

СПОСОБ ДООЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ

В. И. Сергеев¹, Н. Ю. Степанова², А. В. Савенко¹, А. Д. Ковтун³, Ф. Г. Шалата³

¹МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва

²ФГБУ «Научный и информационно-методический центр "Базис"»

Министерства образования и науки РФ

³ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Предлагаемый способ доочистки жидких радиоактивных отходов на различных предприятиях «Росатома» основан на использовании сорбирующих экранов высокой проницаемости и опирается на единый методический подход к установлению предельно допустимой скорости фильтрации жидких радиоактивных отходов через этот экран и к определению его конструктивных параметров (площади и мощности). Способ позволяет осуществлять очистку требуемого объема отходов до концентрации радионуклидов, не превышающей предельно допустимый уровень, на протяжении заданного времени без какой-либо дополнительной обработки и практически без участия обслуживающего персонала.

Ключевые слова: доочистка промышленных отходов, сорбирующий экран высокой проницаемости, миграционные параметры.

METHOD OF PURIFICATION OF INDUSTRIAL WASTE FROM RADIONUCLIDES USING GEOCHEMICAL BARRIERS / V. I. SERGEEV, N. Yu. STEPANOVA, A. V. SAVENKO, A. D. KOVTUN, F. G. SHALATA // The proposed method of treatment of LRW in various enterprises of Rosatom is based on the use of absorptive screens of high permeability with a foundation of a single methodological approach to setting speed limit filtering LRW through this screen and to definition of its design parameters (area and power). The method allows for purification of the desired volume of waste to the radionuclide concentration not exceeding the remote control for a predetermined period of time without any additional processing, and almost without the participation of the staff.

Key words: industrial waste purification, absorptive screen high permeability, migration parameters.

Введение

При многих производственных процессах и исследованиях, проводимых на спецпроизводствах «Росатома», образуются радиоактивные отходы различного агрегатного состояния и состава. Наибольшей проблемой является обезвреживание жидких радиоактивных отходов (ЖРО), которые характеризуются большими объемами, значительной радио- и химической активностью, а также разнообразием и непостоянством форм нахождения в отходах потенциальных загрязнителей подземных вод. Непостоянство состава и объемов жидких отходов обусловлено разноплановостью и спецификой работ различных подразделений.

Объемы ЖРО на различных предприятиях достигают многих десятков кубических метров в сутки. К сожалению, общепринятая и используемая на протяжении многих лет технология не позволяет получить степень очистки, удовлетворяющую современным нормативным требованиям.

Наша задача заключалась в разработке способа, позволяющего с меньшими экономическими затратами осуществлять очистку ЖРО до концентраций ниже предельно допустимого уровня (ПДУ). Поставленная задача решалась на примере с отходами спецпроизводства, содержащими полоний. Но это решение может использоваться и при доочистке ЖРО, содержащих другие радионуклиды.

Для оценки эффективности и целесообразности применения предлагаемого подхода рассмотрим существующую в настоящее время технологию очистки ЖРО на предприятиях «Росатома».

1. Принятая в настоящее время технологическая схема очистки ЖРО и факторы, определяющие необходимость ее модернизации

В настоящее время очистка ЖРО осуществляется с помощью реагентной и коагуляционной технологии с последующим выдерживанием и биологической обработкой осветленных вод в бассейнах-водосборниках для долговременного хранения и периодических сбросов очищенной воды с разрешения контрольно-надзорных органов в поверхностные водотоки.

Сточные воды, поступающие на химводоочистку, из усреднителя подаются в 1-ю емкость реагентной обработки, где к ним добавляются 10 %-й раствор NaOH и 3 %-й раствор $KMnO_4$. Под действием этих реагентов происходит окисление примесей органических веществ, которые могут препятствовать эффективному удалению радионуклидов на следующей стадии коагуляции-осаждения, и образование гидроксидов радиоактивных и тяжелых металлов, а также мелкого осадка гидрата окиси марганца. После этого воды поступают во 2-ю емкость, где производится их обработка коагулянтом – 4 %-м раствором $Fe_2(SO_4)_3$. Обработка щелочных вод коагулянтом приводит к образованию крупных аморфных хлопьев гидроокиси железа, которые, осаждаясь, увлекают за собой взвешенные частицы, гидрат окиси марганца и гидроксиды радиоактивных и тяжелых металлов (процесс соосаждения), что и обеспечивает очистку сточных вод. Перемешивание полученного раствора в банках-отстойниках способствует интенсивному слипанию и осаждению хлопьев. В отстойниках происходит осветление сбросных вод: осадок с загрязнениями оседает на дно, а очищенная вода проходит радиометрический контроль и либо сбрасывается в бассейн-водосборник, либо поступает на повторную очистку. Коэффициент очистки таким осадительно-коагуляционным методом (отношение содержания компонента в исходной смеси к его содержанию в пермеате) по некоторым элементам может достигать 250. Контроль эффективности очистки осуществляется радиометрическими замерами проб осветленной воды, отобранных через несколько часов отстаивания после коагуляции.

К числу *достоинств* используемого сейчас осадительно-коагуляционного метода очистки стоков спецпроизводств следует отнести его универсальность по отношению к разным радиоактивным элементам и формам существования в растворе, а также достаточно высокую эффективность. *Недостатками* являются большой расход реагентов, многоступенчатость обработки вод и высокая минерализация очищенных вод, обусловленная внесением с реагентами значительных количеств сульфат- и хлорид-ионов, а также катионов натрия. *Наиболее существенным недостатком* существующей схемы очистки в свете последних требований ликвидации отстойников жидких РАО, контактирующих с грунтовыми, а затем и поверхностными водами, является то, что очищенные воды по своей активности все еще относятся к низкоактивным ЖРО (их активность выше ПДУ). Следовательно, разработка мероприятий по модернизации существующей схемы очистки является весьма актуальной задачей.

Предлагаемый подход к решению проблемы основан на включении в систему очистки промышленных установок с геохимическими барьерами высокой проницаемости. Установки, позволяющие осуществлять этот способ доочистки, названы авторами «геофильтрационными модулями». Жидкие отходы должны фильтроваться через такие модули, доочищаться от радионуклидов и далее поступать в систему отводящих трубопроводов. Под высокой проницаемостью понимается проницаемость геохимического барьера, при которой может быть достигнута без использования нагнетательных устройств скорость фильтрации ЖРО, равная предельно допустимой скорости, не нарушающей кинетику сорбционного процесса, что составляет 1–2 м/сут. Применение предлагаемого способа доочистки ставит своей целью, прежде всего, исключить сброс в бассейны-водосборники жидкости с концентрацией радионуклидов, превышающей ПДУ.

2. Обоснование оптимальности разработанного способа доочистки ЖРО

Оптимальность разработанного способа доочистки определяется возможностью его использования при наличии в отходах предприятия радионуклидов любого состава, при любых объемах поступающих ЖРО и любом необходимом периоде эксплуатации очистной установки, при котором исключается выход за ее пределы потенциальных загрязнителей с концентрацией выше ПДУ.

В этом обосновании авторы поставили перед собой задачу представить известные факторы, которые позволяют использовать ряд запатентованных методик, дающих возможность реализовать на практике разработанный способ доочистки с учетом названных выше условий выполнения работ. При обосновании оптимальности схемы доочистки авторами рассмотрены также способы исключения тех производственных факторов, которые снижают эффективность реализации предлагаемого способа доочистки.

Специалистами многих стран в области охраны водных ресурсов от загрязнения на протяжении многих лет используется поглощающая способность целого ряда природных дисперсных разностей в отношении тяжелых металлов и радионуклидов. Эффективность поглощения потенциальных загрязнителей подземных вод определяется составом дисперсного материала, составом отходов и формой нахождения в них загрязнителей. Наличие поглощающего геохимического барьера на пути распространения загрязненных отходов способствует их очистке. В этой связи возможность доочистки ЖРО при фильтрации их через дисперсный поглощающий материал не вызывает сомнений. Проблема заключается лишь в том, каким должен быть состав поглощающего материала на пути фильтрации ЖРО при конкретном составе и концентрации радионуклидов. Сегодня накопленный за три последних десятилетия опыт подбора состава защитных экранов в районах размещения отходов промышленности позволяет без особых проблем решать задачу об определении оптимального состава материала таких геохимических барьеров.

Выполненный комплекс теоретических, экспериментальных и производственных работ показал, что оценка эффективности работы выбранных в качестве геохимических барьеров природных или искусственных материалов должна осуществляться не по данным об их поглощающей способности, полученным в статических условиях, а по результатам определения характера поглощения потенциального загрязнителя при фильтрации жидких отходов через образец экрана. Авторами предлагаемого способа доочистки ЖРО предложена, запатентована [1] и использована на промышленных объектах в России и за рубежом методика выполнения комплекса лабораторных работ и расчетов на их базе предельно допустимого времени эксплуатации природных и искусственных геохимических барьеров при заданной техногенной нагрузке, а также минимальной мощности

геохимического барьера, при которой исключается выход загрязнителя за пределы экрана в период его эксплуатации. Методика, изложенная в патенте и статьях, естественно, может использоваться и при определении параметров геохимического барьера в фильтрационном модуле.

Практика показывает, что наилучшими противофильтрационными и поглощающими материалами являются природные глинистые материалы. В зависимости от их минерального состава они могут служить надежным геохимическим барьером как для тяжелых металлов, так и для радионуклидов. Однако глинистые грунты не могут использоваться при создании геохимического барьера в геофильтрационном модуле, так как в этом случае мы сталкиваемся с фактором, который необходимо учитывать при использовании разработанной схемы доочистки ЖРО непосредственно на территории предприятия. Причина очень простая – проницаемость глинистого геохимического барьера характеризуется коэффициентом фильтрации, близким к 0,001 м/сут. Это означает, что даже при градиенте фильтрации 10 и суточном объеме отходов в 1,0 м³ для доочистки потребуется площадь геохимического барьера, равная 100 м².

Учитывая вышеизложенное, для доочистки ЖРО с помощью геофильтрационного модуля необходимо использовать геохимический барьер, имеющий в тысячи раз большую проницаемость. Таким образом, при разработке способа доочистки определяется *первая задача* – подбор геохимического барьера высокой проницаемости.

Вторая задача в какой-то степени определяется первой. Из ранее выполненных работ следует, что при использовании дисперсных материалов с коэффициентом фильтрации в несколько метров в сутки необходимо соблюдать условия фильтрации, не нарушающие кинетику сорбционного процесса.

Для пояснения этого фактора обратимся к рис. 1, где представлены «выходные кривые», характеризующие зависимость изменения относительной концентрации ($C_{отн}$) загрязнителя от объема (Q) профильтровавшейся жидкости в единицу времени.

Из представленных графиков следует, что при превышении определенного значения скорости фильтрации ЖРО через образец геохимического барьера мы нарушаем кинетику сорбционного процесса, и на выходе фильтрата из образца геохимического барьера концентрация загрязнителя составляет некоторое значение, которое уже может быть неприемлемым на производстве. Иссле-

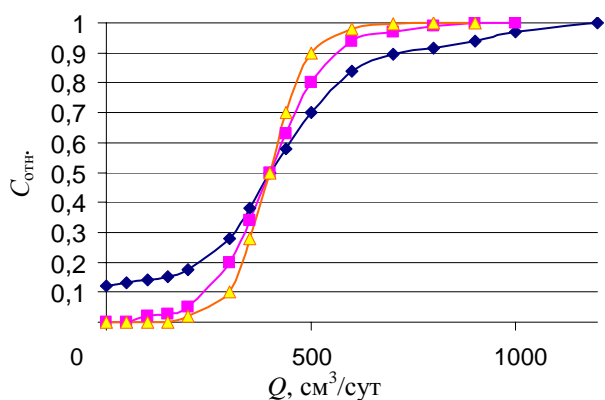


Рис. 1. Влияние скорости фильтрации ЖРО (◆ – 3,0 м/сут; ■ – 1,0 м/сут; ▲ – 0,5 м/сут) на характер «выходных кривых»

дованиями установлено, что это значение возрастает с увеличением скорости фильтрации. Такой факт определяется сложным процессом молекулярно-диффузионного взаимодействия жидкости с поглощающей поверхностью геохимического барьера в проточных и тупиковых порах сорбента.

Таким образом, вторая задача сводится к необходимости определения для подобранного по составу, структуре и проницаемости геохимического барьера предельно допустимой скорости фильтрации ЖРО, при которой не нарушается кинетика сорбционного процесса, т. е. «выходная кривая» будет иметь вид, аналогичный зависимости характера «выходных кривых» при скоростях фильтрации 0,5 м/сут и 1,0 м/сут (рис. 1).

Анализируя характер зависимости «выходных кривых» от скорости фильтрации, следует отметить, что окончательный выбор скорости должен учитывать специфику работы предприятия, требования к степени очистки отходов, наличие свободных площадей или территорий вблизи объекта, где будет выполняться доочистка отходов. Так, например, из представленных на рис. 1 материалов следует, что полная доочистка отходов при скорости их фильтрации в 1,0 м/сут будет осуществляться в отношении объема ЖРО в два раза меньшего, чем при скорости 0,5 м/сут. С другой стороны, обеспечение меньшей скорости фильтрации при заданных объемах доочистки потребует увеличения площади геохимического барьера в геофильтрационном модуле. Вместе с тем предварительная оценка зависимости характера изменения «выходных кривых» от скорости фильтрации, позволяющая иметь представление о влиянии кинетики сорбционного процесса, является исходной

базой для принятия обоснованных технических решений по доочистке отходов.

Третья задача при использовании разработанного способа доочистки промышленных отходов от радионуклидов сводится к определению конструктивных параметров (площадь, мощность) геохимического барьера в геофильтрационном модуле с учетом планируемой техногенной нагрузки. Решение этой задачи базируется на результатах специальных работ, выполненных в лабораторных или производственных условиях с использованием образцов предложенного геохимического барьера и ЖРО, прошедших предварительную очистку по технологии, используемой в настоящее время на производстве. Методика таких специальных работ, как уже ранее отмечалось, представлена в материалах патентованного изобретения [1], а технология его реализации на объектах – в ряде статей российских и зарубежных журналов [2–4, 6–8].

Суть этой части разработки способа доочистки ЖРО заключается в получении в лабораторных условиях «выходных кривых», учитывающих требования, предъявляемые к решению второй задачи; получении значений миграционных параметров для каждого из выявленных радионуклидов с концентрацией выше ПДУ в предварительно очищенных ЖРО и расчете, в конечном итоге, необходимой площади и мощности геохимического барьера в геофильтрационном модуле, обеспечивающего доочистку всего объема отходов на заданный период времени.

Четвертая задача заключается в разработке конструктивных особенностей геофильтрационного модуля, позволяющих до минимума снизить необходимость привлечения персонала предприятия к обслуживанию модуля в период его эксплуатации в технологической системе очистки ЖРО. Решение этой задачи заключается в создании конструкции геофильтрационного модуля с минимальным использованием насосов, компрессоров и другого электрического оборудования.

Наконец, пятая задача связана с необходимостью решения вопроса о месте, условиях и технологии размещения геохимического барьера, используемого для доочистки ЖРО после того, как его поглощающая способность в отношении радионуклидов будет полностью использована.

Представленная в этом разделе совокупность решений является необходимой и достаточной при разработке схемы доочистки ЖРО при любом составе радионуклидов и составе и свойствах геохимического барьера в геофильтрационном модуле.

Возможность, в конечном итоге, расчета параметров рекомендованного геохимического барьера позволит принять обоснованное решение о целесообразности его использования в системе доочистки на данном предприятии. Этот же расчет параметров позволит принять решение о целесообразности поиска и разработки более эффективного состава геохимического барьера, параметры которого будут приемлемы для размещения геофильтрационного модуля на площадях предприятия или на близлежащей территории. Возможность принятия таких решений при использовании разработанной схемы доочистки ЖРО и определяет ее *оптимальность*.

Представленные выше задачи и способы их решения при доочистке ЖРО будут более наглядными при рассмотрении их реализации на одном из предприятий «Росатома».

3. Реализация способа доочистки ЖРО от полония

В лабораториях МГУ им. М. В. Ломоносова и одного из подразделений «Росатома» было проведено научное и экспериментальное обоснование возможности создания геофильтрационного модуля на базе модифицированных природных материалов, эффективно поглощающих полоний. Также была разработана и создана опытно-промышленная очистная установка на основе такого модуля.

Возможность и эффективность использования геохимических барьеров высокой проницаемости в технологической схеме очистки сточных вод на действующем предприятии определялась следующими критериями:

- достаточно высокой проницаемостью материала барьера для обеспечения прохождения заданного или всего суточного объема сточных вод спецпроизводства;
- такой поглощающей способностью материала геофильтрационного модуля при заданной его мощности и площади, которая обеспечивает на выходе из барьера очистку жидких отходов от полония до значений, меньших ПДУ (10 уровней вмешательства), на запланированный период времени.

В результате проведенных исследований был разработан сорбент высокой проницаемости, обеспечивающий полное использование поглощающей способности материала экрана в отношении полония (песчано-гелевый материал с добав-

кой FeS). Также была создана опытно-промышленная установка на основе геофильтрационного модуля с сорбирующим высокопроницаемым экраном (геохимическим барьером) с целью отработки возможности включения модуля в технологическую схему доочистки сточных вод спецпроизводства от полония (рис. 2).



Рис. 2. Опытно-промышленная установка

Подбор оптимального состава геохимического барьера для полония в геофильтрационном модуле

Накопленный опыт определения состава сорбирующих экранов, их структуры и дисперсности позволил подобрать оптимальный вариант геохимического барьера для доочистки ЖРО от полония при их фильтрации через разработанный геофильтрационный модуль.

В качестве исходного материала с высокой проницаемостью для создания геохимического барьера в конечном итоге был использован местный мелкозернистый песок с коэффициентом фильтрации 32 м/сут. Принимая во внимание незначительную поглощающую способность этого материала в отношении полония, на поверхность песчаных частиц была нанесена искусственная аутогенная пленка, обладающая высокой сорбционной способностью в отношении полония.

Формирование сорбирующей пленки на поверхности песка достигалось весьма простым технологическим способом. Авторы использовали разработанный в МГУ им. М. В. Ломоносова ща-

велево-алюмосиликатный (ЩАС) раствор, гель которого обладает высокой поглощающей способностью в отношении целого ряда тяжелых металлов и радионуклидов. Кратковременная загрузка песчаной массы в золь ЩАС раствора с последующим ее изъятием и просушкой на воздухе позволяет иметь на поверхности песка искусственную аутогенную пленку, обладающую высокой поглощающей способностью в отношении полония. После перемешивания песчаная масса практически имела проницаемость, близкую к исходной. В качестве активирующей реакционной добавки был использован сульфид железа, низкая растворимость и восстановительно-осадительные свойства которого определяют эффективность его добавки в сорбент.

Факторы, определяющие высокую проницаемость разработанного сорбента:

- коэффициент фильтрации исходного песчаного материала 32 м/сут;
- нанесенная на поверхность песчаного материала сорбирующая пленка, не меняющая исходную проницаемость песка;
- добавление к песчано-гелевому материалу сорбента дисперсной фракции FeS, которая также не снижает проницаемость экрана.

Определение предельно допустимой скорости фильтрации, при которой не нарушается кинетика сорбционного процесса

В результате выполнения комплекса исследований была определена предельно допустимая скорость фильтрации, при которой на определенном этапе мы имели полное поглощение полония, что в конечном итоге определило условия фильтрации ЖРО, при которых не нарушалась кинетика сорбционного процесса. Было установлено, что эта скорость равна 1,2 м/сут. Характер изменения концентрации полония при выходе фильтрата за пределы геохимического барьера представлен на рис. 3. Исходная концентрации полония перед доочисткой при получении «выходной кривой» составляла 4,63 Бк/л.

Определение конструктивных параметров (площадь, мощность) геохимического барьера в геофильтрационном модуле

Решение третьей задачи, как следует из вышеизложенного, базируется на зависимости изменения относительной концентрации полония от

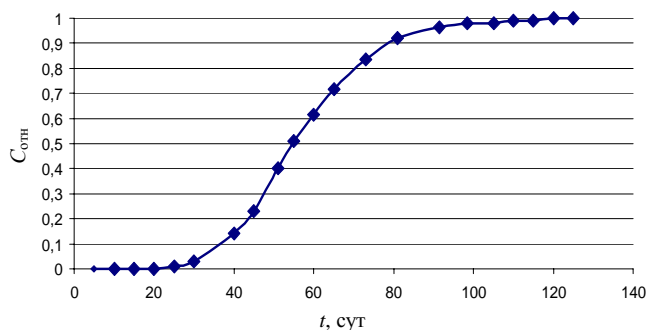


Рис. 3. «Выходная кривая» при фильтрации ЖРО через образец предложенного геохимического барьера со скоростью 1,2 м/сут

объема профильтровавшихся ЖРО (рис. 3). Эта зависимость позволила при использовании графоаналитического способа обработки полученных данных [5] получить значения миграционных параметров n и D .

В результате расчета для опыта были получены значения миграционных параметров полония:

$$n = 1703,02; \quad D = 2,546 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{сут.}$$

Достоверность расчета миграционных параметров полония

Обоснованность и достоверность используемых прогнозных решений массопереноса полония в пределах сорбирующего экрана определяется следующим:

- оценка миграционных параметров полония в лабораторных условиях выполнялась на образцах сорбента, используемого в фильтрационном модуле;
- при получении миграционных параметров полония в разработанном сорбенте использовались не модельные растворы, а производственные отходы.

Полученные значения миграционных параметров полония в пределах разработанного геохимического барьера, определение предельно допустимой скорости фильтрации отходов, а также требования к объему доочистки ЖРО, позволили перейти к расчету параметров геохимического барьера в геофильтрационном модуле.

Объем ЖРО для ежесуточной опытно-производственной доочистки от полония составлял 680 л при его исходной концентрации 4,6 Бк/л. Предельная радиоактивность очищенных отходов не должна была превышать 1,2 Бк/л при времени работы геофильтрационного модуля не менее 0,5 го-

да. Диаметр фильтрационной установки не должен превышать 1,0 м. Эти исходные данные и значения миграционных параметров полония послужили исходной базой для расчета необходимой мощности геохимического барьера.

С учетом приемлемого на производстве диаметра установки максимальная площадь геохимического барьера не должна была превышать $0,8 \text{ м}^2$. При максимально допустимой скорости фильтрации в $1,2 \text{ м/сут}$ такая площадь барьера совершенно свободно обеспечивала пропуск $0,68 \text{ м}^3$ ЖРО, исходя из хорошо известной зависимости расхода Q ($\text{м}^3/\text{сут}$), скорости фильтрации V (м/сут), площади фильтрации S (м^2) и времени T (сут),

$$Q = V S T.$$

Из этого выражения следует, что разработанный геохимический барьер в отношении полония ежесуточно может обеспечивать фильтрацию ЖРО в объеме $0,94 \text{ м}^3$, что в 1,38 раза больше требуемого объема ЖРО, предназначенных для опытно-промышленного варианта доочистки. Таким образом, реализация решения вопроса о пропуске через модуль 680 л в сутки сомнений не вызвала.

Следующим вопросом в определении параметров геохимического барьера в геофильтрационном модуле было определение и обоснование необходимой мощности геохимического барьера, позволяющей на протяжении периода ($T_{\text{пр}}$) в 0,5 года иметь после доочистки ЖРО концентрацию полония на выходе, не превышающую $1,2 \text{ Бк/л}$.

Экспериментальные исследования с использованием разработанного авторами геохимического барьера и ЖРО с радиоактивностью полония $4,63 \text{ Бк/л}$ показали, что при мощности (толщине)

поглощающего экрана в $0,1 \text{ м}$ поглощающая способность экрана исключает возможность повышения радиоактивности фильтрата при скорости его распространения в $1,2 \text{ м/сут}$ на протяжении 633 сут.

Решение этой задачи позволило перейти к разработке оптимальной конструкции геофильтрационного модуля и технологии его эксплуатации.

На рис. 2 показан общий вид геофильтрационного модуля, обеспечивающего доочистку ЖРО от полония на одном из предприятий «Росатома». Круглая емкость с подводщими и отводящими шлангами является той частью модуля, где размещается геохимический барьер мощностью $0,1 \text{ м}$, через который фильтруется предварительно очищенные до уровня $4,6 \text{ Бк/л}$ ЖРО. Фильтрация ЖРО через сорбент осуществляется снизу вверх.

На рис. 4 представлена схема конструкции геофильтрационного модуля в рабочем варианте.

Для обеспечения постоянства скорости фильтрации во времени было разработано устройство, позволяющее вводить в подающий (накопительный) бак ЖРО с определенным расходом. Это устройство представляет собой заглушку в подводщем трубопроводе с отверстием определенного диаметра, через которое в емкость постоянно поступает заданный объем ЖРО в сутки (рис. 4).

Преимущество данного варианта заключается в том, что уменьшение коэффициента фильтрации сорбирующего экрана (например, за счет коагуляции твердыми примесями, содержащимися в ЖРО) автоматически повышает уровень жидкости в подающей емкости и, соответственно, увеличивает градиент фильтрации до значения, обеспечивающего расход жидкости заданного объема.

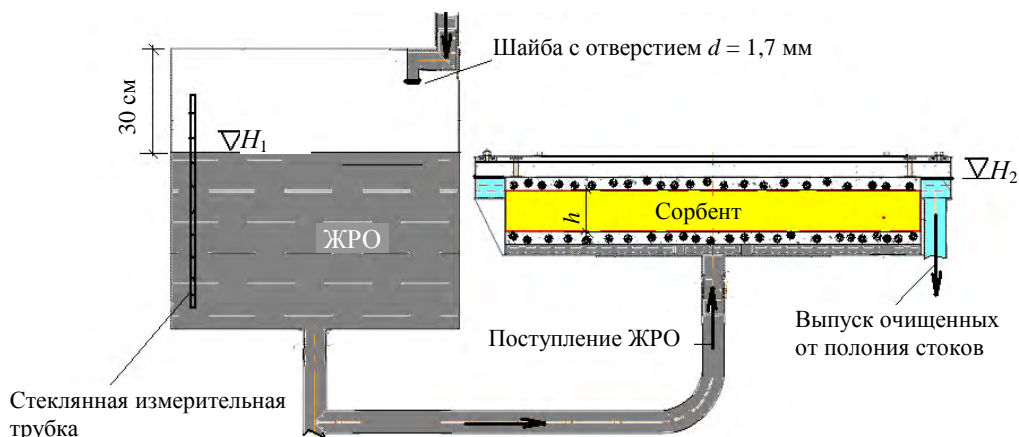


Рис. 4. Схема конструкции фильтрующего модуля в рабочем варианте

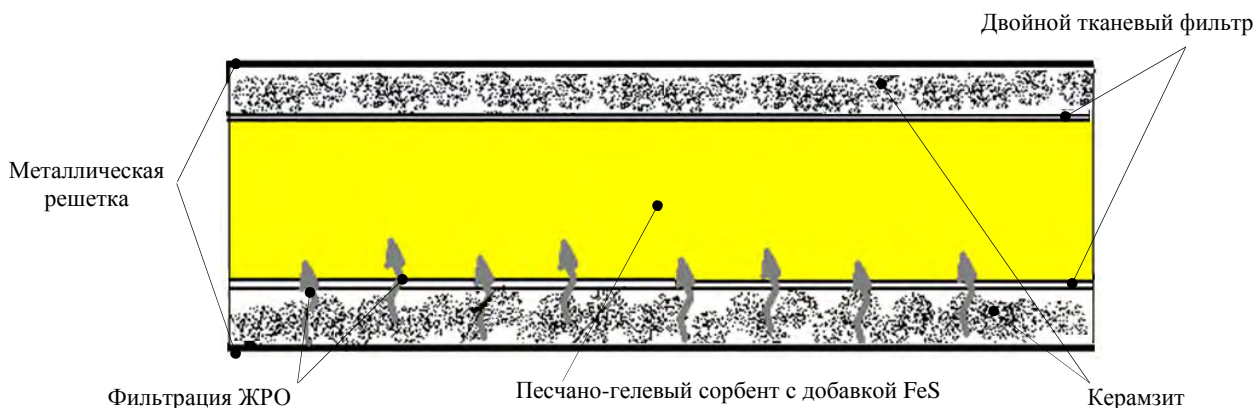


Рис. 5. Схема фильтрующей части модуля

Сорбент был загружен в геофильтрационный модуль, схема фильтрующей части которого представлена на рис. 5.

Как видно из рисунка, поддон модуля, через который поступают ЖРО, перекрыт металлической решеткой и на него насыпан обломочный материал в виде керамзита слоем мощностью 3,0 см. Высокая проницаемость керамзита (в 150 раз больше проницаемости песчано-гелевого сорбента) обеспечивает равномерный расход по всей площади фильтрующей части модуля.

Слив профильтровавшихся через сорбент очищенных ЖРО происходит по всему периметру верхней фильтрационной части модуля (см. рис. 4).

Доочистка ЖРО в описанном выше геофильтрационном модуле выполнялась на протяжении 28 дней. Всего через эту установку было профильтровано 19 м³ ЖРО с исходной концентрацией 4,63 Бк/л. В последних контрольных пробах фильтрата концентрация полония не превышала 0,03 Бк/л.

Таким образом, выполненный комплекс теоретических, экспериментальных и опытно-производственных работ позволяет сделать выводы о целесообразности использования предлагаемого способа доочистки ЖРО до концентраций радионуклидов, не превышающих значений ПДУ. Этот способ доочистки позволяет снизить в 800 раз общий объем отходов.

Мы рассмотрели вариант использования геофильтрационного модуля, который проходил апробацию непосредственно на территории предприятия «Росатома» и был включен в систему очистки ЖРО.

Снижение объема радиоактивных отходов, естественно, ведет к увеличению радиоактивности единицы объема геохимического барьера в геофильтрационном модуле. В этой связи возникает необходимость решения вопроса о мероприятиях,

которые позволяют исключить отрицательное влияние массы загрязненного геохимического барьера на окружающую среду.

Решение этого вопроса достигается путем размещения использованного геохимического барьера в могильнике на территории предприятия или на специально отведенных участках в близлежащем районе.

В качестве тела могильника следует использовать глинистый материал, состав которого должен подбираться с учетом состава и формы нахождения радионуклидов, поглощенных геохимическим барьером. Это требование определяется хорошо известным свойством мицеллы тонкодисперсных глинистых фракций поглощать радионуклиды в количествах, в десятки раз превышающих поглощающие способности геохимических барьеров высокой проницаемости. Малая проницаемость глинистых материалов, их высокая поглощающая способность, пластичность и незначительная стоимость являются фундаментальной базой приоритетности их использования при сооружении могильников.

При сооружении могильников из глинистых сорбирующих материалов прежде всего встанут два вопроса: определение оптимального состава природного глинистого материала и определение минимальной мощности стенок сооружения, в центре которого размещается отработанный геохимический барьер. Методика решения этих вопросов детально представлена в ряде работ авторов [1–3].

Таким образом, мы рассмотрели весь комплекс работ, связанных с исключением негативного влияния радиоактивных отходов промышленности на окружающую среду. Разработанный подход включает использование ряда методик, связанных со следующими параметрами:

- подбором геохимического барьера оптимального состава и проницаемости;
- определением максимально допустимой скорости фильтрации ЖРО через геохимический барьер;
- определением необходимой площади и мощности геохимического барьера;
- исключением влияния отработанного геохимического барьера на водные ресурсы при его размещении в геологической среде.

Предложенный подход и методы его реализации апробированы в производственных условиях на примере опытно-фильтрационной установки на одном из объектов «Росатома». Представленный способ доочистки и методики, сопровождающие решение этой задачи, естественно, могут и должны быть использованы при доочистке любых объемов ЖРО на любой заданный период времени.

Список литературы

1. Ампелогова Н.И. Радиохимия полония. – М.: Атомиздат, 1976, 275 с.
2. Boisson F., Miquel J.-C., Cotret O., Fowler S. W. // *Sci. Total Environ.* 2001, vol. 281, p. 111–119.

3. Vajda N., LaRosa J., Zeisler R., Danesi P., Kis-Benedek Gy. // *J. Environ. Radioactivity.* 1997, vol. 37, p. 355–372.

4. Chen Q., Hou X., Dahlgaard H., Nielsen S.P., Aarkrog A. // *J. Radioanal. Nuclear Chem.* 2001, vol. 249, p. 587–593.

5. Сергеев В.И., Степанова Н.Ю. Методика оценки степени защищенности подземных вод от загрязнения в районах складирования отходов атомной промышленности // *ВАНТ*, 2004, вып. 1, с. 31–35.

6. Пат. 2337419 РФ, МПК G21F 9/24. Способ защиты от загрязнения подземных вод в районах складирования и захоронения отходов, содержащих токсичные или радиоактивные вещества, и устройство для его реализации / В. И. Сергеев, Н. Ю. Степанова, Е. В. Петрова, М. Л. Кулешова, З. П. Малашенко, Т. В. Шимко // *Изобретения. Полезные модели.* 2008. № 30.

Контактная информация –

Степанова Нонна Юрьевна,
начальник отдела ФГБУ НИМЦ «Базис»,
тел. (495) 971-7106,
e-mail: snonnay@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.06.2015.

Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2015, вып. 4, с. 64–72.