

Исследования могут быть продолжены в рамках инновационных проектов INPRO (Россия) и «Поколение IV» (США) [9].

Авторы выражают благодарность О.А. Городкову за проведение опытов и М.Ю. Гурвичу за изучение химического состава и распределения элементов в образцах.

Настоящая работа выполнена при подготовке предложения по проекту МНТЦ 1974.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стефановский С.В., Никонов Б.С., Омеляненко Б.И. и др. Искусственные плавные материалы на основе цирконолита для иммобилизации радиоактивных отходов. — Физика и химия обработки материалов, 1997, № 6, с. 111—117.
2. Минеев В.Н., Акопов Ф.А., Власов А.С. и др. Оптимизация состава материалов внешних ловушек ядерных реакторов. — Атомная энергия, 2002, т. 93, вып. 5, с. 348—357.
3. Акопов Ф.А., Акопян А.А., Барыкин Б.М. и др. Взаимодействие компонентов расплава с диоксидциркониевой керамикой. — Там же, 1996, т. 81, вып. 5, с. 468—471.
4. Nie M. Application of sacrificial concrete for retention and conditioning of molten corium in EPR melt retention concept. — In: Proc. of OECD Workshop on Ex-Vessel Debris Coolability, Karlsruhe, 15—18 Nov., 1999, p. 527—534.
5. Тяжелые аварии на ВВЭР-1000 для четвертого блока Балаковской АЭС. Отчет ИАЭ по проекту TASIC R2.06/95, 1998.
6. Смольянинов Н.А. Практическое руководство по минералогии. М.: Госгеолтехиздат, 1955.
7. Минеев В.Н., Акопов Ф.А., Петров В.А. и др. Оценка тепловых режимов плоской ловушки из диоксидциркониевой керамики при тяжелой аварии реактора. — Атомная энергия, 2001, т. 91, вып. 1, с. 13—19.
8. Кухтевич И.В., Безлепкин В.В., Грановский В.С. и др. Концепция локализации расплава кориума на внекорпусной стадии запроектной аварии АЭС с ВВЭР-1000. — Теплоэнергетика, 2001, № 9, с. 27—35.
9. Пономарев-Степной Н.Н., Кузнецов В.В., Гагаринский А.Ю. и др. Будущее ядерной энергетики: энергия, экология, безопасность. — Атомная энергия, 2002, т. 93, вып. 5, с. 328—342.

Поступила в Редакцию 29.04.03

УДК 621.039.8.002:621.039.554

#### ВОЗМОЖНОСТИ НАРАБОТКИ РАДИОНУКЛИДОВ НА АЭС С РБМК

*Борщев В.П., Жуков И.В., Мельников О.П., Рождественский М.И.,  
Черкашов Ю.М. (НИКИЭТ), Бурлаков Е.В., Кватор В.М. (РНЦ «Курчатовский ин-т»),  
Горбунов Е.К., Лебедев В.И., Фурсов А.Н., Шевченко В.Г. (Ленинградская АЭС),  
Кузнецов В.Ю., Миронов Ю.И., Романенко В.И., Ряховских В.И.  
(Московский завод полиметаллов)*

Наряду с основным назначением в РБМК можно облучать материалы для придания им новых свойств и получения разных радионуклидов. Это обусловлено возможностью одновременного облучения разных образцов, наличием многих мест облучения в активной зоне и вблизи нее, плотностью потока нейтронов, его спектром и равномерностью распределения, использованием для облучения, в основном, нейтронов утечки и возможностью загрузки и выгрузки образцов на работающем

реакторе. Перечисленные особенности РБМК позволяют обеспечивать близкие к оптимальным условия облучения без ограничений эксплуатации по основному назначению — производству электроэнергии.

В настоящей статье рассмотрено радиационное легирование кремния в РБМК, наработка  $^{60}\text{Co}$  и других радиоизотопов для научного, медицинского и промышленного применения.

**Радиационное легирование кремния.** Для этого РБМК имеет нужные характеристики плотности потока тепловых нейтронов и соотношение количества тепловых и быстрых нейтронов энергией более 1 МэВ. Первая характеристика определяет время облучения кремния, необходимое для обеспечения нужной электропроводности, вторая — степень деформации кристаллической решетки, обусловленной смещением атомов кремния быстрыми нейтронами. Большая высота активной зоны РБМК (7 м) позволяет облучать образцы кремния длиной до 3 м с осевой неравномерностью облучения 5—10%.

Образцы кремния помещают в реактор в специальном облучательном устройстве. Для получения кремния с заданными свойствами требуется флюенс нейтронов  $5 \cdot 10^{16}$ — $5 \cdot 10^{18}$  см $^{-2}$  в зависимости от исходной и конечной электропроводности. Облучательное устройство можно размещать в одном или нескольких каналах, входящих в контур охлаждения СУЗ. В случае размещения кремния в средней по высоте части канала СУЗ облучение при номинальной мощности характеризуется следующими параметрами:

плотность потока тепловых нейтронов  $\sim 10^{14}$  с $^{-1}$ ·см $^{-2}$ ;

время облучения — от 10 мин до 16 ч (в большинстве случаев оно составляет 1—1,5 ч);

соотношение количества тепловых и быстрых нейтронов 30—50;

неравномерность плотности потока тепловых нейтронов по сечению кремния ~2%, обусловленная самопоглощением и азимутальной неравномерностью падающего потока.

Кремний в РБМК впервые облучили в начале 80-х годов. Успешные результаты явились поводом для обоснования ядерной безопасности процесса радиационного легирования кремния при внедрении в опытно-промышленную эксплуатацию. Рассматривалось легирование кремния не только в канале СУЗ, расположенном в активной зоне реактора, но и в канале пусковой камеры деления как для штатного, так и увеличенного до 103,5 мм внутреннего диаметра облучательного канала. Для этого было установлено по одному каналу увеличенного диаметра в реакторы первой очереди Смоленской АЭС и по два таких канала во все реакторы Ленинградской АЭС.

В настоящее время практические работы по радиационному легированию кремния ведут на Ленинградской АЭС. Возможно облучение образцов кремния диаметром до 65 мм в штатном канале и до 85 мм в канале увеличенного диаметра. Для повышения допустимого диаметра мишеней решено установить большой канал на стыке четырех графитовых блоков 2-го и 3-го рядов отражателя (за счет среза их углов). В таком канале можно облучать образцы диаметром до 305 мм. Сейчас эти каналы устанавливают в реакторы 1-го и 3-го энергоблоков. Ввиду значительного перекаса плотности потока тепловых нейтронов в области большого

канала помещенный в него кремний будет иметь существенную азимутальную неравномерность облучения. Она может быть устранена вращением облучательного устройства. При облучении слитков кремния большого диаметра велика и радиальная неравномерность плотности потока тепловых нейтронов за счет самопоглощения нейтронов в кремнии. Для достижения приемлемой неравномерности по радиусу мишени (не более 1%) планируется изучение возможности облучения кремния в виде слоистой мишени, которая состоит из пластин кремния, чередующихся с пластинами слабоактивируемого материала, демпфирующего неравномерность.

**Наработка радионуклидов медицинского и технического назначения.** Технология производства радионуклидов в РБМК отработана и внедрена на Ленинградской АЭС в начале 90-х годов. Для этого были изучены условия и особенности получения радионуклидов, характеристики нейтронного поля в различных каналах реактора, влияние загружаемых пеналов со стартовыми мишенями на нейтронно-физические характеристики реактора, радиационные характеристики различных материалов пеналов после их облучения. Были определены оптимальные режимы облучения и выдержки мишеней после облучения, оценена возможность повышения удельной активности нарабатываемых радионуклидов снижением эффектов пространственного самоэкранирования (за счет использования мишеней уменьшенных размеров, высокообогащенных основным стартовым нуклидом и содержащих малое количество побочных поглотителей), разработаны методики контроля физических параметров мишеней в процессе облучения и контроля накопленного продукта, установлена линейная зависимость между удельной активностью радионуклида и мощностью ближайших ТВС. Это позволило определять удельную активность по приросту энерговыработки таких ТВС и обходиться без индикаторов сопровождения и выходного контроля удельной активности получаемого радионуклида.

Проведены дополнительные экспериментальные исследования для уточнения вклада резонансных нейтронов в активность мишеней, а также расчеты изменения реактивности при загрузке пеналов с различными облучаемыми материалами в активную зону, тепловыделения в образцах и температуры их разогрева. Результаты исследований использованы для обоснования технических условий на несколько вариантов облучательных устройств.

В 1994 г. НИКИЭТ разработал задание на выпуск технического проекта облучательного комплекса и рабочей конструкторской документации. В задании предусматривалось рассмотреть облучательные устройства, предназначенные для размещения разных стартовых материалов. В 1997 г. в НИКИЭТе и РНЦ «Курчатовский институт» проведены расчеты по определению влияния на нейтронно-физические характеристики реакторов установки облучательных устройств, содержащих стартовые материалы для накопления  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{125}\text{I}$  и некоторых радионуклидов медицинского и промышленного назначения ( $^{35}\text{S}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{86}\text{Rb}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{145}\text{Sm}$ ,  $^{153}\text{Gd}$ ,  $^{182}\text{Ta}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ). Выполнены также расчеты радиационного энерговыделения в облучаемых материалах и элементах конструкции облучательных устройств.

Для накопления  $^{99}\text{Mo}$  используют пеналы из титанового сплава ВТ1-0, содержащие триоксид молибдена ( $\text{MoO}_3$ ) с природным молибденом и обогащенным до 99%  $^{98}\text{Mo}$ . Эти пеналы размещают в каналах активной зоны реактора. Для накопления  $^{125}\text{I}$  пеналы из алюминиевого сплава АД-16 устанавливают в сухие гильзы ка-

нала камеры деления, внутри каждого пенала расположены по высоте три ампулы из оптического кварца, содержащие газообразный ксенон, обогащенный до 99,45%  $^{124}\text{Xe}$ .

Радиоизотопы медицинского и промышленного назначения накапливают в сухих гильзах каналов, расположенных в активной зоне и отражателе. В качестве стартовых материалов используют химические соединения элементов-родоначальников нарабатываемых изотопов как природного изотопного состава, так и обогащенных основным изотопом.

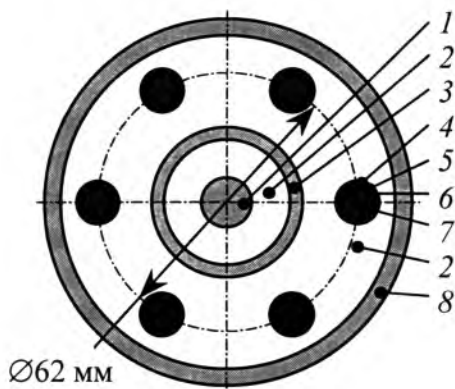
В 2001—2002 гг. исследовалась наработка в каналах увеличенного диаметра реакторов Ленинградской АЭС  $^{14}\text{C}$  и  $^{35}\text{S}$ . Для производства  $^{14}\text{C}$  в каналы загружают облучательные устройства с нитридом алюминия, нитратом кальция или его смесью с нитратом натрия. Стартовым материалом при получении  $^{35}\text{S}$  служит порошок  $\text{NaCl}$ , помещаемый в герметичный пенал.

Для наработки радионуклидов обоснована безопасность и оформлены Технические решения о внедрении облучательных устройств для накопления радиоизотопов в опытно-промышленную эксплуатацию на всех реакторах Ленинградской АЭС.

**Нароботка  $^{60}\text{Co}$ .** На Ленинградской АЭС проведены расчеты и эксперименты по изучению возможности наработки  $^{60}\text{Co}$ . Для практического осуществления выбран вариант размещения облучательных устройств с кобальтом в каналах контура многократной принудительной циркуляции вместо части ТВС, отличающийся простой реализацией и возможностью нарабатывать приемлемое количество  $^{60}\text{Co}$  за счет использования большого числа каналов (20—30 на реактор).

На Государственном предприятии «Московский завод полиметаллов» совместно с НИКИЭТом разработана конструкция соответствующего облучательного устройства. При этом проводили его прочностные, вибрационные и гидравлические испытания, большое внимание уделяли герметичности ампул с кобальтом, надежности защитного покрытия кобальтовых таблеток и работоспособности облучательного устройства в целом. Для этого выполнен комплекс работ по отработке режимов и видов сварки, способу нанесения и выбору типа защитного покрытия, проведены вибрационные и термоциклические испытания ампул с таблетками  $^{59}\text{Co}$ .

Облучательное устройство для накопления  $^{60}\text{Co}$  представляет собой сборку из 16 поглощающих звеньев, нанизанных на центральный несущий стальной стержень. Каждое звено состоит из шести поглощающих элементов высотой по 440 мм, равномерно расположенных по окружности диаметром 62 мм. В качестве поглощающих элементов двух верхних и двух нижних звеньев («холостые» звенья), размещаемых по краям активной зоны в области относительно низкого нейтронного потока, использованы стальные стержни диаметром 11,6 мм. Поглощающий элемент остальных 12 звеньев («рабочих») представляет собой герметичный стальной трубчатый пенал, в который вложены две герметичные трубчатые ампулы с таблетками  $^{59}\text{Co}$ . Поперечное сечение облучательного устройства, используемого на Ленинградской АЭС, в месте расположения рабочего звена показано на рис. 1. Длина ампулы 210 мм, толщина кобальтовой таблетки 1,5 мм. Масса кобальта в ампуле составляет 64 г, в облучательном устройстве — 9,23 кг.



Р и с. 1. Поперечное сечение канала с облучательным устройством: 1 — стальной стержень диаметром 12 мм; 2 — вода контура многократной принудительной циркуляции; 3 — стальная труба размером 36×3 мм; 4 — стальной пенал размером 10,4×0,8 мм; 5 — воздух; 6 — стальная ампула размером 8,2×0,6 мм; 7 — кобальтовые таблетки диаметром 6,8 мм; 8 — канальная труба из циркониевого сплава Э-125 размером 88×4 мм

кобальтом сохраняют герметичность, доказана надежность конструкции облучательного устройства. Это, в частности, показало исследование состояния облучательного устройства, извлеченного из реактора в феврале 1996 г. после наработки 311 эф. сут.

В итоге были приняты технические решения о внедрении в опытно-промышленную эксплуатацию облучательных устройств для наработки  $^{60}\text{Co}$  с установкой их по 20—30 в каждый реактор Ленинградской АЭС взамен эксплуатирующихся дополнительных поглотителей. Небольшое увеличение парового коэффициента реактивности за счет замены дополнительных поглотителей на облучательные устройства компенсируется установкой части облучательных устройств вместо ТВС.

Согласно расчетам к концу запланированного срока облучения (5 лет) в облучательном устройстве достигается средняя удельная активность  $\sim 60$  Ки/г, в большинстве поглощающих элементов —  $\sim 70$  Ки/г. Расчетные данные об активности кобальтовых облучательных устройств были подтверждены экспериментально, что позволило определить практические возможности РБМК по производству  $^{60}\text{Co}$ .

Спрос на кобальтовые источники более высокой удельной активности ( $\sim 100$  Ки/г) потребовал проведения расчетных исследований по модернизации конструкции облучательного устройства для повышения скорости накопления  $^{60}\text{Co}$ . Это может быть достигнуто частичным разблокированием облучаемых таблеток за счет уменьшения количества кобальта в облучательном устройстве. В исходной конструкции облучательного устройства такое разблокирование можно осуществить разрежением кобальта как по радиусу, так и высоте. В первом случае ампулы с кобальтом размещают в трех поглощающих элементах из шести (три другие заполнены водой) при сплошной загрузке кобальтовых таблеток, во втором — во

Опытная партия из шести таких облучательных устройств установлена в реактор 4-го энергоблока в январе—феврале 1995 г. для определения возможности наработки кобальта приемлемой активности, проверки надежности облучательного устройства и отработки технологии получения кобальтовых источников. В течение всего периода эксплуатации облучательных устройств в РБМК контролировали физические параметры реактора (паровой коэффициент реактивности, мощность и запас до кризиса теплообмена топливных каналов, окружающих облучательные устройства), а также параметры облучения и герметичность ампул с кобальтом. Анализ данных показал, что эксплуатация опытной партии облучательных устройств не приводит к изменениям нейтронно-физических характеристик реактора и не оказывает отрицательного влияния на ядерную и радиационную безопасность. Ампулы с

всех шести поглощающих элементах, но таблетки в них чередуют прокладками из циркония такой же толщины, как и таблетки. Из предварительных расчетов следовало, что в каждом из этих вариантов без изменения конструкции облучательного устройства достигается выигрыш в накопленной удельной активности  $^{60}\text{Co}$  на 20—30%. Проведенные позже расчеты показали, что за 5 лет работы реактора при коэффициенте использования установленной мощности 0,8 (1460 эф. сут) в облучательных устройствах с разрежением по радиусу будет достигнута средняя удельная активность кобальта 69 Ки/г, в облучательных устройствах с разрежением по высоте — 86 Ки/г.

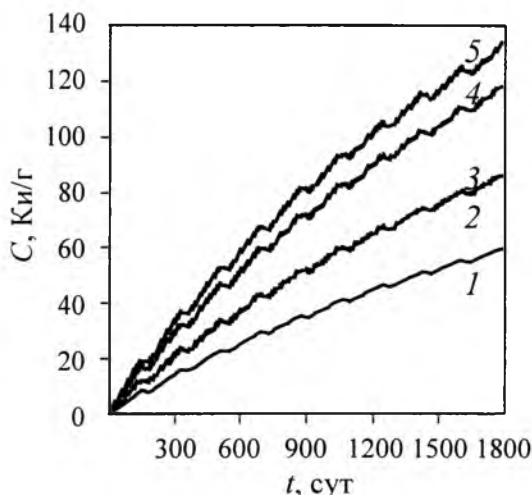
В настоящее время сложилась благоприятная ситуация для существенного увеличения поставок  $^{60}\text{Co}$  на мировой рынок. Для ускоренной наработки кондиционного  $^{60}\text{Co}$  в 2000 г. заключен договор о наработке  $^{60}\text{Co}$  на Ленинградской АЭС для его последующего использования при производстве источников на ПО «Маяк». С этой целью ПО «Маяк» разработал и в настоящее время производит ампулы для облучения кобальта (изотопные блоки ЛА-1), которые можно размещать на Ленинградской АЭС в облучательных устройствах описанной конструкции. Основное отличие ампулы ЛА-1 от ампулы Государственного предприятия «Московский завод полиметаллов» заключается в уменьшении толщины ее оболочки с 0,6 до 0,45 мм и увеличении диаметра кобальтовых таблеток с 6,8 до 7 мм.

Была проанализирована разреженная по высоте загрузка кобальта в ампулы ЛА-1 путем чередования кобальтовых таблеток и циркониевых прокладок в соотношении 1:1. Расчет показал, что при указанных условиях облучения средняя удельная активность  $^{60}\text{Co}$  достигает 85 Ки/г (для большинства ампул около 100 Ки/г), что на 42% больше по сравнению с облучательным устройством со сплошной загрузкой.

Для получения более высокой удельной активности было рассмотрено несколько вариантов конструкции облучательных устройств барабанного типа, в которых определенное количество кобальта (6,6, 2,46 или 2 кг) размещено в периферийной по радиусу части облучательного канала. Расчеты показали, что в РБМК средняя удельная активность  $^{60}\text{Co}$  в таких облучательных устройствах с малым содержанием кобальта может достигать 100 Ки/г за время облучения менее 5 лет — за 1400 календарных суток (3,83 года) при 2,46 кг кобальта и за 1180 суток (3,23 года) при 2 кг. Скорость накопления удельной активности при 6,6 кг кобальта совпадает с соответствующей величиной для исходной конструкции облучательного устройства с разрежением по высоте, в которой содержится 4,6 кг кобальта (рис. 2).

**Ядерная и радиационная безопасность при производстве радиоизотопной продукции.** При обосновании безопасности производства той или иной изотопной продукции на РБМК первостепенное внимание уделялось влиянию установки в них соответствующих облучательных устройств с исходным материалом-наработчиком на нейтронно-физические характеристики и обеспечению ядерной и радиационной безопасности. Расчетный анализ получения радиоизотопных материалов показал:

установка облучательных устройств не оказывает заметного влияния на физические и динамические характеристики реактора либо изменение этих характеристик не приводит к их ухудшению;



Р и с. 2. Зависимость средней удельной активности кобальта от времени нахождения в реакторе для исходной конструкции облучательного устройства (1), облучательного устройства с разреженной по высоте загрузкой кобальта (2) и барабанного типа с загрузкой кобальта 6,6 (3), 2,46 (4) и 2 кг (5)

при аварийной потере теплоносителя в контуре охлаждения СУЗ и срабатывании аварийной защиты, останавливающей реактор до начала обезвоживания каналов в пределах активной зоны, максимальная температура элементов канала с облучательным устройством также не превышает предельно допустимых значений;

в случае возможных выбросов накопленных радионуклидов при авариях с обезвоживанием канала с облучательным устройством даже при самых консервативных допущениях доза внутреннего облучения населения на границе санитарно-защитной зоны (на расстоянии 3 км от АЭС) значительно ниже допустимой.

Таким образом, можно констатировать, что наработка радиоизотопов на Ленинградской АЭС не снижает ядерную и радиационную безопасность. К таким выводам пришли специалисты предприятий, использующие различные расчетные методики и программы.

**Оценка объемов наработки радиоактивных материалов на Ленинградской, Смоленской и Курской АЭС.** При указанных размерах загружаемых в облучательный канал образцов кремния и времени его облучения ~1 ч с учетом затрат времени на загрузку-выгрузку контейнера, планово-предупредительный ремонт и перегрузку топлива, а также желательного по условиям радиационной безопасности периода проведения работ по облучению кремния (в ночное время) годовая производительность составит до 10 т на один облучательный канал РБМК-1000.

Объемы производства радиационно-легированного кремния и радионуклидов медицинского и промышленного назначения можно существенно расширить за счет внедрения освоенной на Ленинградской АЭС радиационной технологии на Смоленской и Курской АЭС. Это позволит производить радиофармпрепараты не только для Северо-Западного, но и для Центрального и Южного регионов РФ.

Установка 4—8 каналов увеличенного диаметра в один РБМК даст возможность не только удовлетворить рынок необходимыми для медицины и промышлен-

подкритичность расхоложенного и разотравленного реактора составляет не менее 2%;

эффективность стержней, сбрасываемых в активную зону по сигналу аварийной защиты, не изменяется;

СУЗ позволяет поддерживать регламентированную форму энергораспределения;

условия протекания и последствия проектных аварий не изменяются по сравнению с рассмотренными в Техническом обосновании безопасности реакторной установки РБМК;

в условиях нормальной эксплуатации температура всех элементов облучательного устройства и канала, в котором он установлен, находится в безопасных пределах;

ности радионуклидами, но и увеличить объем услуг по облучению кремния и других материалов и обеспечить при этом гибкость технологического процесса.

При использовании в реакторе 30 кобальтовых облучательных устройств с полной загрузкой суммарная скорость накопления активности на всех энергоблоках Ленинградской АЭС составит 13 МКи/год при средней удельной активности  $^{60}\text{Co}$  60 Ки/г. Использование такого же количества облучательных устройств, но с разрежением кобальта по высоте позволит накапливать 9,6 МКи/год при средней удельной активности  $^{60}\text{Co}$  86 Ки/г, в большинстве мишеней — до 100 Ки/г.

Расширение производства  $^{60}\text{Co}$  может быть достигнуто путем подключения к таким работам Курской и Смоленской АЭС, т.е. всех 11 энергоблоков с РБМК. В этом случае суммарная скорость накопления активности может превысить 26 МКи/год при средней удельной активности 86 Ки/г. Установка во все РБМК по 30 облучательных устройств барабанного типа с загрузкой 6,6 кг кобальта в каждое позволит набирать 37,5 МКи/год с той же средней удельной активностью  $^{60}\text{Co}$ . При загрузке в облучательное устройство 2,46 кг кобальта на всех РБМК ежегодно может набираться более 21 МКи со средней удельной активностью  $^{60}\text{Co}$  100 Ки/г.

**Вывод.** Опыт наработки радиоизотопных материалов на Ленинградской АЭС подтвердил, что в РБМК можно успешно производить важные для народного хозяйства радионуклиды без каких-либо ограничений эксплуатации энергоблока как источника энергии. Анализ производства радиоизотопов доказал его ядерную и радиационную безопасность. Проводятся работы по усовершенствованию облучательных устройств для улучшения качества производимой радиоизотопной продукции. В целях увеличения объемов наработки  $^{60}\text{Co}$  и других социально значимых радионуклидов для медицинской диагностики, а также услуг по облучению кремния целесообразно подключение Курской и Смоленской АЭС к работам по производству радиоизотопной продукции, что позволит АЭС с РБМК в кооперации с другими предприятиями в значительной степени, а по некоторым видам полностью удовлетворить мировые потребности в этой продукции.

Поступила в Редакцию 5.09.03

УДК 621. 039. 763

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В СИСТЕМЕ КРАСНОЯРСКИЙ ГОРНО-ХИМИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ—ЕНИСЕЙ—КАРСКОЕ МОРЕ

*Платовских Ю.А., Сергеев И.В. (ФГУП ЦНИИ им. А.Н. Крылова),*

Кузнецов Ю.В., *Легин В.К. (НПО Радиевый институт им. В.Г. Хлопина),*

*Шишлов А.Е. (Горно-химический комбинат)*

Для оценки радиационного воздействия эксплуатации красноярского Горно-химического комбината на население и окружающую среду необходимо иметь данные о загрязнении участков бассейна Енисея дозообразующими радионуклидами. Поэтому нужна математическая модель переноса радионуклидов, которая позволит определить состояние системы в прошлом до останова проточных реакторов в 1992 г. и в будущем (в процессе самоочищения загрязненных территорий),