

НЕКОТОРЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ

© 2010 г. А. К. Калиновский, В. А. Краснов, Э. М. Пазухин

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Представлен краткий обзор литературных данных о радиоактивном загрязнении окружающей среды при проведении мирных подземных ядерных взрывов с целью возможного применения накопленного опыта при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

Ключевые слова: подземные ядерные взрывы в мирных целях, радиоактивное загрязнение окружающей среды, техногенные радионуклиды,

Авария на ЧАЭС, является самой серьезной аварией в гражданской атомной энергетике и наиболее масштабным источником радиоактивного загрязнения окружающей среды техногенными радионуклидами (ТРН). Начало радиоактивного загрязнения положено испытаниями ядерного оружия в 50-е годы XX ст. Существенный вклад в этот процесс также внесли аварии на объектах, использующих атомные технологии в мирных целях. Характеризуя особенности радиоактивного загрязнения от разных источников, некоторые авторы отмечают, что радиоактивные образования чернобыльского генезиса, особенно в ближней зоне, по своим физико-химическим свойствам отличаются от глобальных радиоактивных выпадений, связанных с эксплуатацией АЭС. В то же время имеется определенное сходство с выпадениями, образующимися при наземных и подземных ядерных взрывах (ПЯВ) [1, 2]. Поэтому целесообразно использовать накопленный опыт по ликвидации последствий радиоактивного загрязнения гидрогеологической среды и знания о миграционной способности радионуклидов для достоверной оценки состояния и выработки долгосрочного прогноза поведения ТРН в грунтах локальной зоны объекта «Укрытие».

Радиоактивные образования при ПЯВ

При анализе последствий ПЯВ установлено, что при формировании радиоактивных частиц большое значение имеет температурный режим [2, 3], в результате мощной ударной волны и высокой температуры происходит нагревание и перемещение грунта от центра взрыва, приводящее к испарению и плавлению твердой породы. Количество испарившейся породы составляет примерно 50 т на 1 кт в тротиловом эквиваленте мощности взрыва, а количество расплавленной – 500 - 800 т на 1 кт [3, 4]. Кроме того, при ядерном взрыве мощностью 1 кт, в котором в качестве делящегося вещества используется ^{235}U или ^{239}Pu , образуется порядка 60 г радиоактивных продуктов деления. Непосредственно при делении возникает приблизительно 60 изотопов (криптона, йода, ксенона, рубидия, цезия и др.), которые в результате радиоактивного распада последовательно переходят в дочерние радиоактивные изотопы других элементов. Кроме того, в эпицентре взрыва остаются не прореагировавшие продукты ядерного запала. Активность 60 г продуктов деления через 10 с после взрыва, приблизительно, составляет $7 \cdot 10^{10}$ Ки, а через 1 год – $1 \cdot 10^4$ Ки. При анализе последствий ПЯВ установлено, что в расплаве горной породы (0,5 - 1 тыс. т/кт) практически полностью фиксируются все тугоплавкие радионуклиды, а по образующимся трещинам распространяются летучие радионуклиды типа $^{129,131,132}\text{I}$, ^{125}Sb и газы $^{89,90}\text{Kr}$ и ^{137}Xe [3, 4]. Впоследствии радиоактивность зоны ПЯВ определяется долгоживущими (период полураспада порядка 30 лет) радионуклидами – ^{90}Sr и ^{137}Cs , а также трансурановыми изотопами.

Сложность процессов, протекающих при ПЯВ, обусловили формирования радиоактивных частиц нескольких типов, имеющих различные основные физико-химические свойства.

Частицы первого типа формируются в полости взрыва при взаимодействии образовавшихся при взрыве радионуклидов с расплавом грунта. В случае прорыва полости в атмосферу расплавленный слой грунта дробится, образуя радиоактивные частицы различных размеров.

Частицы второго типа образуются в зоне выброса раздробленного грунта и радиоактивных продуктов взрыва. Поэтому для них характерно значительное обеднение тугоплавкими и обогащением легколетучими радионуклидами. Кроме того, такие радиоактивные частицы образуются, в основном, в результате осаждения радиоактивных продуктов взрыва на относительно холодную поверхность грунтовых частиц, что приводит к тому, что радиоактивность носит поверхностный характер и легко смывается водой.

Частицы третьего типа занимают промежуточное положение. Основное количество радиоактивных продуктов сосредоточено в тонком поверхностном слое таких частиц.

По результатам исследования дисперсного состава радиоактивных выпадений на следах взрывов было установлено, что крупные радиоактивные частицы выпадали вблизи эпицентра, а по мере удаления от воронки взрыва размер выпадающих радиоактивных частиц уменьшался [4, 5].

Мониторинг местности после ПЯВ

Большинство ПЯВ в Советском Союзе, после подписания в 1963 г. «Договора о запрещении проведения ядерных испытаний в воздухе, на земле и космосе», было проведено на Семипалатинском и Новоземельском атомных полигонах, где отдаленность и особенности геологического строения этих районов обеспечили достаточно эффективную локализацию ТРН в земной коре. Выбросы газообразных и легколетучих радионуклидов в окружающую среду, в основном, происходили при нарушении технологии проведения и герметизации полости взрыва.

В то же время в СССР существовала программа мирного (промышленного) использования ядерной энергии (государственная программа № 7 "Ядерные взрывы для народного хозяйства") в рамках реализации которой часть ядерных взрывов проводились за территорией полигонов. Следует отметить, что аналогичная программа существовала и в США (проект "Плаушер"). Специальные ядерные взрывы по программе "Плаушер" США осуществлялись с 1961 по 1973 г. При этом только четыре из 27 американских мирных ядерных взрывов были осуществлены за пределами Невадского полигона. Однако объекты, созданные в США с использованием ядерных технологий, в промышленную эксплуатацию не вводились. Это было обусловлено отрицательным мнением американской общественности из-за возможности радиоактивного загрязнения продукции, которая будет получена с применением ядерно-взрывных технологий. Это, в конечном счете, привело к свертыванию в США программы мирного использования ПЯВ.

В Советском Союзе количество ядерных взрывов, проведенных в рамках различных научных и промышленных целей в период 1965 - 1988 гг., превысило почти в пять раз количество мирных взрывов в США. В реализации программы № 7 принимало участие более 10 министерств СССР - Минсредмаш, Мингазпром, Миннефтепром, Минугольпром, Минэнерго и др., по заказам которых проводились мирные ядерные взрывы. Было произведено 124 взрыва. В рамках данной статьи рассмотрены только некоторые из них - те, у которых чаще всего эпицентр взрыва заполнялся природной водой. В результате вода превращалась в жидкие радиоактивные отходы, содержащие продукты ядерного запала, ТРН и продукты активации, представляющие радиационную опасность и способные вызвать радиоактивное загрязнение значительной территории.

Экскавационные ядерные взрывы (создание воронок выброса). Началом реализации программы № 7 можно считать осуществление 15 января 1965 г. ПЯВ мощностью 140 кт для создания искусственного водохранилища в одном из засушливых районов Казахстана (проект "Чаган"). В результате взрыва образовалась воронка диаметром по дневной поверх-

ности 430 м и высотой навала 20 – 35 м, которая после заполнения водой превратилась в водоем общей емкостью около 6,4 млн м³. В эпицентре взрыва выпало 30 - 40 % радионуклидов, образовавшихся при взрыве [4, 5].

В течение многих лет после взрыва на локальном следе взрыва "Чаган" изучалось изменение во времени активности почв. Пробы отбирались на расстояниях до 10 км от навала грунта, и было установлено, что горизонтальная миграция радиоактивных продуктов более значима, чем вертикальная. Показатели вертикальной миграции повышаются по мере удаления от центра взрыва, т. е. на дальних расстояниях, где выпадают более мелкие частицы. Спустя более 40 лет на берегу искусственного водоема, образованного взрывом и используемого для разведения рыб и водопоя скота, уровень мощности экспозиционной дозы (МЭД) в отдельных местах достигал 2 - 3 мР/ч.

Эксплозационный взрыв «1003» мощностью 1,1 кт был произведен на глубине 48 м на площадке «Сары-Узень» 14 октября 1965 г. После взрыва на земной поверхности образовалась воронка глубиной 20 м и высотой навала до 9 м вокруг нее. В 1965 - 1966 гг. были проведены работы по изучению радиоактивного загрязнения грунта в радиусе до 1 км от эпицентра взрыва (ближней зоны) [3, 4, 6]. После взрыва воронка заполнилась водой, а в настоящее время на дне воронки располагается небольшое озеро. Концентрация ⁹⁰Sr в воде в 1966 г. составляла 130 - 330 Бк/л. По данным наблюдений в 1999 и 2003 г. содержание ⁹⁰Sr в воде воронки уменьшилось на порядок - до 8 - 18 Бк/л. В 2003 г. на расстоянии 20 м от подошвы навала выброшенных пород в направлении оси радиоактивного следа было исследовано распределение радионуклидов по глубине 0 - 20 см. Максимально высокое содержание ТРН (⁹⁰Sr - до 19 Бк/г, ²⁴¹Am - до 10 Бк/г и ¹³⁷Cs - до 8 Бк/г) фиксировалось в двухсантиметровом поверхностном слое почвы [6].

Через 40 лет после взрыва «1003» были восстановлены 13 скважин, пробуренные до проведения взрыва вокруг эпицентральной зоны для наблюдения за последующей миграцией ТРН с подземными водами из зоны взрыва. В течение 2002 - 2004 гг. проводились наблюдения за уровнем подземных вод и отбор проб воды на определение радионуклидов [7]. Прежде всего в пробах воды измерялся ³H. Затем по данным измерений выбирались наиболее информативные скважины. Фоновые значения активности ³H в пробах грунтовых вод из скважин, находящихся выше по потоку на расстоянии порядка 350 м от эпицентра взрыва, составляли менее 5 Бк/л. Характеризуя ореол современного загрязнения подземных вод, авторы установили, что он отличен от направления следа выпадения продуктов ПЯВ. Содержание радионуклидов в грунтовых водах ниже по потоку от эпицентра взрыва на расстоянии 370 м составило: ³H 1400 - 1700 Бк/л, ¹³⁷Cs 0,5 Бк/л, ⁹⁰Sr 0,1 Бк/л, ²³⁸⁺²³⁹Pu 0,04 Бк/л; на расстоянии 730 м: ³H 100 - 250 Бк/л, ¹³⁷Cs 0,2 - 1,2 Бк/л, ⁹⁰Sr 0,05 - 0,3 Бк/л, ²³⁸⁺²³⁹Pu 0,004 - 0,06 Бк/л.

Авторы статьи [7] полагают, во-первых, что разброс значений по пробам зависит от сезона отбора проб, что связано с различной обводненностью скважин в течение года. Во-вторых, разница в радионуклидном составе воды и почвы свидетельствует о различном происхождении радиоактивного загрязнения этих сред. Как результат, указывают на отсутствие возможного поступления радионуклидов с поверхности в подземные воды за прошедшие 40 лет после ПЯВ в скважине 1003.

Создание подземных полостей-хранилищ газа. Опыт создания таких полостей с применением ядерных технологий уже был в США, где в 1961 и 1963 г. взрывами "Гном" и "Сэлмон" в соляном пласте были созданы полости-хранилища. С 1966 по 1979 г. в месторождении Большой Азгир в 10 скважинах было произведено 17 ПЯВ, при этом взорвано 22 ядерных заряда [4, 8]. На Оренбургском, Астраханском и Карачаганакском месторождениях с помощью ядерно-взрывных технологий было создано 24 полости-хранилища. Все взрывы по созданию подземных хранилищ газоконденсата в отложениях каменной соли были осуществлены в пределах Прикаспийской низменности. Схема размещения в этом районе площадок для создания емкостей-хранилищ представлена на рисунке.



Схема размещения площадок проведения мирных ПЯВ в Прикаспийской зоне.

Более чем 30-летний опыт эксплуатации подземных резервуаров-хранилищ газового конденсата позволяет говорить об относительной радиационной безопасности хранения газового конденсата в подземных резервуарах. Причина такой безопасности в том, что основное количество образовавшихся при взрыве радионуклидов захоронено на дне полости в застывшей соли, а незначительная их часть, преимущественно ^{137}Cs и ^{90}Sr , распределяется ореолом вокруг полости и растворяется в воде [9]. Однако при попадании воды в полость-хранилище на дне накапливается радиоактивный рассол, который

постепенно загрязняет трубопроводы, а при нарушении регламента и некоторые наземные сооружения [9]. Так, в 1991 г. на одной из скважин объекта "Вега" произошло истечение радиоактивного рассола из полости. Среднее содержание ^{137}Cs в рассоле составило около $1 \cdot 10^4$ Бк/л [10]. В 1999 г. полость E1 на объекте "Магистраль" была выведена из эксплуатации из-за накопления в ней воды [11]. В связи с заполнением полостей водой были пробурены наблюдательные гидрогеологические скважины для исследования возможной миграции радионуклидов вокруг объектов. В пробах грунтовых вод из скважин, в основном, объемная активность трития в водах несколько выше уровня глобального загрязнения поверхностных вод [12]. Однако, несмотря на аварии, часть полостей эксплуатируются и в настоящее время.

Интенсификация добычи нефти и газа. В рамках программы № 7 было выполнено всего шесть проектов интенсификации добычи нефти и газа. При реализации этих проектов был произведен 21 ядерный взрыв. В 1965 г. в СССР впервые в условиях действующего промысла на Грачевском нефтяном месторождении в Башкирии были осуществлены три мирных ПЯВ (объект "Бу́тан") мощностью 2,3, 2,3 и 7,6 кт с целью интенсификации добычи нефти. Гамма-фон на промплощадках скважин, в которых проводились ПЯВ, постоянно находился на уровне естественного фона. И только тритий, образовавшийся при взрыве, обнаруживался в попутном газе, добываемом вместе с нефтью. Сразу после взрыва содержание трития в газе находилось на уровне 1000 Бк/л, через три года оно стабилизировалось примерно на уровне 100 Бк/л. Содержание трития в нефти не превышало $1 \cdot 10^5$ Бк/л [10]. В нефти определялись также следовые количества таких радиоактивных продуктов деления, как ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Через четыре года (в 1969 г.) проводились аналогичные работы на Осинском месторождении в Пермской области (проект "Грифон"). Радиационная обстановка после взрыва была гораздо более сложной. Последующее бурение исследовательских скважин в полость взрыва и откачка воды привели к загрязнению части территории промплощадки и оборудования. Кроме того, производственная деятельность на объекте "Грифон" осложнялась тем, что в водных слоях, которые подпирала залежи нефти, содержание таких радионуклидов, как ^{137}Cs и ^{90}Sr , превышало допустимые пределы. Количество скважин, из которых добывалась "загрязненная нефть", достигало 150 - 200 [10, 13], а к 1992 г. это количество уменьшилось в семь раз.

В целом же объекты "Бутан" и "Грифон" продолжают находиться в опытно-промышленной эксплуатации. Радиационная обстановка на этих объектах, в основном, находится на уровне естественного фона. Ведется постоянный радиационный контроль состояния объектов, окружающей среды и производимой продукции.

Захоронение промышленных отходов. На территории Башкирии с целью захоронения промышленных стоков были произведены два ПЯВ мощностью 10 кт: объект "Кама-2" – 26 октября 1973 г.; объект "Кама-1" – 8 июля 1974 г. [10, 14].

Промышленные отходы, захороненные на этих объектах, обладали высокой токсичностью и не поддавались известным способам очистки. Обработка горной породы ПЯВ в районах привела к возрастанию емкости скважин в несколько раз [14]. Вынос радиоактивности и загрязнение прилегающей территории произошли только в результате бурения непосредственно в полость взрыва. За долгие годы эксплуатации объекта "Кама-2" не было отмечено случаев перетока захороненных промышленных стоков в вышележащие водоносные горизонты. Однако в пробах воды из рабочего горизонта наблюдаются радионуклиды ^3H , ^{137}Cs и ^{90}Sr [10].

Дробление руды в карьерных месторождениях. В случае, когда разработка рудных месторождений традиционным способом нерентабельна, предполагалось использовать для дробления рудных тел ПЯВ. Первые экспериментальные взрывы были выполнены на аппаратовом месторождении Куэзльпор в Мурманской области: объекты "Днепр-1" (1972 г.) и "Днепр-2" (1984 г.). Мощность зарядов составляла 2,1 кт и $2 \times 1,7$ кт соответственно. Результаты анализов проб добытой руды свидетельствовали о том, что концентрация радиоактивных веществ в ней, как правило, не превышала допустимых уровней. Содержание ^{90}Sr в руде в среднем было менее 2 Бк/кг, а ^{137}Cs - менее 5 Бк/кг [10].

Особенность объектов "Днепр-1" и "Днепр-2" в том, что зона взрыва соединена с нижележащей штольной выработками, а с поверхностью многочисленными трещинами. Поэтому дождевые и талые воды, поступая по трещинам, омывают раздробленные радиоактивные породы и дренируют в нижнюю штольню. Следовательно, вынос радиоактивных продуктов взрыва во внешнюю среду, в основном, связан с рудничной водой. По данным исследований в 1986 г. пробы воды содержали: ^3H - $7,6 \cdot 10^6$ Бк/л, ^{137}Cs - 0,18 Бк/л и ^{90}Sr - 0,05 Бк/л. При этом отдельные пробы непосредственно из зоны взрыва содержали: ^3H - $2,7 \cdot 10^8$, ^{90}Sr - 20,5, ^{137}Cs - 4,4 Бк/л.

За более чем 20-летний период наблюдений за состоянием вод на объекте "Днепр-1" и "Днепр-2" не было зафиксировано случаев превышения допустимой концентрации в рудничной воде ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{239}Pu . По результатам анализов проб рудничной воды, выполненных специалистами Радиевого института им. В. Г. Хлопина в 1989 - 1990 гг., содержание в них ^{90}Sr в среднем составляло 0,03 Бк/л, а ^{137}Cs - 0,05 Бк/л, что в тысячи раз меньше допустимой концентрации этих радионуклидов в питьевой воде [15]. Содержание ^{239}Pu было ниже 0,01 Бк/л [4]. В 1989 г. содержание трития в рудничной воде было на уровне $6 \cdot 10^5$ Бк/л. В 2003 г. загрязнение рудничной воды тритием составило $3,0 \cdot 10^4$ Бк/л. Однако после разбавления водой, поступающей по каналу ниже точки сброса рудничных вод, в пруде-отстойнике объемная активность трития уменьшалась до 23 Бк/л. Затем рудничные воды поступают в оз. Имандра, где концентрация ^3H , ^{137}Cs и ^{90}Sr соответствует уровням глобального фона, характерного для водных систем Европейской части России.

Мирные ядерные взрывы в Украине. В рамках программы мирного использования ядерных взрывов на территории Украины было реализовано два ядерных проекта.

Первый проект «Факел» был выполнен 9 июля 1972 г. для ликвидации аварийного газового фонтана в Харьковской области, в 20 км севернее г. Краснограда. Подрыв ядерного заряда мощностью 3,8 кт произошел на глубине 1720 м. В результате радиационного обследования прилегающей к скважине территории повышенного загрязнения радионуклидами не выявлено. Следовательно, можно предположить, что все радиоактивные продукты захоронены в геологической среде [4, 10].

Второй проект "Кливаж" проводился на шахте "Юнком" г. Енакиево Донецкой области в рамках эксперимента по проверке эффективности использования ПЯВ для предотвращения внезапных выбросов угля и газа. На глубине 903 м от поверхности 16 сентября 1979 г. был осуществлен ядерный взрыв мощностью 0,3 кт [4, 10]. Небольшая мощность взрыва определялась требованиями обеспечения сейсмической безопасности шахтных стволов и основных выработок, а также промышленных и жилых зданий. Проведенные в 1980 - 1982 гг. радиометрические обследования ближайших к центру взрыва угольных пластов показали, что уровни МЭД имели фоновые значения, характерные для угольных лав [4, 10].

Последние детальные обследования радиационной обстановки на шахте "Юнком" и в ближайших окрестностях проводились осенью 1991 г. В результате было установлено, что МЭД на поверхности земли у ствола шахты и в поселке шахтеров составляли 12 - 15 мкР/ч, что соответствовало уровню естественного фона. На горизонтах 826 и 936 м МЭД были равны 12 - 25 мкР/ч, что также не превышало обычного для этих горизонтов уровня. Повышение МЭД до 40 мкР/ч и более наблюдалось только в местах выхода природных урано-ториевых минералов. Анализ проб шахтной воды показал, что содержание ^{137}Cs в ней не превышало 7 Бк/л, т. е. почти в 10 раз была ниже допустимой концентрации этого радионуклида в питьевой воде [16]. Содержание трития в пробах было в 50 раз ниже установленных пределов. В сбросных водах вне шахты концентрация ^{90}Sr была равна 0,0002 Бк/л, а ^{137}Cs - 0,01 Бк/л [4, 10].

Заключение

Из анализа представленного материала можно сделать следующие выводы.

1. Все объекты, созданные с использованием ядерно-взрывных технологий, имеют в эпицентре взрыва практически неизвлекаемые радиоактивные отходы, состоящие из продуктов деления, наведенной активности и непрореагировавшей части ядерного заряда. Поэтому центральная зона, фактически, представляет собой могильник радиоактивных веществ, в котором они самозахоронились в момент взрыва в виде расплавленной породы и шлака, превратившись затем в застывшую стекловидную массу.

2. Основным фактором дестабилизации радиационной обстановки вокруг центральной зоны взрыва является вода. При заполнении эпицентра вода становится жидкими радиоактивными отходами низкой и средней активности. При этом долгоживущие радионуклиды, мигрируя вместе с водой, увеличивают ореол загрязнения подземных вод и грунтов.

3. Отсутствие в настоящее время надежных методов долгосрочных прогнозов (до тысячи лет) поведения таких радиоактивных отходов способствует тому, что объекты, созданные с использованием ядерно-взрывных технологий, необходимо рассматривать как потенциальные источники миграции радионуклидов, в том числе особо опасных долгоживущих альфа-излучающих нуклидов, в подземные воды и окружающую среду.

4. Наиболее эффективным маркером, указывающим на вынос радионуклидов из зоны эпицентра взрыва, является тритий.

5. Бурение исследовательских скважин в центральную зону ПЯВ довольно часто сопровождается выносом радиоактивности и увеличением территории радиоактивного загрязнения.

6. При бурении наблюдательных скважин, входящих в систему мониторинга радиационного состояния подземных вод, при наличии значительного поверхностного загрязнения особое внимание следует обращать на перенос радионуклидов с поверхностного уровня в водоносный горизонт.

7. Скорость горизонтальной миграции радионуклидов в результате ветропереноса, смыва атмосферными осадками и паводковыми водами гораздо выше их вертикальной миграции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Радиогеохимия* в зоне влияния Чернобыльской АЭС / Кол. авторов под рук. Э. В. Собоновича. - К.: Наук. думка, 1992. - 146 с.

2. *Израэль Ю.А.* Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. - С-Петербург: Прогресс-погода, 1996. – 355 с.
3. *Атомные взрывы в мирных целях:* Сб. ст. под ред. И. Д. Морохова. - М.: Атомиздат, 1970. - 124 с.
4. *Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении.* - М.: ИздАТ, 2001. - 519 с.
5. *Ахметов М.А., Дубасов Ю.В., Искра А.А и др.* Характеристика исходных данных радиационного состояния эпицентральной зоны объекта "Чаган" - экскавационного подземного ядерного взрыва для создания искусственного водохранилища // Изв. НАН Республики Казахстан. Сер. физ.-мат. – 1994. - № 6. - С. 79 - 97.
6. *Ядерные взрывы в СССР. Т. 4. Мирное использование подземных ядерных взрывов / Кол. авторов под рук. В. Н. Михайлова.* - М.: ВНИИПромтехнологии, 1994. - 162 с.
7. *Kvasnikova E.V., Gordeev S.K., Ermakov A.I.* Radionuclide contamination of underground water and soils near the epicentral zone of cratering explosion at the Semipalatinsk Test Site // Radio protection, Suppl. 1. - 2005. - Vol. 40. P. 339 - 405.
8. *Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР. 1949 - 1990 гг. / Кол. авторов под рук. В. Н. Михайлова.* - Саров: РФЯЦ - ВНИИЭФ, 1996. - 66 с.
9. *Кривохатский А.С., Дубасов Ю.В., Дубровин В.С. и др.* Радиационные проявления подземных ядерных взрывов в мирных целях на соляном месторождении Большой Азгир // Бюл. Центра общ. инф. ЦНИИАтоминформа. - 1993. - № 9. - С. 49 - 59.
10. *Ядерные испытания СССР. Т. 4. Использование ядерных взрывов для решения народнохозяйственных задач и научных исследований / Кол. авторов под рук. В. Н. Михайлова.* - Саров: РФЯЦ - ВНИИЭФ, 2000. - 200 с.
11. *Выполнение проектов экспериментальных и научно-исследовательских работ по закрытию подземной емкости Е1 (объект "Магистраль") с целью обеспечения радиозэкологической безопасности в районе емкости.* - М.: ВНИИПромтехнологии, 1998. - 59 с.
12. *Кривохатский А.С., Соколов В.А., Петров Ю.Г., Дубровин В.С.* Основные характеристики радиационной обстановки после завершения серии подземных ядерных взрывов в интересах народного хозяйства на соляном месторождении Большой Азгир (Казахстан). Препринт РИ-223. - М.: ЦНИИАтоминформ, 1992.
13. *Тараканов Е.* Подземные ядерные взрывы в интересах народного хозяйства (Экологический аспект) // Бюл. Центра общ. инф. ЦНИИАтоминформа. - 1998. - № 3 - 4. - С. 25 - 29.
14. *Приходько Н.К., Мясников К.В., Титов В.Д.* Использование ядерных взрывов при подземном захоронении промстоков // Горный вестник. – 1997. № 2. - С. 44 - 48.
15. *Нормы радиационной безопасности НРБ-96.* - М., 1996.
16. *Нормы радиационной безопасности Украины НРБУ-97.* - К., 1997.

ДЕЯКІ ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЯДЕРНИХ ВИБУХІВ У МИРНИХ ЦІЛЯХ

О. К. Калиновський, В. О. Краснов, Е. М. Пазухін

Представлено короткий огляд літературних даних про радіоактивне забруднення навколишнього середовища при проведенні мирних підземних ядерних вибухів з метою можливого застосування набутого досвіду при ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС.

Ключеві слова: підземні ядерні вибухи в мирних цілях, радіоактивне забруднення наколишнього середовища, техногенні радіонукліди.

SOME ECOLOGICAL ASPECTS OF THE USING NUCLEUS EXPLOSIONS IN PEACE PURPOSE

O. K. Kalynovsky, V. O. Krasnov, E. M. Pazuhin

This paper presents a brief review of published data about radioactive contamination of environment after carried out underground nuclear explosions for peaceful purposes with reason to use the accumulated experience at liquidations consequence after accident on ChNPP.

Keywords: underground nucleus nuclear explosions for peace purpose, radioactive contamination environmental, anthropogenic radionuclides.

Поступила в редакцію 28.06.10