

В.Н. Семенов, проф., О.С. Сорокикова, проф.
ИБРАЭ РАН, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ГИПОТЕТИЧЕСКИХ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК В КАМЧАТСКОМ РЕГИОНЕ

Аннотация. *Выполнены модельные оценки возможных последствий экстремальных гипотетических аварий при утилизации атомных подводных лодок, сопровождающихся выбросом радионуклидов в атмосферу и на морскую поверхность. Показано, что, любая экстремальная авария, сопровождающаяся выбросом в атмосферу, может привести только к локальным последствиям для прилегающих территорий. Попадание же радионуклидов на морскую поверхность при неблагоприятном стечении обстоятельств может привести к длительному дрейфу пятна на большие расстояния при сохранении высоких концентраций.*

Ключевые слова: *радиационная авария, утилизация, атомная подлодка, радионуклиды.*

1 Введение

В настоящее время на Камчатском полуострове проводится утилизация отработавших свой срок атомных подводных лодок (АПЛ). Реакторы АПЛ представляют потенциальную радиационную опасность, пока из них не выгружено отработанное ядерное топливо (ОЯТ). Не исключена возможность выбросов или утечки радиоактивности из реакторов в окружающую среду в результате стихийных бедствий, диверсии или халатности персонала. После выгрузки ОЯТ проводится деактивация лодки, снимается оборудование. Из АПЛ вырезаются блоки, каждый из которых состоит из реакторного и смежных отсеков. Эти блоки герметизируются и переправляются в пункты отстоя, где хранятся у причалов. Многие из операций выполняются при вскрытых защитных барьерах, что в случае аварии может привести к серьезным последствиям для населения и окружающей среды. В процессе утилизации образуется большое количество жидких и твердых радиационных отходов, в том числе вырезанный реакторный отсек. Аварийные ситуации возможны как при отстое АПЛ и выгрузке ОЯТ, так и при проведении демонтажных работ. Они могут быть вызваны отказом технологических средств и оборудования, ошибками персонала, экстремальными погодными условиями, диверсиями и другими причинами. Вероятность таких ситуаций крайне мала. Однако, несмотря на это, необходимо оценить наихудшие возможные последствия при выбросе радионуклидов во внешнюю среду (дать модельную консервативную оценку).

2 Используемые методы и подходы

В ИБРАЭ РАН разработано несколько сценариев экстремальных гипотетических аварий при утилизации АПЛ в Камчатском регионе с выбросом радиоактивности в атмосферу и на морскую поверхность. Исходя из анализа разработанных сценариев (по мощности выброса), в дальнейшем рассмотрены следующие две самые значительные по мощности гипотетического выброса в окружающую среду аварии:

- самопроизвольная цепная реакция (СЦР) при выгрузке отработанного ядерного топлива в атмосферу;
- террористический акт с подрывом, возникновением интенсивного пожара и затоплением плавучей транспортной базы (ПТБ) на маршруте следования из Камчатки в Приморский край (при транспортировке отходов).

Представляется важным попытаться оценить, возможны ли заметные загрязнения подстилающей поверхности и водных акваторий на больших расстояниях от места аварии. Другими словами возможны ли такие гипотетические ситуации, когда загрязнением будут подвержены районы на значительных расстояниях от места аварии, в том числе места рыбных промыслов иностранных государств.

К сожалению, хорошо известно, что при крупнейших радиационных авариях (Чернобыльская катастрофа) значительным загрязнением могут быть подвержены территории на расстояниях тысяч километров от места аварии. Для такой крупнейшей аварии, распространение загрязнения по воздуху, из-за высокой первоначальной эффективной высоты выброса, привело к загрязнению поверхности (как суши, так и водных поверхностей) большой площади на больших расстояниях от источника. Для территорий, где наблюдались осадки, в момент прохождения радиоактивного облака, это загрязнение особенно значительно.

Проведены модельные оценки последствия экстремальной радиационной аварии при распространении загрязнения по воздуху которые показали, что при самых неблагоприятных метеорологических условиях и сценарии аварии - СЦР, зона, где ситуация по дозовым нагрузкам за первые 10 дней и первый год попадает под классификацию аварийной разной степени тяжести, не превышает 50 км. Оценки выполнены для разных типов метеорологических условий, таких, например, как попадания паровоздушного выброса в слой температурной инверсии, наличие осадков при малой интенсивности горизонтального и вертикального турбулентного рассеяния итд. Модельные оценки выполнены при помощи специальной системы для поддержки принятия решений при возникновении аварийной ситуации на радиационно опасных объектах НОСТРАДАМУС [2, сборник докладов этой конференции Р.В. Арутюнян и др.].

Таким образом, при самом неблагоприятном стечении всех факторов, территории на расстояниях от источника, больших, чем отмеченные, при распространении загрязнения по воздуху не будут подвержены загрязнениям, которые требуют особого внимания по прогнозируемым дозам облучения (на срок до 1 года после аварии).

На наш взгляд представляется важным попытаться определить условия и тип аварий, при которых возможен дальний перенос по воде радиационного загрязнения, а также определить наиболее неблагоприятные ситуации, при которых могут возникнуть в той или иной степени опасные концентрации радионуклидов в воде на значительных расстояниях от источника. Беспокойство по этому поводу высказывают сопредельные государства. При авариях не связанных с затоплением, начальному загрязнению будет подвержен приповерхностный слой воды в результате непосредственного загрязнения или выпадения из атмосферы.

Наиболее неблагоприятным для распространения по воде, с точки зрения дальнего переноса, является следующие факторы. Чем менее интенсивно турбулентное перемешивание, чем сильнее течения, тем больше вероятность дальнего переноса радиоактивного загрязнения опасных концентраций. В акватории, свободной ото льда, дальний перенос может происходить в приповерхностном слое, где течения, как правило, максимальны, и пятно загрязнения гипотетически может переместиться на большие расстояния. Интенсивность вертикального перемешивания в приповерхностном слое, масштаб слоя перемешивания, находится в существенной зависимости от сезона. Наиболее опасным представляется поверхностное загрязнение воды летом, когда из-за устойчивой стратификации в приповерхностном слое, вертикальный масштаб слоя перемешивания из-за возникновения сезонного термоклина порядка десятка метров и менее.

Задача моделирования распространения радиоактивного загрязнения по воде при экстремальных гипотетических авариях в процессе утилизации АПЛ, связана со следующими основными трудностями.

Во – первых, необходимо иметь информацию о полях течений и характеристиках турбулентности. Во – вторых, в отличие от достаточно гладких температурных полей и полей солености, пятно загрязнения может дрейфовать на значительные расстояния от места аварии при этом сохраняя значительные концентрации и градиенты концентраций. Поэтому эйлеров подход нежелателен. При применении эйлерова подхода пятно загрязнения сразу имеет размер, соответствующий размеру эйлеровой ячейки, кроме того, для эйлерова подхода при наличии значительных градиентов характерны нефизические осцилляции концентраций или приходится использовать явную искусственную или аппроксимационную вязкость. Это сильно занижает модельные концентрации.

Для моделирования распространения радиоактивных загрязнений в Тихом океане при возможных авариях судов, в процессе транспортировки отработанного ядерного топлива на пути из Петропавловска-Камчатского во Владивосток, использована трехмерная лагранжева модель Монте-Карло переноса и диффузии полидисперсной примеси в трехмерном неоднородном поле скоростей течений при неизотропном поле турбулентности. Эта модель служит основой ‘морской’ версии НОСТРАДАМУСА. Входными данными модели служат данные моделирования по трехмерной модели гидротермодинамики океана ИВМ РАН [1]. Модель специально настроена на акваторию Тихого океана от экватора до Берингова пролива с достаточно высоким пространственным разрешением ($1/8$ градуса) по широте и долготе, которая способна воспроизводить вихревую динамику океана и крупномасштабную структуру течений с учетом атмосферного воздействия.

Кроме того, для получения консервативных оценок возможных концентраций радионуклидов в морской воде и траектории дрейфа пятна, в зависимости от местоположения аварии разработана консервативная квазидвумерная лагранжева модель распространения примеси. Входными данными для нее служит специальная база данных о среднемесячных полях течений, информация о поверхностном слое перемешивания, рассчитанной крупномасштабной скорости даунвеллинга (рис. 1).



Рис. 1 – Входные данные для морской версии НОСТРАДАМУСА

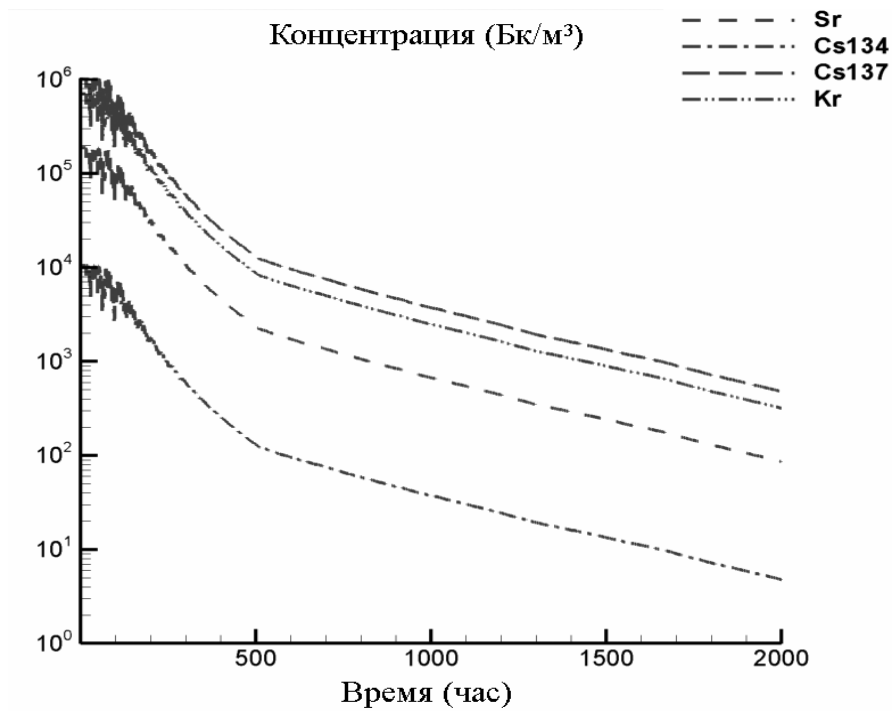


Рис. 2 – Максимальные мгновенные концентрации разных радионуклидов

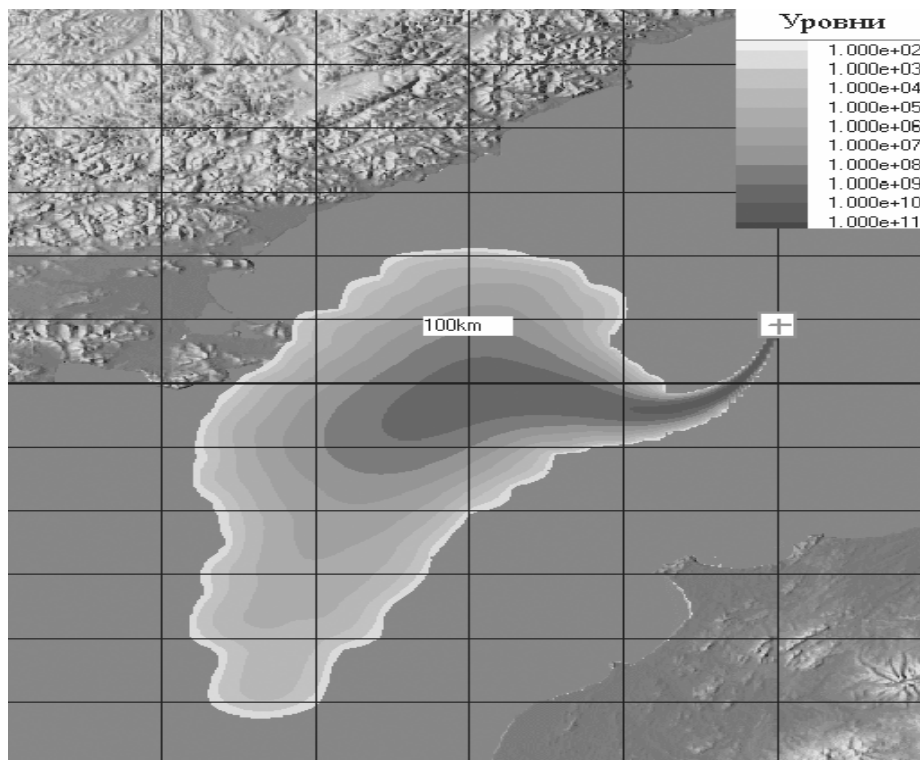


Рис.3 – Проинтегрированные по времени мгновенные концентрации всех радионуклидов (ТИС) для одного из разработанных сценариев аварии.

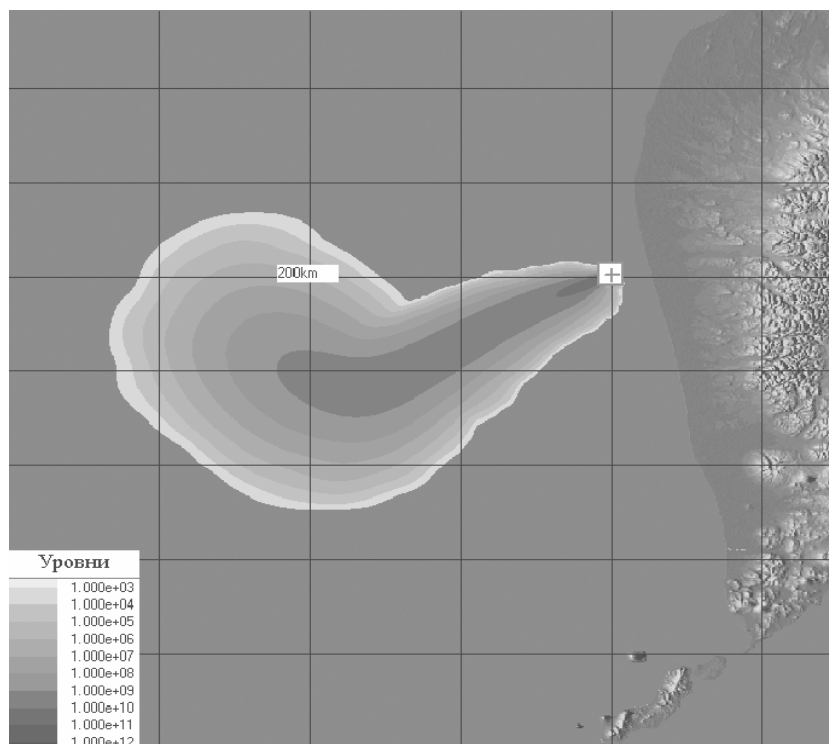


Рис. 4 – Проинтегрированные по времени суммарная активность выброса в приповерхностном слое моря. Местоположение источника – 155.5°вд 54.5°сш. Время выброса – июль 2000г. Линии уровня через 83 суток после аварии

3 Результаты

- Сделан обзор существующих сценариев экстремальных гипотетических аварий при утилизации АПЛ на Камчатке. Выделены две наиболее тяжелые аварии по возможным последствиям.
- При выбросе в атмосферу и неблагоприятных метеорологических условиях незначительные по площади поверхности загрязнения могут возникать на расстояниях до несколько десятков километров от места аварии.
- Определены наиболее неблагоприятные ситуации, могущие приводить к дальнему переносу (порядка 1000 км) по воде радиоактивного загрязнения (загрязнение поверхности в летний период)
- Разработана модель распространения радиоактивного загрязнения в поверхностном слое океана с учетом реального поля течения и имеющихся данных о глубине верхнего слоя перемешивания. Модель учитывает даунвеллинг в глубокие слои.
- На основе разработанной модели сделаны оценки поведения радиоактивного пятна загрязнения для разных местоположений источника для нескольких конкретных ситуаций.

Благодарности. Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 05-08-01376-а.

Литература

1. Саркисян А.С. Моделирование динамики океана. СПб.: Гидрометеиздат, 1991, 295 с.
2. Семенов В.Н., Сороковикова О.С. и др. Моделирование распространения радионуклидов в окружающей среде. Наука 2008. 265с.

The modeling of consequence the hypothetical variants of radiation accidents in utilizing atomic submarines at Kamchatka region

Abstract. *The model estimation and analysis of existent hypothetical variants of extreme accidents in utilizing atomic submarines with radioactivity leakage to the atmosphere or sea surface have been performed. The consequence of air pollutions for such accidents, by estimate, can found at the distance not far from the source. Unlike situation with pollution transport by atmospheric way, significant radionuclide concentrations after falling into the water surface may become a problem for areas of water at long distances from the place of accident.*

Keywords: *radiation accident, recovery, nuclear-powered submarine, radionuclide.*