

УДК 504:669

**В.М. АЖАЖА**, академик НАНУ, директор института,**И.Л. РОЛИК**, инженер-исследователь, **М.Ф. КОЖЕВНИКОВА**, инженер-программист,**В.В. ЛЕВЕНЕЦ**, к.ф.-м.н., начальник отдела, **А.А. ЩУР**, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник

Институт физики твердого тела, материаловедения и технологий ННЦ ХФТИ, г. Харьков

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА ЦИРКОНИЯ, ЕГО СПЛАВОВ И ПРОКАТА ДЛЯ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА УКРАИНЫ

Проанализировано современное состояние производства циркония, сплавов, проката и изделий на его основе для ядерного топливного цикла (ЯТЦ) Украины. Представлена характеристика технологических этапов производства как факторов негативного воздействия на объекты окружающей природной среды и здоровье населения.

**производство циркония, негативные факторы, окружающая природная среда, здоровье населения**

### ВВЕДЕНИЕ

Для современной цивилизации энергообеспечение является непременным условием стабильного существования. Одной из самых перспективных и бурно развивающихся отраслей в этой области является атомная энергетика, которая занимает ведущие позиции в электрообеспечении нашей страны [1]. Согласно энергетической стратегии Украины до 2030 г. планируется развитие ядерно-энергетического комплекса (ЯЭК), в т.ч. и расширение производства циркония ядерной чистоты, увеличение объемов производства его сплавов и организация производства труб, прутков, ленты для тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) и тепловыделяющих сборок (ТВС) [2].

На фоне открывающихся перспектив остро встает вопрос об обеспечении экологической безопасности всего развивающегося спектра производств ЯЭК, и производства циркония в частности. Это связано с высоким риском негативного воздействия данной отрасли на состояние объектов окружающей природной среды (ОПС) и здоровье населения [3–5].

Во всем мире осуществляются работы по оценке и минимизации негативного воздействия ЯЭК на окружающую природную среду. Однако они, как правило, посвящены вопросам радиационной безопасности обогащения урана и производства топлива [6–9], эксплуатации АЭС [10, 11] и обращению с радиоактивными отходами [12, 13]. Экологические проблемы других производств ЯЭК рассматриваются локально, в масштабах отдельно взятого предприятия.

Целью настоящей работы является комплексная характеристика производства циркония и сплавов на его основе для ядерного топливного цикла (ЯТЦ) Украины с

рассмотрением факторов его негативного воздействия на объекты ОПС при существующих и планируемых объемах производства [14].

### 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИРКОНИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

Украина реализует ЯТЦ, добывает уран и производит из него концентрат; добывает цирконий и осуществляет получение циркония атомной чистоты, являющегося главным конструкционным материалом оболочек ТВЭЛов и ТВС. Однако полноценного производства своего топлива Украина не имеет, в связи с чем ядерное топливо закупается в России.

В последнее десятилетие происходит восстановление и совершенствование отдельных этапов полноценного производства циркония в Украине, которое планируется осуществлять на базе следующих предприятий:

1. Вольногорский государственный горно-металлургический комбинат (ВГГМК) – сырьевая база, производство циркониевого концентрата.
2. Государственное научно-производственное предприятие «Цирконий» (ГНПП «Цирконий») – производство тетрафторида циркония (ТФЦ), «атомного» циркония и гафния, а также их сплавов.
3. Государственное предприятие «Днепропетровский завод прецизионных труб» (ДЗПТ) – производство изделий из циркониевых сплавов.
4. Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт» (ННЦ ХФТИ) – научно-исследовательская база производства циркония ядерной чистоты, его сплавов и изделий из него.



В связи с внедрением новых технологий возможно включение в этот перечень и некоторых других предприятий.

## 2 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время технологическая схема производства металлического циркония является достаточно устоявшейся и практически одинаковой для разных изготовителей. Далее представлены основные этапы принципиальной технологической схемы производства реакторного циркония и изделий из него в Украине [15].

### А. Получение циркониевого концентрата:

- горное производство (вскрытие руды);
- обогатительное производство (сепарация);
- металлургический передел (хлорирование, ректификация, карбонизация, гидролиз и т.д.).

### Б. Получение ТФЦ и сплава КТЦ-110:

- спекание циркониевого концентрата с гидроксидом натрия техническим (гранулированным);
- отмывка спека от избыточной щелочи и кремния;
- обескремнивание щелочных растворов;
- азотнокислое выщелачивание гидратного кека циркония;
- экстракционное разделение циркония и гафния;
- получение гидроксида гафния осаждением аммиаком с передачей его в опытное производство;
- упаривание реэкстракта циркония;
- осаждение моногидрата тетрафторида циркония 40 %-й плавиковой кислотой;
- сушка, дегидратация моногидрата тетрафторида циркония и десорбция фтористого водорода;
- сублимационная очистка тетрафторида циркония от примесей;
- кальциетермическое восстановление тетрафторида циркония с получением черного слитка циркония;
- рафинировочный переплав черного слитка (очистка от газовых примесей) с получением слитка КТЦ-110;
- механическая обработка слитка.

### В. Производство металлопродукции (трубы, прутки, ленты):

- нанесение шликерного покрытия при горячем прессовании;
- нагрев заготовок в индукционной печи;
- горячее прессование;
- многократная прокатка на косовалковом стане;
- травление;
- оксидирование;
- многократная холодная прокатка;
- отжиг в вакууме;

- химическая обработка;
- механическая обработка;
- сварка, резка.

## 2.1 ПОЛУЧЕНИЕ ЦИРКОНИЕВОГО КОНЦЕНТРАТА

В настоящее время сырьевой базой циркониевого производства является ВГГМК, разрабатывающий Малышевское месторождение ильменит-рутил-цирконовых песков. На комбинате выпускается около 40 видов продукции, в том числе концентраты циркония, рутила, ильменита, тетрахлорида кремния, титана и т.д. Таким образом, детальная характеристика производства циркониевого концентрата возможна только в совокупности с основным производством ВГГМК, что представляет собой отдельную задачу.

Работа ВГГМК включает два основных передела – горно-обогатительный и металлургический. Добыча руды на комбинате ведется открытым способом. По системе гидротранспорта протяженностью 15 км пески транспортируются на обогатительное производство, которое включает дезинтеграцию и обесшламливание, гравитационное обогащение, сушку, доводочные операции по разделению концентрата с использованием электрических и магнитных методов обогащения. Металлургический передел ориентирован на переработку циркониевого концентрата. В составе концентрата массовая доля суммы оксидов циркония и гафния составляет не менее 65 % [16].

### Источники воздействия на ОПС

Основными источниками воздействия на атмосферу на этом этапе являются:

- взрывные и транспортные работы в карьерах, при добыче и обогащении руды, что способствует запыленности воздуха и увеличению концентрации оксидов углерода;
- пыление отвалов и хвостохранилищ;
- химико-физические процессы при металлургическом переделе руды, вследствие чего выделяются: оксиды азота, аммиак, сернистый ангидрид, ацетон, бенз(а)пирен, бутилацетат, хлористый водород, оксиды углерода, углеводороды, фтористые газообразные соединения, твердые вещества, марганец и его соединения, сероводород, спирт бутиловый, формальдегид, фенол. Объемы выбросов предприятия в последние годы составляют 1,5–1,8 % от величин предельно допустимых выбросов (ПДВ).

Жидкие отходы, представляющие собой отработанные растворы и производственные сточные воды, нейтрализуются и отправляются в хвостохранилища, расположенные в нескольких километрах от предприятия. Гидротранспорт работает по схеме обратного водоснаб-

жения. Остальные сточные воды предприятия смешиваются с городскими стоками и поступают на очистные сооружения. Состав сбросов предприятия в водные объекты представлен в основном следующими веществами: аммонийный азот, органические вещества, взвешенные вещества, нефтепродукты, сульфаты, нитраты, нитриты, хлориды, фосфаты.

Горно-обогатительное производство характеризуется образованием огромного количества твердых отходов, представленных отвалами пустых пород, складами забалансовых руд, хвостохранилищами ГМК, где в основном находятся отходы 4-го и 3-го класса опасности. При этом в гидрогеологической среде:

- изменяется целостность массивов пород, т.е. происходит глубокое нарушение геологической среды;
- образуются антропогенные формы рельефа, характеризующиеся почти полным отсутствием почвенного покрова, растительности, микроорганизмов;
- нарушается гидрологический режим подземных вод;
- изменяется водный баланс всей территории.

Горное производство также способствует выделению определенного количества естественных радионуклидов (ЕРН). Воздействие ЕРН не превышает уровней, установленных «Нормами радиационной безопасности Украины» (НРБУ-97). Согласно п. 8.6.2 НРБУ-97 установлены следующие уровни действий по мощности поглощенной в воздухе дозы (МПД), включая природный радиационный фон:

- 0,26 мкГр/час (0,26 мкЗв/час) – внутри помещений, строений и сооружений, которые проектируются, возводятся и реконструируются для эксплуатации с постоянным пребыванием людей, включая жилые помещения, а также помещения детских, санаторно-курортных и лечебно-оздоровительных учреждений;
- 0,44 мкГр/час (0,44 мкЗв/час) – внутри помещений, строений и сооружений, которые эксплуатируются с постоянным пребыванием людей, включая жилые, за исключением помещений детских, санаторно-курортных и лечебно-оздоровительных учреждений.

Воздействие на почву может происходить вследствие выпадения выбрасываемых предприятием веществ с осадками и осевшей пылью.

## 2.2 ПОЛУЧЕНИЕ ТФЦ И СПЛАВА КТЦ-110

Гидрометаллургический и металлургический переделы циркониевого концентрата с получением слитков сплава кальциетермического циркония осуществляются на ГНПП «Цирконий». Здесь же выпускают лигатуры и сплавы на основе циркония и гафния с медью, никелем, алюминием, железом; химические соединения широкого спектра на основе циркония и гафния, такие как карбонат

циркония, диоксиды циркония разных марок, оксинитрат циркония, оксихлорид циркония, ацетат циркония.

Сырьем для производства является циркониевый концентрат, получаемый на ВГМК.

### Источники воздействия на ОПС

Источники выбросов в атмосферу – следующие технологические процессы:

- при операциях вскрытия циркониевого концентрата, измельчения и рассева тетрафторидов циркония и гафния, сублимационной очистки тетрафторидов, кальциетермического восстановления фторидов циркония, сушки, рассева и обжига оксида циркония в атмосферу выделяются пылеобразные соединения циркония и пыль циркониевого концентрата;
- выщелачивание, синтез, упаривание, сублимация, термическое восстановление, рафинировочный переплав способствуют выделению газообразных оксидов азота, фтористого водорода, аммиака, паров и аэрозолей азотной, плавиковой кислот и этилового спирта;
- процессы экстракционного разделения циркония и гафния обуславливают выделение паров и брызг органического экстрагента – раствора трибутилфосфата в углеводородном сырье (керосине).

От имеющихся на предприятии источников выбросов всего в атмосферу поступает 35 загрязняющих веществ, в т.ч. и канцерогенных.

Максимальный долевым вклад предприятия в приземные концентрации загрязняющих веществ атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ), равной 1000 м, вносили выбросы неорганической пыли ( $\text{SiO}_2$ ) – 70–20 %, что составляло, с учетом применения пылегазоочистного оборудования, 0,21 ПДВ для населенных мест.

К жидким отходам производства относятся:

- раствор соды, содержащий ~80 г/дм<sup>3</sup>  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 30 г/дм<sup>3</sup>  $\text{NaOH}$ , 20 г/дм<sup>3</sup>  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (направляется на производство минеральных удобрений);
- азотнокислый раствор, содержащий 300 г/дм<sup>3</sup>  $\text{HNO}_3$ , 40 г/дм<sup>3</sup>  $\text{NaNO}$  (направляется на производство минеральных удобрений на государственное предприятие «Приднепровский гидрометаллургический завод» (ПГМЗ) или регенерацию азотной кислоты);
- щелочной раствор с концентрацией  $\text{NaOH}$  ~150 г/дм<sup>3</sup> (направляется на производство минеральных удобрений на ПГМЗ или регенерацию гидроксида натрия);
- раствор аммиачной селитры с концентрацией  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  150–200 г/дм<sup>3</sup> (направляется в хвостохранилище ПГМЗ);
- маточные растворы узла осаждения моногидрата тетрафторида циркония, концентрация



$\text{HNO}_3$  600–650 г/дм<sup>3</sup> (направляются в хвостохранилище ПГМЗ);

- фильтраты отмывки гидроксида циркония, отходящие растворы с установок регенерации азотной кислоты и гидроксида натрия, отработанные растворы газоочистки, смывы с полов, пульпа силиката кальция с участка щелочного вскрытия циркониевого концентрата нейтрализуются известковым молоком и сбрасываются в хвостохранилище ПГМЗ. Общее содержание пульпы составляет 100 г/дм<sup>3</sup>. Твердая фаза представлена в основном силикатом, а также карбонатом кальция и натрия.

Производственные сточные воды, удовлетворяющие техническим требованиям, направляются на повторное использование. Хозяйственно-бытовые стоки – в существующую систему канализации предприятия, а затем в городские очистные сооружения. Поверхностные стоки поступают в систему ливневой канализации бывшего ПО «Приднепровский химический завод» (ПХЗ), а затем сбрасываются в р. Коноплянку. Объем дождевых стоков с территории ГНПП «Цирконий» при этом составляет 15 %.

Таким образом, производственная деятельность ГНПП «Цирконий» не предусматривает сброса производственных и неочищенных бытовых стоков в гидрографическую сеть. Формирование состава подземных вод и поверхностного стока осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков через загрязненные насыпные грунты, подтока загрязненных вод с вышележащих территорий, утечек из водопроводных коммуникаций. Загрязнение гидрологической сети за счет утечек из хвостохранилищ нельзя рассматривать как прямое следствие деятельности ГНПП «Цирконий», поскольку его стоки в формировании отвалов составляют сотые доли процента.

К твердым отходам производства относятся:

- стружка после механической обработки слитков, возгоны от плавильных печей, мелочь гарнисажа после кальциетермического восстановления. Направляются на химическую переработку, осуществляемую путем растворения их в плавиковой кислоте, с последующим возвратом образующейся фторциркониевой кислоты на осаждение моногидрата тетрафторида циркония;
- фтористый кальций (шлак), образующийся при кальциетермическом восстановлении тетрафторида циркония, который отправляют на склад как товарную продукцию.

Источниками радиационного воздействия на население и ОПС при функционировании циркониевого производства являются выбросы производственной пыли и

аэрозолей, содержащих в себе ЕРН уранового и ториевого ряда. Удельная активность пыли концентрата составляет  $6,5 \cdot 10^{-7}$  Ки/кг, содержание урана-238 – 440 Бк/кг, радия-226 – 2507 Бк/кг, тория-232 – 510 Бк/кг. В процессах выщелачивания, экстракции, упарки азотнокислых растворов также участвуют технологические среды, содержащие радионуклиды. Годовая активность выбросов в атмосферный воздух в 1998–2002 гг. составляла по урану-238 –  $1,5 \cdot 10^5$  Бк, по радия-226 –  $8,4 \cdot 10^5$  Бк, по торю-232 –  $1,7 \cdot 10^5$  Бк. Годовой объем радионуклидов в общем объеме хвостовой пульпы – по урану-238 –  $3,1 \cdot 10^8$  Бк, торю-232 –  $3,8 \cdot 10^8$  Бк, радия-226 –  $1,77 \cdot 10^9$  Бк, калию-41 –  $2,7 \cdot 10^7$  Бк. В твердой фазе хвостовой пульпы содержится 90 % радионуклидов.

Численные значения годовой дозы облучения лиц, которые входят в критические группы, на границе СЗЗ не превышали для:

- новорожденных –  $2,6 \cdot 10^{-3}$  мЗв/год;
- детей –  $1 \cdot 10^{-3}$  мЗв/год;
- взрослых –  $2,64 \cdot 10^{-3}$  мЗв/год.

Это значительно меньше предела дозы облучения в 1 мЗв/год, установленного для категории В, и не превышает 6,6% от квоты предельной дозы облучения в 40 мкЗв/год, установленной для соответствующих радиационно-ядерных объектов санитарно-гигиеническими нормами НРБУ-97. Выпадение пыли циркониевого концентрата, содержащего ЕРН, приведет к приращению суммарной удельной альфа-активности почвы за год –  $8,1 \cdot 10^{-4}$  Бк/кг, за 20 лет –  $1,62 \cdot 10^{-2}$  Бк/кг (естественный фон местности – 759–959 Бк/кг).

Воздействие на геологическую среду может быть связано со строительством зданий и водопроводных коммуникаций, что не окажет на нее существенного влияния. Загрязнение почвы может происходить вследствие выпадения осадков и оседания пыли. Расчетные значения выпадений загрязнителей от источников производства циркония ниже нормативных, критических и средне-статистических значений [17, 18].

### 2.3 ПРОИЗВОДСТВО МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ (ТРУБЫ, ПРУТКИ, ЛЕНТЫ)

В настоящее время в Украине нет полноценного производства циркониевого проката, труб и ленты. Однако отдельные технологии разрабатываются ННЦ ХФТИ, ДЗПТ.

#### Источники воздействия на ОПС

Осуществление технологического процесса на данной стадии приводит к выделению в атмосферу следующих основных компонентов:

- паров веществ, используемых при травлении, осветлении, обезжиривании, омеднении проката (азотная,

плавиковая, серная кислоты, медный купорос, едкий натр, соли натрия, этиловый спирт и др.). Особенно интенсивно вредные вещества выделяются в процессах кислотного и щелочного травления, при этом они находятся в виде тонкодисперсного тумана, паров и газов. При проведении механической очистки и обезжиривании поверхностей выделяются пыль, туманы щелочей. Анализ дисперсного состава туманов показал, что размер частиц находится в пределах 5–6 мкм при травлении;

- паров и продуктов горения масла, аммиака и т.д. в результате термических процессов;
- пыли, туманов, масел и эмульсий, выделением которых сопровождается механическая обработка металлов на станках. От оборудования резки и шлифовки выделяется пыль циркониевых сплавов с абразивом;
- пыли и вредных газов. На участках резки металлов состав и масса выделяющихся вредных веществ зависят от вида и режимов технологического процесса. Пыль представляет собой конденсат оксидов металлов, размер частиц которого не превышает 2 мкм. При газовой резке обычно выделяются оксид углерода и оксиды азота, а при плазменной резке образуется еще и озон;
- пыли, которая выделяется в случае нарушения герметизации хранения складированной абразивно-металлической пыли [19].

Жидкими отходами производства являются следующие растворы:

- азотно-плавиковые, азотнокислые травильные растворы и растворы электрохимического омеднения и оксидирования, направляемые на установку регенерации травильных отходов;
- промывные воды, направляемые для сорбционной очистки на установку химводоподготовки;
- обезжиривающий раствор и смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), направляемые на установку ультрафильтрации. Фильтрат используется в приготовлении растворов, концентрат фильтрации СОЖ – как добавка к топливу.

Твердые отходы производства:

- пресс-остатки, обрезки и стружка направляются на переработку;
- абразивно-металлическая пыль не утилизируется, предполагается ее хранение на территории завода в герметичных контейнерах;
- щелочной расплав используется в приготовлении шлакощелочных бетонов;
- шлам водоподготовки направляется на изготовление стеновых камней.

Как и при изготовлении сплавов, отсутствует осязаемое влияние прокатного производства на геологическую и водную среду. Загрязнение почв может происходить за счет выпадения осадков [18].

### 3 АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦИРКОНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Полученная характеристика производства циркония осуществлена на основе данных о деятельности предприятий с 1998 по 2003 гг. Этот период характеризуется небольшими мощностями выпуска циркониевой продукции, что и нашло свое отражение в незначительном воздействии производств на окружающую природную среду. При наращивании мощностей ожидаются изменения количественных показателей воздействия, однако качественные характеристики, при условии отсутствия смены технологии, останутся неизменными.

Анализ технологических характеристик предприятий циркониевой отрасли позволил выделить основные факторы их воздействия на природную и социальную среду (таблица 1).

Дальнейшая оценка влияния на ОПС должна производиться с учетом комплексной добычи на ВГГМК циркония совместно с рядом сопутствующих руд.

### ВЫВОДЫ

Проведенный анализ факторов воздействия циркониевого производства на ОПС показал, что основными следует считать выбросы предприятий в атмосферный воздух. При этом объектом ОПС, подверженным негативному воздействию, будет атмосфера.

Результаты работы свидетельствуют о благоприятной экологической политике на предприятиях циркониевого цикла. Однако наращивание мощностей производства может изменить сложившуюся ситуацию и привести к росту количественных характеристик негативных факторов. Данный сценарий является недопустимым в связи с высокой техногенной нагрузкой и неблагоприятной экологической обстановкой на территории размещения предприятий [20, 21].

Для более рационального планирования развития циркониевой составляющей ЯТЦ в дальнейшем необходима оценка риска атмосферных загрязнений для здоровья населения с дифференциацией его значений во времени и пространстве при разной степени воздействия (наращивание мощностей, изменение технологии).



Таблица 1 – Факторы воздействия производства на окружающую природную среду

| Объект окружающей природной среды   | ВГГМК  | ГНПП «Цирконий»  | ДЗПТ   |
|---|--|--|--|
| Геологическая среда   | Глубокое нарушение (горное производство)   | Прямого влияния не наблюдается   | Прямого влияния не наблюдается   |
| Гидрологическая среда:<br>• подземные воды<br><br>• поверхностные водоемы | Нарушение режима (горное производство)<br>Загрязнение:<br>– хлориды, сульфаты, азот аммонийный (утечки из хвостохранилищ)<br>Прямого влияния не наблюдается              | Прямого влияния не наблюдается   | Прямого влияния не наблюдается   |
| Атмосфера (выбросы загрязняющих веществ)                                  | Пыль, оксид углерода (горно-обогатительное производство) $\text{SOCl}_2$ , хлор, хлористый водород, серная кислота, аммиак, ксилол, пыль (металлургическое производство) | Оксид железа, диоксид азота, оксид углерода, аммиак, пыль неорганическая ( $\text{SiO}_2$ ) 70–20 %, азотная кислота, фтористый водород, гидроксид натрия, хром и его соединения, бенз(а)пирен | Азотная кислота, фтористый водород, серная кислота, гидроксид натрия, пыль циркониевых сплавов с абразивом |
| Почва   | Нарушение покрова  | Существенного влияния не наблюдается   | Существенного влияния не наблюдается   |

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Неклюдов, И.М.** Состояние и проблемы атомной энергетики в Украине [Текст] / И.М. Неклюдов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. ФРПРМ / ННЦ Харьковск. физ.-тех. ин-т. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2007. – № 2 (90). – С. 3–9.
2. Стратегия развития ядерной энергетики в Украине на период до 2030 года и на дальнейшую перспективу (проект) [Текст]. – Киев, 2005. – 34 с.
3. **Большов, Л.А.** Ядерные технологии и экологические проблемы России в XXI веке [Электронный ресурс] / Л.А. Большов, Р.В. Арутюнян, И.И. Линге, Л.М. Воробьева, С.В. Казаков, О.А. Павловский, М.Н. Кобринский, И.А. Осипьянц. – [www.ibrae.ac.ru/russian/site\\_eco/nuc\\_tech\\_2001.html](http://www.ibrae.ac.ru/russian/site_eco/nuc_tech_2001.html).
4. **Ваганів, П.А.** Ядерний ризик [Текст] / П.А. Ваганів. – 1997. – 110 с.
5. **Ильин, Л.А.** Онкологическая «цена» тепловой и атомной электроэнергии [Текст] / Л.А. Ильин, В.А. Книжников, Н.К. Шандала, В.А. Княжев, В.А. Комлева. – М.: Медицина, 2001. – 240 с.
6. **Коваленко, Г.** Радиоэкология Украины [Текст] / Г. Коваленко, К. Рудя. – Киев: Киевский университет, 2001. – 166 с.
7. **Кревитт, В.** Сравнение риска от различных источников электроэнергии [Текст] / В. Кревитт, Р. Фридрих // Атомная техника за рубежом. – 1998. – № 5. – С. 15–21.
8. **Beverly, R.G.** Waste management and uranium. Int. simp. Radiation Protection in Mining of Uranium and Thorium / R.G. Beverly. – Bordeaux, 1974.
9. United States Environmental Protection Agency. Environmental Analysis of the Uranium Fuel Cycle. Part 1. – Report EPA-520/9-73-003-B. – 1973.
10. **Иванов, Е.А.** Методологические аспекты оценки риска для населения региона АЭС с учетом возможных радиационных аварий [Текст] / Е.А. Иванов, Л.П. Хамьянов // Атомная энергия. – 1997. – Т. 83. – Вып. 3. – 222 с.
11. **Фроггатт, Э.** Ядерный реактор как источник опасности [Текст] / Энтони Фроггатт // Публикация, посвященная ядерным проблемам. – Heinrich Boll Foundation. – 2005. – № 2.
12. **Bychkov, A.V.** Pyroelectrochemical reprocessing of irradiated FBR MOX fuel. Global'97 / A.V. Bychkov. – Japan, 1997. – V. 2. – P. 912–917.
13. Радиоактивные отходы Украины. Состояние, проблемы, решения [Текст]. Под ред. Э.В. Собоновича. – Киев, 2003. – 397 с.
14. **Коровин, Ю.Ф.** Производство циркония и гафния на ПО «ПХЗ» для удовлетворения потребностей атомной энергетики Украины [Текст] / Ю.Ф. Коровин, В.Г. Чупринко, К.А. Линд, А.П. Мухачев и др. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. ФРПРМ / ННЦ Харьковск. физ.-тех. ин-т. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 1994. – № 2. – С. 114–124.

15. Ажажа, В.М. Цирконий и его сплавы: технологии производства, области применения. Обзор [Текст] / В.М. Ажажа, П.Н. Вьюгов, С.Д. Лавриенко, К.А. Линд, А.П. Мухачев, Н.Н. Пилипенко – Харьков : ННЦ ХФТИ, 1998.
16. Вольногорский ГМК. Каталог продукции [Текст]. – 2003. – 20 с.
17. Проект ГНПП «Цирконий»: оценка воздействия объектов ГНПП «Цирконий» на окружающую среду. Пояснительная записка [Текст]. – УкрНИИпромтехнологии, 2000.
18. Программа развития производства циркониевых и гафниевых сплавов в Украине. Пояснительная записка [Текст]. – Желтые Воды: УкрНИИпромтехнологии, 1997. – 54 с.
19. Безопасность жизнедеятельности [Текст] / Под. ред. Арустамова Э.А. – М. : Дашков и К, 2000. – 678 с.
20. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища у 2004 р. [Електронний ресурс] / Міністерство навколишнього природного середовища України та Рада по вивченню продуктивних сил України НАН України – HYPERLINK. – <http://www.menr.gov.ua>
21. Обзорная сводка о состоянии здоровья Украины, 2005 [Текст]. – Копенгаген, Европейское региональное бюро ВОЗ. – 2005. – 39 с.

*Поступила в редакцию 10.09.07 г.*

Проаналізовано сучасний стан виробництва цирконію, сплавів, прокату та виробів на його основі для ядерного паливного циклу (ЯПЦ) України. Представлено характеристику технологічних етапів виробництва як факторів негативного впливу на об'єкти навколишнього природного середовища та здоров'я населення.

Present-day condition of manufacture of zirconium, alloys, rolled products and items on its basis for the nuclear fuel cycle (NFC) of Ukraine is analyzed. The characteristic of technological production stages as factors of negative influence on environment and person health is given.