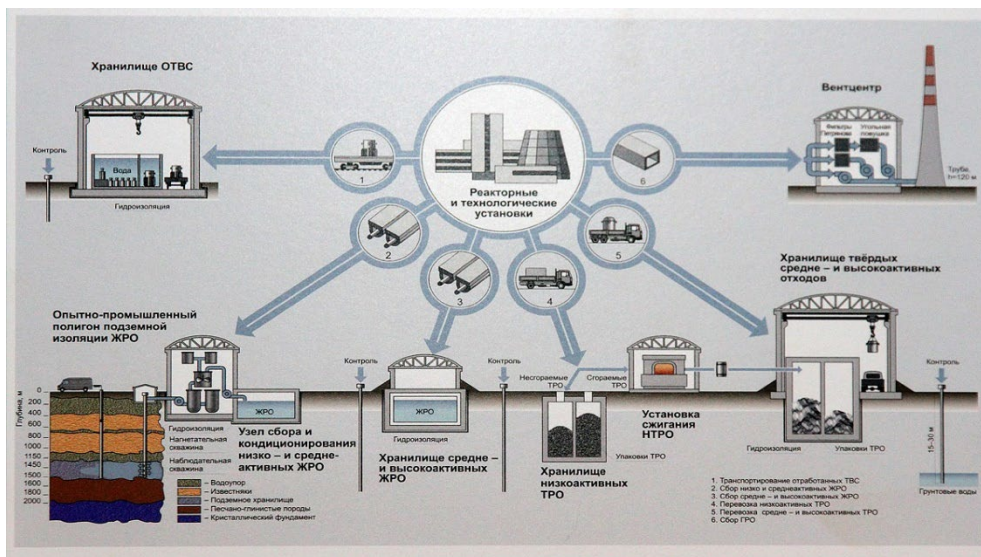
**Рисунок 4. Макет пункта захоронения ЖРО**

Но не в любом месте можно осуществить закачку ЖРО, нужны особые породы и условия. В первую очередь, нужно найти пористые слои, способные вместить большой объем жидких отходов и, по возможности, связать их, обеспечив низкую скорость миграции радионуклидов. Во-вторых, они должны быть надежно гидроизолированы от других водных горизонтов для исключения попадания радионуклидов в подземные воды, используемые для водоснабжения, и выхода на поверхность.

В скважины полигона закачивали нетехнологические низкоактивные отходы. В 1975 году ввели в эксплуатацию комплекс подготовки к захоронению технологических отходов, которые до этого сливали в открытые бассейны. Отходы закачивались в коллектор под давлением около 20 атмосфер. Но за счет статического давления подземных вод вблизи нагнетательной скважины давление не повышалось более чем на 15-20% и снижалось при удалении от нее. Поэтому эксплуатация коллектора не вызывала деформаций геологической среды и сейсмических явлений. С 1982 года сброс отходов в открытые бассейны прекратили. Сейчас эти водоемы ликвидированы.

Описанные пункты глубинного захоронения ЖРО — первые и крупнейшие постоянного захоронения, а не временного хранения отходов, существующие в Российской Федерации. Вплоть до 2011 года, когда в России был принят №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами», в стране отсутствовало требование об обязательной подготовке РАО к дальнейшему захоронению.

Вместе с новым законом, в 2011 году была создана специальная организация – «Национальный оператор по обращению с РАО» («НО РАО») (рисунок 5), которая должна заниматься вопросами захоронения отходов. Ей и были в первую очередь переданы три существующих пункта глубинного захоронения ЖРО.



**Рисунок 5. Схема обращения с ЖРО**

В контурах современных мощных энергоблоков АЭС циркулируют сотни кубических метров высокоактивных теплоносителей. Теплоноситель — это вода высокой чистоты, поэтому с точки зрения экономики и радиационной безопасности целесообразно очищать ее от радионуклидов и сохранять в технологическом цикле.

Жесткие требования к поддержанию заданного водно-химического режима (ВХР) в контурах реакторной установки ВВЭР приводят к необходимости постоянной очистки теплоносителя в этих контурах. При очистке из него удаляются естественные примеси и продукты коррозии конструкционных материалов, как раз и обладающие наведенной

активностью. Таким образом, системы спецводоочистки, очищающие теплоноситель от примесей, фактически производят и его дезактивацию.

Радионуклиды при этом концентрируются в ионообменных смолах или других фильтрующих материалах, имеющих объем на несколько порядков меньше, чем исходные воды.

Тем самым реализуются два принципа обращения с радиоактивными жидкостями на АЭС:

а) возможно более полный возврат очищенных вод в технологический цикл и наименьший сброс очищенных вод в канализацию;

б) концентрирование радиоактивности в остатке по возможности наименьшего объема для захоронения его в минимально необходимых емкостях;

в) отдельная очистка вод или ЖРО, различающихся по радиоактивности и физико-химическим показателям.

Эти принципы используются при обращении не только с теплоносителем реакторного контура, но и с другими, химически более загрязненными водами и ЖРО. Они важны потому, что количество радиоактивных жидкостей и образующихся ЖРО на станции в несколько раз больше, чем, например, твердых отходов.

Источниками ЖРО являются: продувочная вода реакторного контура и организованные протечки этого контура, вода бассейнов выдержки и перегрузки, вода опорожнения реакторных петель; они характеризуются наибольшей химической чистотой (солесодержание менее 1 г/л), но и наибольшей радиоактивностью. Дезактивационные растворы, использованные при дезактивации контуров, оборудования или отдельных деталей; они содержат радиоактивные окислы конструкционных материалов. Солесодержание дезактивационных вод доходит до 25 г/л. Активность их зависит от материалов основных контуров и может доходить до 10<sup>9</sup>–10<sup>10</sup> Бк/л. Продувочная вода парогенераторов двухконтурных установок (ВВЭР); эта вода имеет по сравнению с реакторной большее солесодержание, но меньшую радиоактивность. Активность продувочных вод обычно не превышает 10 Бк/л.

К источниками ЖРО также относят трапные, регенерационные и промывочные воды. Трапные воды – это воды неорганизованных протечек или случайных проливов. Регенерационные воды появляются при восстановлении обменной способности фильтрующего ионообменного материала установок обработки радиоактивных вод кислотой и щелочью. Основные загрязнители – водорастворимые соли, кислоты и щелочи. Общее солесодержание составляет до 50 г/л; активность – в среднем 10<sup>6</sup> Бк.

Воды спецпрачечных и душевых. Это воды наименьшей радиоактивности. Источником примесей в них является используемая техническая или водопроводная вода. Активность вод прачечных достигает 10<sup>3</sup> Бк в период ремонта, а обычно ниже допустимых значений.

Обращение с ЖРО включает:

- Сбор ЖРО и их сортировка (с использованием спецканализации).

- Дезактивация (очистка вод реакторного контура, бассейна выдержки и др. технологических систем от радионуклидов).
- Переработка радиоактивных отходов (выпаривание, фильтрация или ионный обмен с целью удаления радионуклидов или концентрации их в меньшем объеме; осаждение или изменение состава химических веществ).
- Кондиционирование радиоактивных отходов (глубокое упаривание, цементирование, битумирование, остекловывание).

Переработка органических жидкостей. Горючие органические жидкости – масла, растворители и т.п. – собираются в поддоны, затем в отдельные емкости и сжигаются в специальных установках с очисткой образующихся газов от радио-активных и других вредных веществ.

Переработка и кондиционирование пульп и шламов. Высокорадиоактивные кубовые остатки после выпарных аппаратов и ионообменные смолы с сорбированными ими нуклидами, объемы которых очень малы в сравнении с исходными ЖРО, а также пульпы перлитов и активированного угля собираются в отдельные емкости в хранилищах жидких отходов (ХЖО). В настоящее время пульпы отверждаются так же как и другие ЖРО.

Идет работа по модернизации производств и сокращению объемов образующихся жидких отходов. Например, на Горно-химическом комбинате (ГХК) (ФГУП «ГХК», ранее – Комбинат № 815, Красноярск-26) ежегодное образование ЖРО сократилось в 10 раз за 6 лет — с более 370 тыс. м<sup>3</sup> в 2012 году, до около 40 тыс.м<sup>3</sup> в 2018. Кроме того, на ГХК в рамках строящегося завода по переработке отработанного топлива РТ-2 внедряется технология, полностью исключающая образование ЖРО. Кроме того, на многих атомных объектах внедряются технологии и инфраструктура для переработки и отверждения жидких РАО.

В настоящее время в рамках ФЦП ЯРБ-2 идет разработка плана закрытия ПГЗ ЖРО. По словам представителя НО РАО, Россия в мае 2018 года декларировала в МАГАТЭ свое желание и готовность закончить практику закачки ЖРО. С 2025 года эти планы должны начать реализовывать [2].

Таким образом, мирная атомная энергетика в будущем не будет иметь отношения к практике глубинного захоронения ЖРО, доставшейся нам в наследство от военных программ.

#### **Список использованных источников**

1. История формирования радиоактивного загрязнения на Южном Урале [Электронный ресурс] Атлас ВУРСа. – 2020.– Режим доступа [http://downloads.igce.ru/publications/Atlas/CD\\_VURS/7-12.html#page11b](http://downloads.igce.ru/publications/Atlas/CD_VURS/7-12.html#page11b). – Дата доступа: 06.03.2021.
2. Горчаков, Дм. Подземное захоронение жидких радиоактивных отходов [Электронный ресурс] / Дм. Горчаков. – 2020.– Режим доступа <https://nucl0id.livejournal.com/363125.html>. – Дата доступа: 06.03.2021.