ISSN 1729-7516



ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 4(24), ДЕКАБРЬ 2005

Издается с января 2000 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – к.т.н. ТУХВАТУЛИН Ш.Т.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: к.х.н. АРТЕМЬЕВ О.И., БЕЛЯШОВА Н.Н., к.т.н. ГИЛЬМАНОВ Д.Г., д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р. – заместитель главного редактора, д.г.-м.н. ЕРГАЛИЕВ Г.Х., д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К., к.б.н. КАДЫРОВА Н.Ж., к.ф.-м.н. КЕНЖИН Е.А., КОНОВАЛОВ В.Е., д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., к.ф.-м.н. МУКУШЕВА М.К., д.б.н. ПАНИН М.С., к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е., ПТИЦКАЯ Л.Д., к.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П. д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Ж.С. – заместитель главного редактора, д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Н.Ж.

LP-MED X GYELED II)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

4(24) ШЫҒАРЫМ, ЖЕЛТОҚСАН, 2005 ЖЫЛ



RESEARCH AND TECHNOLOGY REVIEW NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSUE 4(24), DECEMBER 2005

В СБОРНИКЕ ОПУБЛИКОВАНЫ СТАТЬИ ПО РАБОТАМ, ПРЕДСТАВЛЕННЫМ НА V ЮБИЛЕЙНУЮ КОНФЕРЕНЦИЮ-КОНКУРС МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ НЯЦ РК (КУРЧАТОВ, 18 – 20 МАЯ 2005 Г.)

На V ежегодной конференции-конкурсе НИОКР молодых ученых и специалистов НЯЦ РК заслушаны 22 работы, в том числе из НЯЦ РК – 2, ИЯФ – 9, ИГИ – 5, ИАЭ – 5, ИРБЭ – 2.

Решением жюри:

Первое место, диплом и денежное вознаграждение присуждено А.А. Мигуновой (ИЯФ НЯЦ РК) за работу «Формирование и исследование массивов регулярных структур в кремниевой матрице для создания фотонных кристаллов и других приложений электроники»

- Два вторых места, дипломы и денежное вознаграждение присуждены:
- Супрунову В.И. (РГП НЯЦ РК) за работу «Расчет индукционного нагрева экспериме тальной кассеты с использованием математической модели растворения материалов»
- Соколовой И.Н. (ИГИ НЯЦ РК) за работу «Анализ вариаций поля поглощения S-волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня»
- Три третьих места, дипломы и денежное вознаграждение присуждены:
- Жолдыбаеву Т.К. (ИЯФ НЯЦ РК) за работу «Энергетическая зависимость полного сечения реакции ^{4,6}Не, ⁷Li+²⁸Si при E=5÷50 МэВ/А»
- Тивановой О.В. (ИЯФ НЯЦ РК) за работу «Закономерности процессов структурно-фазовых превращений и формоизменения на стадии предразрушения металлических поликристаллов с ГЦК-решеткой, облученных нейтронами»
- Колокольцеву М.В. (ИАЭ НЯЦ РК) за работу «Разработка программного обеспечения автоматизации быстродействующей системы измерений параметров жидкого натрия на платформе Windows»
- Пять поощрений, дипломы и денежное вознаграждение присуждены:
- Беляшову А.В. (ИГИ НЯЦ РК) за работу «Моделирование мест проведения подземных ядерных взрывов по данным комплекса сейсмических методов»
- Смирнову А.А., Жумагазыулы Э. (ИГИ НЯЦ РК) за работу «Детектирование и оценка инфразвуковых сигналов в автоматическом режиме»
- Городисскому Д.М. (ИЯФ НЯЦ РК) за работу «Исследование выходов масс и энергий актинидных ядер в реакциях с протонами»
- Красовицкому П.М. (ИЯФ НЯЦ РК) за работу «Эффекты взаимодействия каналированных частиц в области глубоко подбарьерной энергии столкновения»
- Жаканбаеву Е.А. (ИЯФ НЯЦ РК) за работу «Синтез и структура нового интерметаллида Та₃Pb»

Одно поощрение внеконкурсной работы, диплом и приз присуждены Гусеву М. Н. (ИЯФ НЯЦ РК) за работу «Некоторые особенности научной деятельности, создания и реализации интеллектуальной собственности в современных условиях»

Совместным решением жюри и оргкомитета конференции – конкурса

за активное и успешное руководство работой молодых ученых и специалистов в 2001 – 2005 гг. и за вклад в проведение и развитие конференции- конкурса НИОКР молодых ученых и специалистов НЯЦ РК Дипломом почета награждены: зав. лабораторией исследований физико-механических свойств материалов ИЯФ НЯЦ РК Максимкин О.П.; зав. лабораторией ядерных процессов ИЯФ НЯЦ РК, д.ф.м.н. Дуйсебаев А.Д.; директор ИЯФ НЯЦ РК, д.ф.м.н., профессор Кадыржанов К.К.; начальник лаборатории топливных и конструкционных материалов ИАЭ НЯЦ РК Жданов В.С.; начальник отдела безопасности атомной энергетики и испытаний РГП НЯЦ РК Вурим А.Д.; зам. директора ИРБиЭ РК, к.х.н. Артемьев О.И.; начальник аборатории исследований эксплутационных и аварийных режимов РГП НЯЦ РК Зверев В.В.; зам. директора – руководитель Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации ИГИ НЯЦ РК, д.ф.м.н. Михайлова Н.Н.; зав. отделом исследования геоэкологических процессов ИГИ НЯЦ РК Коновалов В.Е.; директор ИАЭ НЯЦ РК Пивоваров О.С.; директор ИРБиЭ НЯЦ РК Птицкая Л.Д.; директор ИГИ НЯЦ РК Беляшова Н.Н.

• в вып. 1, 2005г. (Супрунов В.И).

Часть статей, отражающих содержание работ конкурсантов, опубликована в Вестнике НЯЦ РК ранее: в вып. 3, 2004 г. (Соколова И.Н),

[•] в вып. 4, 2004 г. и вып. 1, 2005 г. (Бакланов В.В., Малышева Е В., Кукушкин И.М.),

СОДЕРЖАНИЕ

ФАЗОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В СЛОИСТОЙ СИСТЕМЕ AI-Be-Fe ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ОТЖИГЕ
Суслов Е.Е., Кадыржанов К.К., Жубаев А.К., Туркебаев Т.Э.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДОВ МАСС И ЭНЕРГИЙ АКТИНИДНЫХ ЯДЕР В РЕАКЦИЯХ С ПРОТОНАМИ
ЭФФЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАНАЛИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ В ОБЛАСТИ ГЛУБОКО ПОДБАРЬЕРНОЙ ЭНЕРГИИ СТОЛКНОВЕНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛНОГО СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ ^{4,6} He, ⁷ Li + ²⁸ Si ПРИ Е=5÷50 МэВ/А
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В ТОНКИХ ФОЛЬГАХ α-ЖЕЛЕЗА С ЦИРКОНИЕВЫМ ПОКРЫТИЕМ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ТОПЛИВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ИВГ.1М НА СПЛАВ U – Мо
ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАССИВОВ РЕГУЛЯРНЫХ СТРУКТУР В КРЕМНИЕВОЙ МАТРИЦЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ И ДРУГИХ ПРИЛОЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОНИКИ
СИНТЕЗ И СТРУКТУРА НОВОГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДА Та ₃ Pb
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПЛАВА СО СТАЛЬНОЙ МОДЕЛЬЮ ДНИЩА СИЛОВОГО КОРПУСА РЕАКТОРА
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ НА СТАДИИ ПРЕДРАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ С ГЦК-РЕШЕТКОЙ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ
ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЛУБИННЫХ ЗОН ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ
ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД ГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСА СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ТЕХНОГЕННАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ЗОНЫ ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН

ДЕТКТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ Смирнов А.А., Жумагазыулы Э.	90
МИГРАЦИЯ ТЕХНОГЕННОГО РАДИОНУКЛИДА ¹³⁷ Ся В ДОЛИНЕ РУЧЬЯ ТАХТАКУШУК НИЗКОГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН	96
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОГО НАТРИЯ НА ПЛАТФОРМЕ WINDOWS Колокольцов М.В.	102
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, СОЗДАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ Гусев М.Н.	110

УДК 539.21:539.12.04

ФАЗОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В СЛОИСТОЙ СИСТЕМЕ AI-Be-Fe ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ОТЖИГЕ

Суслов Е.Е., Кадыржанов К.К., Жубаев А.К., Туркебаев Т.Э.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Методами мессбауэровской спектроскопии исследованы термически индуцированные фазовые преобразования в трехкомпонентной системе, полученной раздельным напылением компонентов магнетронным осаждением алюминия и бериллия на фольгу α-железа. Установлена последовательность фазовых преобразований при изотермическом отжиге при температуре 600°C в интервале времени 5-120 часов.

Введение

Ионные технологии (ионная имплантация, ионно-плазменное осаждение и др.), являясь активными методами формирования поверхностных слоев с высокой адгезией и требуемым химическим составом, позволяют, в принципе, реализовать идею создания физико-химически совместимых многослойных систем [1]. Получение термически стабильных систем с неоднородным распределением фазового состояния по глубине образца и необходимыми приповерхностными свойствами может быть реализовано путем нанесения покрытия и последующей термической обработки материала [2,3]. Ранее [3,4] были исследованы термически индуцированные фазовые преобразования в слоистых системах Fe-Be и Fe-Al, полученных магнетронным осаждением второй компоненты (бериллия и алюминия, соответственно) на фольгу α-железа. Научный и практический интерес представляет изучение трехкомпонентной системы алюминий-бериллий-железо, где бериллий и алюминий являются двумя несмешиваемыми компонентами. В [5] приведены результаты исследования трехкомпонентной слоистой системы (Al+Be)-Fe при изохронном отжиге, которое позволило определить характерную температуру начала фазообразования и показать, что очередность растворения напыленных компонентов в матрице α-Fe зависит от температуры отжига.

Целью настоящей работы явилось исследование методами мессбауэровской спектроскопии с привлечением рентгенофазового анализа фазовых превращений при изотермическом отжиге в объеме αжелеза с алюмобериллиевым покрытием, полученным методом ионно-плазменного осаждения после изотермических отжигов в интервале времени 5-120 часов при температуре 600°С. Объектами исследований были тонкие фольги α-железа с последовательно нанесенными слоями алюминия и бериллия толщинами 0.95 мкм и 1.05 мкм, соответственно.

Материалы и методы исследования

При приготовлении образцов трехкомпонентной системы Al-Be-Fe в качестве подложки была использована фольга α-Fe, прокатанная до толщины 10мкм и подвергнутая рекристаллизационному от-

при температуре 850°C в жигу вакууме 5.10⁻⁶ мм рт.ст. в течение 3 часов. Нанесение алюминия и бериллия на подложку проводилось поочередным распылением с двух мишеней методом магнетронного осаждения. Подложка размещалась на массивном медном держателе, температура которого вместе с подложкой во время напыления не превышала 150°С. Перед осаждением алюминия для лучшей адгезии в едином вакуумном цикле подложка подвергалась травлению ионами аргона. Толщина осажденных слоев определялась по току и времени распыления. Контроль толщины осажденных слоев осуществлялся весовым методом. В эксперименте была использована толщина покрытия, равная 2 мкм и составила для Be 1.05 мкм и для Al 0.95 мкм, соответственно. Изотермические отжиги были проведены при температуре 600°С в течение 5-120 часов.

Для исследования слоистой системы были использованы мессбауэровская спектроскопия и рентгенофазовый анализ. Мессбауэровские исследования выполнены на спектрометре MS1104ME в геометрии «на прохождение» при комнатной температуре. Источником γ -квантов служил ⁵⁷Со в Rh активностью около 50 мКи. Калибровка спектрометра осуществлялась с помощью эталонного образца α -Fe. Обработка экспериментальных спектров проведена с помощью программного комплекса MSTools [6,7]. Рентгенофазовый анализ образцов выполнен на дифрактометре D8 ADVANCE на излучении Си K_{α} . Измерения проведены в геометрии Брэгга-Брентано с обеих сторон образца.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены мессбауэровские спектры ядер ⁵⁷Fe в трехкомпонентной системе Be(1.05 мкм)-Al(0.95 мкм)-Fe(10 мкм) (МС-спектры) после изотермического отжига. Видно, что в общем случае мессбауэровские спектры представляют собой совокупность парциальных спектров магнитоупорядоченного и парамагнитного типа с уширенными резонансными линиями. Каждый из парциальных спектров является суперпозицией большого числа либо зеемановских секстетов, либо квадрупольных дублетов с близкими значениями сверхтонких параметров.



Рисунок 1. МС-спектры ядер ⁵⁷Fe в трехкомпонентной системе Be(1.05мкм)-Al(0.95мкм)-Fe(10мкм) после изотермических отжигов при температуре 600 °C

Такие особенности парциальных спектров являются характерными для локально неоднородных систем [7,8]. В связи с этим обработка и анализ спектров проведен методом восстановления нескольких функций распределения сверхтонких параметров, реализованным в программе DISTRI-M.

На основании анализа литературных данных о сверхтонких параметрах мессбауэровских спектров ядер ⁵⁷Fe для систем Al-Fe и Be-Fe, были восстановлены три независимые функции распределения: одна (A) - квадрупольного смещения ε , две (B и C) - сверхтонкого магнитного поля H_n . Функция распределения квадрупольного смещения $p(\varepsilon)$ и соответствующий ему парциальный спектр парамагнитного типа (A) относятся к атомам Fe в алюминидах железа FeAl_x (x≥2.5). Функция распределения сверхтонкого магнитного поля $p(H_n)$ в диапазоне от 0 до 350 кГс при сдвиге линии $\delta \neq 0$ мм/с (относительно эталона α -Fe) и соответствующий ему спектр магнитоупорядоченного типа (B) относятся к атомам Fe в соединении Fe₃Al и в растворе алюминия в железе α -Fe(Al) с атомами алю-

миния в ближайшем окружении. Функция распределения (B) также относится к интерметаллиду FeBe2 и твердому раствору бериллия в железе α-Fe(Be). Функция распределения сверхтонкого магнитного поля р(H_n) в диапазоне от 310 до 350 кГс при сдвиге линии б≅0мм/с и соответствующий ей спектр магнитоупорядо-ченного типа (С) относятся к атомам Fe в растворе α-Fe(Al) без атомов алюминия в ближайшем окружении и в подложке чистого α-Fe, и твердому раствору бериллия в железе α-Fe(Be) в том же состоянии. Результат восстановления функций распределения сверхтонких параметров парциальных мессбауэровских спектров А, В и С ядер ⁵/Fe в трехкомпонентной системе Be(1.05 мкм)-Al(0.95 мкм)-Fe(10 мкм) показан на рисунке 2.



Рисунок 2. Результат восстановления функций распределения сверхтонких параметров парциальных мессбауэровских спектров А, В и С ядер ⁵⁷Fe в трехкомпонентной системе Be(1.05мкм)-Al(0.95мкм) Fe(10мкм) после изотермического отжига при температуре 600 ℃

Как видно из рисунка 2, в начале изотермического отжига интенсивность парциального спектра парамагнитной фазы (А) очень мала и составляет приблизительно 2-3%, не меняется и вклад фазы (В), составляющей около 3%. После 10 часов отжига происходит изменение сверхтонких параметров. Наряду с увеличением парамагнитной фазы (А), а затем ее полным исчезновением при 60 часах отжига, происходит увеличение функции распределения для (В), что совпадает со сверхтонкими параметрами для интерметаллида FeBe₂, и сохраняется на всех этапах отжига. В процессе отжига интегральная ширина функции распределения для (С) увеличивается.

Восстановление функций распределения позволило получить зависимости относительных интенсивностей для мессбауэровских спектров в трехкомпонентной системе Be(1.05 мкм)-Al(0.95 мкм)-Fe(10 мкм) (рисунок 3). Фазовые превращения начинаются уже после 5 часов отжига, происходит увеличение интенсивности парциального спектра для фаз (А) и (В). Последующее увеличение времени выдержки до 40 часов приводит к исчезновению парамагнитной составляющей и не дает существенных увеличений относительных интенсивностей для (В) и (С).



Рисунок 3. Зависимость относительной интенсивности I парциальных мессбауэровских спектров A, B и C

Для всех полученных МС-спектров была обнаружена практически линейная корреляционная зависимость дисперсии S²_{p(Hn)} функции распределения p(H_n) от среднего значения эффективного магнитного поля \overline{H}_{n} , которая изображена на рисунке 4. Были проведены расчеты зависимости дисперсии S²_{p(Hn)} от *H*_{*n*} в предположении, что эффективное магнитное поле Н_n на ядре атома железа определяется, в основном, атомами первой координационной сферы и аддитивно зависит от числа расположенных на ней атомов примеси, которые случайным образом распределены по позициям кристаллической решетки α-Fe. В этом случае, с учетом биноминального распределения, дисперсия S²_{p(Hn)} функции распределения p(H_n) будет иметь следующую зависимость от среднего значения эффективного поля \overline{H}_n (см., например [4, 7]):

$$S_{p(H_n)}^2 = \Delta H_n^2 m_0 \frac{\overline{H}_n - H_0}{\Delta H_n m_0} \left(1 - \frac{\overline{H}_n - H_0}{\Delta H_n m_0} \right).$$
(1)

При этом концентрация c атомов примеси в растворе от среднего значения эффективного поля \overline{H}_n зависит следующим образом:

$$C = \frac{\overline{H}_n - H_0}{\Delta H_n m_0} \,. \tag{2}$$

Здесь Н₀=330,4 кГс – величина поля в отсутствие атомов примеси в первой координационной сфере атома Fe с координационным числом m₀=8 и ΔH_n – изменение поля H_n при замещении атома Fe на атом примеси в этой сфере. В соответствии с [4,7] для алюминия $\Delta H_n \cong -35 \ \kappa \Gamma c$, а для бериллия $\Delta H_n \cong -23 \ \kappa \Gamma c$. На рисунке 4 сплошной и штриховыми линиями показаны результаты расчета по формуле (1) при ΔH_n=-35±3 кГс и ΔH_n=-23±2 кГс. Наблюдаемое хорошее соответствие экспериментальных и расчетных данных для твердого раствора α-Fe(Al) показывает, что определяющей причиной изменения среднего значения поля \overline{H}_{n} и дисперсии $S^{2}_{p(Hn)}$ pacпределения p(H_n) со временем отжига является изменение концентрации атомов примеси в матрице α-Fe. Такое изменение можно использовать для определения средней по образцу концентрации с.

На рисунке 4 для расчетных кривых твердого раствора α-Fe(Be) и α-Fe(Al) показаны экспериментальные точки, которые согласуются с α-Fe(Al), что говорит о внедрении в матрицу железа только атомов алюминия. Сформировавшаяся фаза FeBe₂ остается стабильной при условиях проведенного эксперимента.



Рисунок 4. Корреляционная зависимость дисперсии $S^2_{p(Hn)}$ функции распределения $p(H_n)$ от среднего значения эффективного магнитного поля \overline{H}_n на ядрах ⁵⁷Fe для раствора α -Fe(Be) и α -Fe(Al) в трехкомпонентной системе Be(1.05 мкм)-Al(0.95 мкм)-Fe(10 мкм)



Рисунок 5. Зависимость величины параметра элементарной ячейки интерметаллида FeBe₂ от времени отжига в слоистой системе Be(1.05 мкм)-Al(0.95 мкм)-Fe(10 мкм)

Для подтверждения информации, полученной с помощью метода мессбауэровской спектроскопии в геометрии «на пропускание», были проведены рентгенофазовые исследования с обеих сторон образца.

Литература

- 1. Kadyrzhanov K.K., Turkebaev T.E., Udovsky A.L. //Nucl. Instr. Meth., 1995. V.103B. P.38 45.
- 2. Kadyrzhanov K.K. et. al.//Hyp. Int., 2002. V.141/142. P.453-457.
- 3. Кадыржанов К.К.и др.//Поверхность, 2003. № 8. С.76 80.
- 4. Русаков В.С. и др. //Поверхность, 2004.- № 12. С.22 30.
- 5. Суслов Е.Е. и др. Известия НАН РК 2005.- №2. С. 408 417.
- 6. Русаков В. С. Мессбауэровская спектроскопия локально неоднородных систем. Алматы, 2000. 430 с.
- 7. Русаков В. С.//Известия РАН. Серия физическая, 1999.- № 7. С.1389 1396.
- 8. Kadyrzhanov K.K. et. al. //Nucl. Instr. Meth. ,2001. v.174B. P.463 474.

AL-BE-FE ҚАБАТТЫ ЖҮЙЕСІНДЕ ИЗОТЕРМАЛЫҚ ЖАСЫТУЫНДА ФАЗАЛЫҚ ТҮРЛЕНУЛЕР

Суслов Е.Е., Қадыржанов Қ.К., Жұбаев А. Қ., Түркебаев Т.Е.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Аллюминий мен берилийді α-темір фольгасына магнетронды шөгуімен компоненттерді бөлек тозаңдатуымен алынған үшқұрауышты жүйесінде термикалық ықпалданған фазалық түрленулері месбауэр спектроскопия әдістерімен зерттелген. 600°С температурасында, 5-120 сағат жоларалығында, изотермалық жасытуында фазалық түрленулерінің тізбегі анықталған.

PHASE TRANSFORMATION IN LAMINAR SYSTEM BE-AL-FE UNDER ISOTHERMAL ANNEALING

E.E. Suslov, K.K. Kadyrzhanov, A.K. Zhubaev, T.E. Turkebaev

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Mossbauer spectroscopy methods were used to investigate thermally induced phase transformations in threecomponent system, obtained by separate component coating of magnetron sputtering of aluminum and beryllium to foil of α -iron. Succession of phase transformations was under isothermal annealing at the temperature of 600°C. The time of annealing was equals to 5-120 h.

На рисунке 5 приведена зависимость параметра элементарной ячейки интерметаллида FeBe₂ от времени отжига, построенная на основании анализа рентгеновских данных. Видно, что величина параметра элементарной ячейки практически не меняется с увеличением времени отжига. Наблюдается существование фазы FeBe₂ во всем временном интервале эксперимента.

Выводы

Впервые получены образцы на основе железа с послойным двухкомпонентным Al-Be покрытием с помощью ионно-плазменного осаждения. В результате проведенных исследований трехкомпонентной системы Be(1.05 мкм)-Al(0.95 мкм)-Fe(10 мкм), подвергнутой изотермическому отжигу, получены следующие результаты:

- установлена последовательность фазовых преобразований при температуре 600°С;
- определено характерное время начала образования буферного слоя;
- выявлена стабилизация бериллида FeBe₂.

УДК 539.173

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДОВ МАСС И ЭНЕРГИЙ АКТИНИДНЫХ ЯДЕР В РЕАКЦИЯХ С ПРОТОНАМИ

Городисский Д.М.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Экспериментально и аналитически исследованы свойства и механизмы реакции деления, закономерности выходов масс осколков деления актинидных ядер. Применен специально разработанный метод многокомпонентного анализа массово-энергетического распределения (МЭР) осколков. Построена простая, но обладающая высокой предсказательностью, систематика выходов масс осколков деления ядер от Th до Bk протонами и нейтронами с энергией 5-200 МэВ, пригодная для использования в расчетах по трансмутации минорных актинидов. Разработанная систематика реализована в виде компьютерного кода PYF (Program for Yields from Fission).

Введение

Помимо фундаментального интереса деление ядер остается привлекательным и с практической точки зрения. Деление актинидных ядер составляет основу современной атомной энергетики, и потребность в методах расчетов массовых, зарядовых и энергетических распределений осколков деления этих ядер весьма велика, в частности, в связи с разработкой ядерных установок нового поколения.

В ядерных реакторах продукты деления оказывают существенное влияние на наработку радиоактивных отходов, потерю нейтронов за счет поглоделения, продуктами шения эмиссию запаздывающих нейтронов, в связи с чем, информация о выходах продуктов деления является важным составным элементом при разработке перспективных ядерных энерготехнологий, в частности, быстрых реакторов уран-ториевого цикла и АДС (Accelerator-Driven System). Как в случае быстрых реакторов, так и в случае АДС, приходится иметь дело с делением ядер в более широком, по сравнению с традиционными схемами, диапазоне нуклонного состав (от тория до кюрия) и энергий нейтронов. Современные требования к обеспечению безопасности и экономической обоснованности этих схем диктуют необходимость проведения детального моделирования поведения будущих установок, как в штатных, так и во внештатных условиях. Одним из неотъемлемых элементов этого моделирования является расчет наработки осколков деления ядер топлива и минорных актинидов. Надежность результатов такого моделирования напрямую зависит от наличия и точности соответствующих данных о выходах осколков деления.

Современное состояние теоретических моделей, к сожалению, не позволяет получать информацию о выходах продуктов деления ядер в широком диапазоне нуклонного состава и энергий нейтронов, что необходимо для инженерных расчетов, и поэтому основными путями получения этой информации являются эксперименты и систематики или полуэмпирические модели.

Существующие систематики выходов продуктов деления, использующие формальные математические соотношения параметров описания экспериментальных данных способны удовлетворить инженерные расчеты только при условии достаточно высокой плотности измерений, как по нуклонному составу, так и по энергии нейтронов, когда длина интерполяции/экстраполяции невелика. В области актинидных ядер основные усилия экспериментаторов разных стран были, в основном, сконцентрированы на изучении спонтанного деления, а также депод воздействием низкоэнергетических ления нейтронов. В частности, пока известна единственная работа [1], где в рамках единой экспериментальной методики измерены выходы масс и энергий оскол-ков деления ²³⁸U нейтронами с энергиями в интервале от 1 до 450 МэВ. В случае недостатка экспериментальных данных, как это имеет место в торийурановом цикле и при трансмутации минорных актинидов, предсказательная сила таких систематик оказывается неудовлетворительной. Повысить предсказательную силу этих систематик можно, если использовать не формальные математические соотношения параметров описания, а реальные физические особенности формирования распределений продуктов деления. Нехватка экспериментальных данных может быть частично компенсирована за счет привлечения данных о выходах осколков, измеренных в реакциях с протонами, исходя из следующих соображений. Деление тяжелых ядер протекает через стадию формирования составного ядра, следовательно, МЭР осколков деления ядра с заданным нуклонным составом, энергией возбуждения и угловым моментом не зависит от того, каким способом это ядро было сформировано. Протоны, также как и нейтроны, вносят в ядро малый угловой момент. Эти обстоятельства позволяют расширить экспериментальную базу для развития искомых систематик как в отношении диапазона энергий возбуждения, так и в отношении прямого изучения делеважнейших минорных ния актинидов ИЗ изотопических цепочек Np и Am с использованием

относительно безопасных мишеней из U и Pu. В действительности реакции с протонами и нейтронами несколько отличаются в отношении прямых и предравновесных реакций, однако, как показали результаты предварительного анализа, эти отличия не оказывают существенного влияния на большинство основных характеристик МЭР и могут быть эффективно учтены. Вышеизложенные соображения положены в основу проделанной работы.

Эксперимент

Эксперимент проведен на выведенном пучке Алматинского изохронного циклотрона У-150, возможности которого позволяли изменять энергию ускоренных протонов от 7 МэВ до 30 МэВ с шагом приблизительно 3 МэВ. Выполнены измерения выходов масс и энергий деления составных ядер 234,236,237,239 Np, 239,240,241,243 Am, 245 Bk при энергии протонов $E_p = 10,3$ МэВ; 234,236,237,239 Np, 240,241,243 Am при энергии протонов $E_p = 22,0$ МэВ; 233 Ра и 236 Np при энергии протонов E_p от 7,4 до 30,0 МэВ. Для измерения МЭР осколков деления ядер использован метод быстрой спектрометрии совпадающих осколков Si-Au поверхностно-барьерными детекторами с отбором фоновых событий по времени пролёта [2].

Мишени делящихся изотопов представляли собой слои толщиной 20-40 мкг/см², изготовленные из хлоридов соответствующих элементов методом термического напыления на пленки из Al₂O₃ толщиной 60 мкг/см². Обогащение по исследуемому изотопу во всех случаях было не хуже 99.98%.

Калибровка детекторов по спектру спонтанного деления ²⁵²Cf проводилась по стандартной процедуре [3] в начале и в конце эксперимента. В ходе эксперимента периодический контроль стабильности характеристик детекторов и спектрометрических трактов осуществлялся по положению центров тяжести и дисперсии амплитудных спектров, измеренных в рефересной реакции ²³⁵U+p.

МЕТОД АНАЛИЗА

Основные характеристики независимых мод деления устанавливались на основе многокомпонентного анализа МЭР. С этой целью разработан новый метод анализа, отличающийся от аналогов отсутствием параметризации массовых распределений отдельных мод. Суть метода определяется следую-Многочисленные шим экспериментальные исследования МЭР осколков деления ядер от Рb до No, отраженные в [4], показали, что экспериментально наблюдаемые МЭР осколков деления представляют собой суперпозицию МЭР независимых мод разной природы и, как следствие, имеют различный характер зависимости характеристик этих мод (относительный вклад, средняя масса, кинетическая энергия, дисперсия массовых и энергетических распределений) от атомных и массовых чисел делящихся ядер, а также от энергии налетающих частиц. Таким образом, достаточно изучить экспериментальные зависимости этих характеристик от

нуклонного состава и энергии возбуждения делящегося ядра и путем суперпозиции МЭР отдельных мод восстановить исходное распределение.

Для классификации независимых мод деления обычно используются обозначения, принятые в [5], где для большой группы ядер актинидов было предсказано существование трех независимых мод: одной симметричной (S) и двух асимметричных—Standard 1 (S1) и Standard 2 (S2). Позднее в [6] было установлено существование еще одной асимметричной моды - S3. С учетом этого, экспериментально наблюдаемые распределения осколков по массам и полным кинетическим энергиям $Y_{exp}(M,E_k)$ можно представить в виде двумерной матрицы, для каждой точки которой справедливо соотношение:

$$Y_{exp}(M,E_k) = Y_{exp}(M)Y_{exp,M}(E_k) = \sum_i Y_i(M)Y_{i,M}(E_k).$$

Здесь: $Y_{exp}(M)$ – экспериментальный относительный выход осколков с массой M; $Y_{exp,M}(E_{\kappa})$ – распределение осколков с массой M по кинетическим энергиям E_{κ} , нормированное на 1; і – индекс, определяющий моду деления, $Y_i(M)$ – относительный выход осколков с массой M для і-той моды, $Y_{i,M}(E_k)$ – распределение осколков с массой M по кинетическим энергиям для моды і, нормированное на 1.

Для исключения эффекта зависимости результатов анализа от статистической обеспеченности экспериментальных данных, предложен более общий метод [7], в котором выходы $Y_i(M)$ находятся с учетом погрешностей измерения $Y_{exp}(M, E_k)$ и в котором минимизируется квадрат разницы

$$\left\{ Y_{exp}(M, E_k) - \sum_{i} Y_i(M) Y_{i,M}(E_k) \right\}^2$$

В этом случае функционал $\chi^2(M)$ записывается в виде:

$$\chi^{2}(M) = \sum_{Ek} \left\{ \frac{1}{\delta^{2}(M, E_{k})} \left[\sum_{i} Y_{i}(M) Y_{i,M}(E_{k}) - Y_{exp}(M, E_{k}) \right]^{2} \right\}$$

где $\delta(M,Ek)$ – экспериментальная погрешность измерения $Y_{exp}(M,E_k)$.

Очевидно, что функция $\chi^2(M)$ достигает искомого минимума, когда одновременно выполняются условия: $\partial \chi^2(M) / \partial Y_i(M) = 0$. В данном случае, когда производные зависят от Y_i(M) линейно, задача нахождения оптимальных значений Y_i(M) сводится к решению системы линейных уравнений:

$$\frac{\partial \chi^2(\mathbf{M})}{\partial Y_i(\mathbf{M})} = 2 \sum_{\mathbf{E}\mathbf{k}} \left\{ \frac{\mathbf{Y}_{i,\mathbf{M}}(\mathbf{E}_{\mathbf{k}})}{\delta^2(\mathbf{M},\mathbf{E}_{\mathbf{k}})} \left[\sum_{j} Y_j(\mathbf{M}) \mathbf{Y}_{j,\mathbf{M}}(\mathbf{E}_{\mathbf{k}}) - \mathbf{Y}_{exp}(\mathbf{M},\mathbf{E}_{\mathbf{k}}) \right] \right\} = 0$$

Как показали контрольные расчеты, решения являются более устойчивыми по отношению к экспериментальным погрешностям и могут быть использованы при меньшей статистической точности исходных данных.

Процедура анализа данных представляла собой итерационный процесс, реализованный на базе стан-

дартного компьютерного кода MINUIT [8]. Сначала строились распределения $Y_{i,M}(E_k)$, согласно [9,10], определялись относительные выходы $Y_i(M)$ для всех масс, строилась аппроксимирующая матрица осколков $\sum_i Y_i(M)Y_{i,M}(E_k)$. Затем проверялась степень соответствия $Y_{exp}(M,E_k)$ и $\sum_i Y_i(M)Y_{i,M}(E_k)$, т.е, рассчи-

тывалась величина χ^2 , и определялись новые значения начальных параметров. Во всех случаях, рассмотренных в данной работе, процесс определения 9-ти опти-

мальных параметров описания сходился при значениях χ^2 на степень свободы меньше 0.5.

Результаты и обсуждение

Зависимости характеристик мод от энергии протонов

Влияние энергии протонов на основные характеристики МР независимых мод деления изучалось на примере ядер ²³³Pa and ²³⁶N, данные для которых приведены на рисунке 1. Линиями на рисунке 1 показаны средние значения соответствующих характеристик.



Рисунок 1. Относительные вклады Y_i , средние массы тяжелых осколков $\overline{M}_{H,i}$ и дисперсии масс $\sigma^2_{M,i}$ независимых мод для реакций: $a - {}^{232}Th + p$; $\delta - {}^{235}U + p$

Из рисунка 1 можно видеть, что вклады асимметричных мод деления уменьшаются с увеличением энергии протонов. В то же время величины $\langle M_{H,i} \rangle$ для этих мод практически *не зависят от энергии протонов*. Вклад моды S3 в суммарное распределение относительно мал, вследствие чего неопределенности извлечения $\sigma^2_{M,S3}$ велики, что не позволяет однозначно судить о характере зависимости этой величины от E_p . Значения $\sigma^2_{M,i}$ для основных асимметричных мод S1 и S2 *медленно* возрастают с увеличением E_p .

Зависимости характеристик мод от нуклонного состава

Было установлено, что для трех основных характеристик мод S1 и S2 - вклады Y_i, средние массы тяжелых осколков M_{H,i} и дисперсии масс $\sigma^2_{M,i}$, - наблюдаразличия изотопических и общих Аются зависимостей. Это должно рассматриваться как указание на различие ролей протонной и нейтронной компонент нуклонного состава в формировании выходов масс осколков деления актинидных ядер. Наиболее явно различие можно наблюдать на рисунке 2, где для мод S1 и S2 приведены средние протонные Z_F и нейтронные N_F числа осколков легкой группы в зависимости от А делящегося ядра. Здесь и ниже числа Z_F и N_F определялись из предположения о неизменности зарядовой плотности (UCD) ядра в процессе деления: $Z_F =$ $M*(Z_{CN}/A)$ и $N_F = M*(N_{CN}/A)$.

Линии в верхней части рисунка 2 показывают протонные числа, усредненные по цепоч-

кам Np и Am. Видно, что внутри одной цепочки значения $\langle Z_L \rangle_{S1} u \langle Z_L \rangle_{S2}$ практически не меняются. В нижней части рисунка 1 дан результат линейного описания соответствующих величин по методу χ^2 . Стандартное отклонение значений $\langle N_L \rangle_i$ от аппроксимирующих линий не превышает 0,2 единиц. Картина нуклонного состава осколков легкой группы зеркально отражает ситуацию в тяжелой группе. Исходя из полученных данных, можно уверенно констатировать, что средние протонные числа мод S1 и S2 более стабильны, чем нейтронные.





Рисунок 2. Средние протонные <ZF> и нейтронные <NF> числа осколков легкой группы для мод S1 и S2 в зависимости от А

Постоянство средних протонных чисел преобладающих асимметричных мод S1 и S2 внутри изотопических цепочек, а также практическая независимость их дисперсий от А, позволяют ожидать, что суммарные распределения зарядов асимметричных мод $Y_A(Z) = \Sigma Y_i(Z)$ (i = S1, S2, и S3) для ядер, принадлежащих к одной изотопической цепочке, будут близки.

На рисунке 3 представлены экспериментальные относительные выходы осколков в зависимости от $M, N_F Z_F$.



Рисунок 3. Выходы масс Y(M), нейтронных чисел $Y(N_F)$ и зарядов $Y(Z_F)$ осколков деления составных ядер от ²³³Ра до ²⁴⁵Bk при $E_p = 10,3$ МэВ

Согласно хорошо известным представлениям об асимметричном делении актинидов, положение пиков выходов масс тяжелых осколков слабо зависит от массы ядра А. Поэтому, в этой половине распределений наблюдение изотопических группировок весьма затруднено. Но в легкой группе осколков изотопические группировки выходов видны даже в Y(M). В Y(N_F) каких-либо группировок кривых не наблюдается, а в Y(Z_F) существование изотопических групп кривых становиться очевидным. Заметные различия кривых Y(Z_F) внутри цепочек Np и Am наблюдаются только в ограниченных окрестностях пиков и центров этих распределений, что, по-видимому, обусловлено конкуренцией симметричного и асимметричного деления. Заключение о существовании изотопических группировок зарядовых распределений, сделанное на основе данных о выходах масс осколков согласуется с данными прямых измерений выходов зарядов ядер цепочки Ра, представленных в работах [11,12]. Кроме того, разложение экспериментальных Y(Z_F) на симметричную и асимметричную компоненты, выполненное в [11,12] показало, что положение пиков асимметричного деления тяжелых осколков остается постоянным (Z_{FH}≈54) не только для изотопов Ра, но и Th, и U. Особенности форм выходов осколков асимметричного деления (после вычитания симметричной моды из экспериментальных MP) при энергии протонов 10,3 МэВ показаны на рисунке 4, где кривые $Y_a(Z_F)$ и $Y_a(N_F)$ представлены в линейном и логарифмическом масштабах.

Помимо явных изотопических группировок кривых $Y_a(Z_F)$ на рисунке 4 можно увидеть, что для всех изученных ядер при обеих энергиях протонов, эти кривые сближаются в области $Z_F \approx 30$ (что достаточно близко к магическому числу Z = 28) и в области $Z_F \approx 50$. Т.е., асимметричное деление всех актинидных ядер укладывается между $Z_{FL} \approx 28$, $Z_{FH} \approx 50$, и ширина асимметричных пиков, в основном, определяется величиной

ΔZ ~ Z_{CN} - 50 - 28, практически независимо от числа нейтронов в делящемся ядре. Аналогичный эффект глобальной группировки выходов масс осколков деления актинидов описан при делении тепловыми нейтронами в [13,14].



Рисунок 4. Выходы зарядов $Y_a(Z_F)$ и нейтронных чисел $Y_a(N_F)$ осколков асимметричного деления составных ядер от ²³³Ра до ²⁴⁵Вk при $E_p = 10,3$ МэВ

В противоположность выходам зарядов Y_a(Z_F), для которых глобальные и изотопические группировки кривых ясно видны, кривые Y_a(N_F) не демонстрируют таких совпадений. Более детально различие влияния протонных и нейтронных чисел осколков на формы Y_a(Z_F) и Y_a(N_F) рассмотрено на рисунке 5, где эти выходы представлены для деления ядер ^{237,239}Np и ^{239,241}Am при E_p = 10,3 МэВ. Рассматриваемый набор ядер состоит из двух изотопических (Z_{CN} = 93,95) и двух (N_{CN} = 144,146) изотонических пар. Из рисунка 5 видно, что в то время как кривые Y_a(Z_F) практически совпадают во всем диапазоне зарядов осколков для обоих изотопических пар, кривые Y_a(N_F) совпадают только в узких окрестностях нейтронных чисел 52 и 82 (указаны стрелками). В остальных интервалах нейтронных чисел видны существенные различия изотонических кривых.



Рисунок 5. Выходы зарядов $Y_a(Z_F)$ и нейтронных чисел $Y_a(N_F)$ осколков асимметричного деления составных ядер 237,239 Np и 239,241 Am npu npu $E_p = 10,3$ МэВ

Систематика выходов осколков деления актинидных ядер протонами и нейтронами с энергией 5-200 МэВ

Исследование свойств асимметричного деления актинидов позволило установить, что суммарные зарядовые распределения асимметричного деления $Y_a(Z_F) = \Sigma Y_i(Z_F)$ (i= S1,S2,S3) для всех ядер из одной изотопической группировки совпадают. На этом основании сделан вывод о возможности описывать относительные выходы масс осколков в рамках *двухмодальной аппроксимации* (симметричная и асимметричная моды), что существенно упрощает систематику выходов масс за счет сокращения требуемых параметров описания.

При выборе аппроксимирующих функций для описания YS(M) и Ya(M) учтены следующие соображения. Отклонения выходов масс моды S от Гауссовой формы наблюдаются только при низких энергиях налетающих частиц, когда вклад этой моды невелик, поэтому для упрощения описание YS(M) велось при помощи распределения Гаусса во всем диапазоне энергий. Для описания Ya(M) использовано распределение Шарлье, так как моментный анализ данных распределений показал, что искомая функция должна быть асимметричной. Таким образом, при $M \ge A/2$:

$$\begin{split} &Y(M) = (2\pi)^{-1/2} ((Y_S/\sigma_S) \exp(-u_S^{2}/2) + \\ &+ (Y_a/\sigma_a) \exp(-u_a^{2}/2) (1 - \gamma_1 (3u_a - u_a^{3})/6 + \\ &+ \gamma_2 (u_a^{4} - 6u_a^{2} + 3)/24)), \\ &u_S = (M - A/2)/\sigma_S \text{ } \text{ } \text{ } \text{ } u_a = (M - M_a)/\sigma_a, \end{split}$$

где Y_S и Y_a – интегральные вклады симметричной и асимметричной мод; M_a – средняя масса тяжелого осколка асимметричной моды; σ_S и σ_a – дисперсии масс симметричной и асимметричной мод; γ_1 и γ_2 – коэффициенты асимметрии и эксцесса распределения Шарлье. При M \leq A/2, Y(M) = Y(A-M) во избежание перекрытия распределений асимметричной моды для легкого и тяжелого осколков в области масс близких к A/2. Применимость двухмодального описания экспериментальных MP продемонстрирована на рисунке 6. Для $E_p = 10,3$ и 22,0 МэВ приведены измеренные Y(M), результаты модального разложения $Y_s(M)$ и $Y_a(M)$, а также их описание, согласно выражению (1).



Закрытые кружки – Y(M), открытые кружки – $Y_a(M)$, открытые квадраты – $Y_S(M)$, сплошные линии – описание Y(M), штриховые линии – описание $Y_a(M)$, штрихпунктирные линии – описание $Y_S(M)$

Рисунок 6. Экспериментальные результаты Y(M) модального разложения $Y_5(M)$ и $Y_a(M$ и их описание согласно (1)

Из рисунка 6 видно, что отклонения $Y_S(M)$ от нормального распределения не оказывают существенного влияния на качество описания Y(M). Таким образом, систематика выходов масс осколков может базироваться всего на 6 параметрах описания Y_a/Y_S , M_a , σ_a , σ_S , γ_1 , и γ_2 в их зависимости от нуклонного состава делящегося ядра и энергии налетающих частиц.

Параметры описания

Как было показано ранее, средние массы тяжелых осколков мод S1 и S2 практически не зависят от энергии протонов, и следовательно, величина M_a также не будет зависеть от энергии налетающих частиц. Таким образом, $M_{H,a} = M_{H,a}(Z_{CN},A)$. На рисунке 7a, в качестве примера приведена зависимость величины $M_{H,a}/Z_{CN}$ от параметра Z_{CN}^{2}/A при $E_p = 10,3$ и 22,0 МэВ. Видно, что поведение экспериментальных точек может описать линейной функцией (полоса ошибок соответствует 0,2 ед.) и, следовательно:

$$M_{H,a} = aMA/Z_{CN} + bMZ_{CN}, \qquad (2)$$

где a_M и b_M – параметры систематики, которые могут быть найдены по всей совокупности экспериментальных данных.



Рисунок 7. Зависимости: а - величины $M_{H,a}/Z_{CN}$ от параметра Z_{CN}^{2}/A для $E_p = 10,3$ и 22,0 МэВ; б - значений σ_a от A и Z_{CN} для $E_p = 10,3$ и 22,0 МэВ

Таблица. Значения γ_1 и γ_2 в зависимости от Z_{CN}

Величина					Z _{CN}				
	90	91	92	93	94	95	96	97	98
γ1	0	-0.08	0.36	0.23	0.3	0.38	0.34	0.29	0.0
γ2	-0.36	-0.07	-0.34	-0.27	-0.3	-0.34	-0.25	-0.15	0.0

На рисунке 7б показано поведение оа в зависимости от А и Z_{CN}. Можно видеть, что величина σ_a является линейной функцией Z_{CN}, а внутри изотопических цепочек ее значение практически не зависит от А. Судя по изменению σ_a, кривые Y_a(Z_F) для изотопов совпадают. При этом значение σ_а возрастает с увеличением энергии налетающих протонов. Полученные данные позволили сделать вывод, что оа, в основном, определяется Z_{CN} и начальной энергией возбуждения системы $E^* = Q_R + E_p A_t / A$ (где: Q_R разность между суммой дефектов масс протона и ядра-мишени, с одной стороны, и дефектом масс составного ядра; Аt – масса ядра мишени). В этом случае может быть использовано выражение:

$$\sigma_{a} = A/Z_{CN}(Z_{CN}-a_{a})(b_{a}+c_{a}(E^{*})0.25), \qquad (3)$$

где a_a, b_a и c_a – параметры искомой систематики.

Установлено, что коэффициенты у1 и у2, в основном, определяются зарядом делящегося ядра. А так как диапазон ядер, представляющий практический интерес, ограничен интервалом Z = 90-98, то значения коэффициентов у1 и у2 могут быть определены для каждого Z_{CN} из набора, приведенного в нижеследующей таблице.

Величина σ_S аппроксимирована известным соотношением: $\sigma_{S}^{2} = \theta/C$, где $\theta = f(E^{*})$ – температура делящегося ядра, а С - его жесткость по отношению к масс-асимметричным деформациям. Анализ значений С, заимствованных из экспериментальных работ [15,16], показал, что в интервале ядер от Th до Bk жесткость в зависимости от параметра Z_{CN}²/A может быть аппроксимирована линейной функцией, и тогда

$$\sigma_{\rm S} = A f(E^*)/(a_{\rm s} - b_{\rm s} Z_{\rm CN}^2/A) + c_{\rm s}$$

(4)

где a_s, b_s и c_s – параметры систематики.

Параметры из соотношений (2) – (4) и тип функциональной зависимости Y_S/Y_a от Z_{CN}, A и E* для деления ядер протонами и нейтронами определены подгонкой к экспериментальным МР осколков, полученных как в настоящей работе, так и в работах других авторов [17-24]. Установлено, что функции Y_S/Y_a отличаются для реакций с протонами и нейтронами. Окончательно, систематика выходов первичных масс Y(M) (до эмиссии мгновенных нейтронов из осколков) рассчитывалась по соотношению (1), в котором:

- M_{H.a} = 28.6(A/Z_{CN}) + 0.708 Z_{CN} при Z_{CN} ≥ 92;
- М_{Н,а} = 54А/ Z_{CN} при Z_{CN} =90, 91;
- $\sigma_a = (A/Z_{CN})(Z_{CN} 73)(0.074 + 0.0296(E^*)^{0.25});$ $\sigma_S = 0.031A(E^*)^{0.25}/(90.54 1.9(Z_{CN}^2/A))^{0.5} + 9.64;$
- у1 и у2 из вышеприведенной таблицы;
- $Y_{s}/Y_{a} = 1.244(E^{*})^{0.25}(1 \exp(-0.0027(E^{*}-5.7)^{1.5})) \times$ $\times (1+100/(E^*)^{0.5}(Z_{CN}/A-0.4))$ для нейтронов с энергиями E_n = 5–200 MeV;
- $Y_S/Y_a = 1.18((E^{*}-5.7)^{0.25}(1-\exp(-0.011(E^{*}-5.7)^{1.5})))$ -0.101)(1+2500/Е*(Z_{CN}/А-0.393)) для протонов с энергиями $E_p = 5-200 \text{ MeV};$

•
$$Y_a = 200/(Y_S/Y_a+2); Y_S = 200-2Y_a$$

Результаты расчетов Y(M) на основе полученной систематики и экспериментальные МР представлены на рисунках 8 -10.





Рисунок 8. Результаты расчетов и экспериментальные МР осколков делении



Кружки – эксперимент из [17-23], линии – результаты расчета по предлагаемой систематике

Рисунок 9. Выходы масс осколков деления указанных составных ядер: а; б



Кружки – эксперимент из [24], линии – результаты расчета по предлагаемой систематике Рисунок 10. Выходы масс осколков деления ²³⁸U нейтронами при E_n = 13-160 МэВ

Компьютерный код РҮ**F**

Описанная систематика реализована в виде компьютерного кода РҮГ (Program for Yields from Fission) [25], позволяющего вычислять выходы масс первичных и конечных осколков деления ядер от Th до Вк протонами и нейтронами с энергиями от 5 до 200 МэВ. При этом, данные о числе мгновенных нейтронов, испущенных осколками, брались из систематики, приведенной в [26]. Число предделительных нейтронов оценивалось из соотношения:

$$v_{\rm pre} = INT(0.3(E^* - 6 - B_{\rm n})^{0.6} + 0.5),$$

где INT – встроенная функция преобразования в целый тип для языка FORTRAN, а B_n – барьер эмиссии нейтрона.

На рисунке 11 а показано пользовательское окно кода РУF, в котором устанавливаются начальные параметры реакции деления, демонстрируется результат расчета и определяется имя выходного файла. На рисунке 11 б - приведено графическое окно с соответствующими результатами расчета.



Рисунок 11. Пользовательское окно кода РУF (a) и графическое окно результатов б), соответствующее параметрам реакции, редставленным в окне (a)

Выводы

На внешних пучках протонов Алматинского изохронного циклотрона У-150 методом быстрой спектрометрии парных осколков кремниевыми детекторами проведены измерения выходов масс и энергий составных ядер ^{234,236,237,239}Np, ^{239,240,241,243}Am, ²⁴⁵Bk при энергии протонов $E_p = 10.3 \text{ M}$ эB; ^{234,236,237,239}Np, ^{240,241,243}Am при $E_p = 22.0 \text{ M}$ эB; ²³³Pa и ²³⁶Np при $E_p = 7.4 - 30.0 \text{ M}$ эB.

Полученная экспериментальная информация и доступные литературные данные о высокоэнергетическом делении актинидов нейтронами проанализированы на основе специально разработанного метода многокомпонентного анализа массовоэнергетического распределения осколков, свободного от каких-либо параметризаций массового распределения независимых мод.

Результаты анализа позволили детально изучить зависимости основных характеристик мод деления от нуклонного состава делящегося ядра и энергии протонов. Выявленные регулярности поведения независимых мод позволили построить простые, но обладающие высокой предсказательной силой, систематики выходов масс осколков деления ядер от Th до Bk протонами и нейтронами с энергиями от 5 до 200 МэВ, пригодные для использования в расчетах по трансмутации минорных актинидов. Разработанная систематика реализована в виде компьютерного кода PYF (Program for Yields from Fission).

Литература

- 1. Zöller C.M. in Proceedings of "Seminar on Fission", Pont d'Oye III Castle, Belgium, ed. C. Wagemans, 1995. 56.
- 2. Кондратьев Н.А. и др. ПТЭ, 2 (1990) 62.
- 3. Mulgin S.I. et al., NIM, A 388 (1997) 254.
- 4. Göonnenwien F. in The Nuclear Fission Process, ed. C. Wagemans (CRC Press, Boca Raton, USA, 1991) p. 287.
- 5. Brosa U., Grossmann S., Müller A., Phys.Reports, 197 (1990) 167.
- 6. Mulgin S.I. et al. Phys. Lett., B 462 (1999) 29.
- 7. Pokrovsky I.V. et al. Phys. Rev. C62 (2000) 014615.
- 8. CERN Computer 6600 series program Library Long-Write-Up MINUIT.

- 9. Zhdanov S.V. et al., Sov. J. Nucl. Phys., 55 (1992) 175.
- 10. Zhdanov S.V. et al. Phys. At. Nucl., 56 (1993) 1766.
- 11. Schmidt K.-H. et al., Nucl. Phys. A 665 (2000) 221.
- 12. Böckstiegel C. Dissertation 98-05, Techn. Univer., Darmstadt (1998).
- 13. Gönnenwien F. in: Proc. Int. Conference Nuclear Shells 50 Years, Dubna, Russia, april 1999 (World Scientific, Singapore, 2000) p. 76.
- 14. Tsekhanovich I. et al., Nucl. Phys. A 688 (2001) 633.
- 15. Mulgin I. et al., Nucl Phys. A 640 (1998) 375.
- 16. Rusanov A.Ya. et al., Phys. At. Nucl. 60 (1997) 683.
- 17. Hambsch F.-J. et al., Nucl. Phys. A 679 (2000) 3.
- 18. Сергачев А.И. и др. Ядерная физика 7 (1967) 778.
- 19. Воробьева В.Г. и др. Препринт ФЭИ-108, Обнинск (1967).
- 20. Кузьминов Б.Д. и др. Ядерная физика 11 (1969) 207.
- 21. Сергачев А.И. Диссертация, ФЭИ, Обнинск, 1974.
- 22. Vivés F. et al., Nucl. Phys. A 662 (2000) 63.
- 23. Говердовский А., Митрофанов В.Ф. Ядерная физика 56 (1992) 43.
- 24. Zöller C.M., Thesis Ph.D., TU Darmstadt 1995.
- 25. http://www.inp.kz/laboratoryrus/lpdpyf.php; D.M. Gorodisskiy, S.I. Mulgin, A.Ya. Rusanov, S.V. Zhdanov, to be published.
- 26. Wahl A.C. Preprint LA-13928, Los Alamos, USA, May 2002.

ПРОТОНДАРМЕН БОЛАТЫН РЕАКЦИЯЛАРДА АКТИНИДТІК ЯДРОЛАР МАССАСЫ МЕН ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ ШЫҒУЫН ЗЕРТТЕУ

Городисский Д.М.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Бөліну реакциясының қасиеттері мен тетіктері, актинидті ядролар бөлінуінің сынықтар массасы шығу заңдылықтары экспериментальды және аналитикалық зерттелген. Сынықтардың массалық-энергетикалық үлестірілуінің (МЭҮ) арнайы әзірленген көпқұрауышты талдау әдісі қолданылған. Минорлы актинидтердің трансмутациясы бойынша есептеулерінде қолдануға жарамды, энергиясы 5-200 МэВ протондар және нейтрондармен яжроларды Th дан Bk дейін бөлуінде сынықтар массасы шығуының қарапайым, бірақ жоғары болжампаз жүйелілігі құрылған. Әзірленген жүйелілік РУҒ компьютерлік код түрінде іске асырылған.

STUDY OF FRAGMENT MASS AND ENERGY YIELDS OF ACTINIDE NUCLEI IN REACTIONS WITH PROTONS

D.M. Gorodisskiy

Institute of Nuclear Physics, NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Fission reaction properties and mechanisms, patterns of mass yield of actinide nuclei were experimentally and analytically investigated. Specially developed method of multi-component analysis of fragments mass-energy distribution (MED) was applied. Simple but high predictable systematization of mass yield of fission fragment nuclei from Th to Bk was created by protons and neutrons with energy 5-200 MeV, suitable for use in calculations of transmutation of minor actinide. Developed systematization is realized in the way of computer code PYF (Program for Yields from Fission).

УДК 539.141/142

ЭФФЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАНАЛИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ В ОБЛАСТИ ГЛУБОКО ПОДБАРЬЕРНОЙ ЭНЕРГИИ СТОЛКНОВЕНИЯ

Красовицкий П.М.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Исследовано взаимодействие каналированных частиц с равным отношением заряда к массе. Использование приближения непрерывного потенциала и его осцилляторного представления позволило выделить волновую функцию центра масс системы. Численно решено уравнение для волновой функции относительного движения при низких энергиях - прохождение сквозь двумерный потенциальный барьер. Показано, что прохождение сквозь барьер отсутствует, основная компонента отраженной волны (до 95%) соответствует падающей волне гармонического осциллятора.

Введение

Интерес к взаимодействию каналированных частиц, изучаемому в настоящей работе, определен двумя актуальными, частично перекрывающимися направлениями исследований.

С одной стороны, - это решение части задач большого проекта, который можно назвать "ядерные реакции в режиме внутрикристаллического каналирования частиц" [1, 2]. В самое последнее время это направление открыло новые возможности [3]: на основании численных расчетов для одной частицы были открыты эффекты сверхфокусировки каналированного пучка, что, по крайней мере, на порядок превышает известные свойства по фокусировке каналированных пучков в области 10⁻¹⁰ см центра канала [2, 4].

С другой стороны, - это поиск новых путей измерения сечений и других характеристик взаимодействия ядерных заряженных частиц при сверхнизких энергиях столкновения. Именно в этой области определяются наиболее важные для астрофизики параметры, в частности S-фактор реакций и связанные с ним величины [5]. Однако наличие кулоновского барьера и малый пробег частиц в мишени делают невозможным прямое корректное измерение Sфакторов при "астрофизическом" масштабе энергии. Более эффективными, как правило, оказываются непрямые измерения, такие как, например, метод обратных реакций, реакции развала на тяжелом ядре и др. В частности, значения S-фактора dd-реакции при энергиях ниже 2 кэВ получены с использованием плазмотронов [6]. В настоящее время предложены идеи использования кристалла в качестве третьего тела для более точного измерения параметров реакций [3,1]. С упорядоченной структурой кристалла связаны многие эффекты, в том числе и эффект каналирования.

Каналирование - это процесс, при котором быстрые заряженные, или даже нейтральные, частицы проходят сквозь кристаллическую среду с наименьшими потерями энергии в "каналах", образованных атомными рядами или плоскостями [4]. Теоретическое описание каналирования и связанных с ним эффектов эффективно использует несколько обоснованных и проверенных экспериментально моделей, в частности два приближения для потенциала взаимодействия каналированных частиц с кристаллом: непрерывный потенциал [4,7,8] и разложение его в ряд по степеням полярного радиуса с использованием главного слагаемого порядка второй степени [3,7].

В данной работе исследуется взаимодействие каналированных частиц между собой с использованием ранее упомянутых приближений, что позволяет рассматривать это взаимодействие как поле гармонического осциллятора. Далее задача сводится к проблеме рассеяния на двумерном потенциальном барьере. Здесь дано асимптотическое решение для энергий много меньших, чем минимальная высота этого барьера. Эти решения являются своего рода стандартом, поскольку для малых энергий они могут быть определены с максимально возможной для данной схемы точностью. В поле гармонического осциллятора обоснованным является учет только нескольких начальных его уровней, а, кроме того, численная схема большого количества уровней требует значительного роста программных ресурсов. Решения для области низких энергий дают возможность с определенной степенью точности применить схему для более высокой энергии, в частности, для наиболее интересного с точки зрения квантовой механики случая, когда энергия взаимодействия и высота потенциального барьера примерно одинаковы.

Вывод уравнения взаимодействия

Стационарное уравнение Шредингера для двух частиц в поле кристалла, когда влиянием частицы на кристалл можно пренебречь [7,9]

$$(H-E)\Psi(r_1,r_2)=0$$

с гамильтонианом

$$H = H_{\rho 0} + H_{z0} + U_1 + U_2 + U_{12}$$
$$U_{1,2} = \sum_{i} U(|\vec{r}_{1,2} - \vec{R}_i|), U_{12} = U(|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|)$$

с помощью замены переменных

$$\begin{cases} \frac{r_{1}}{r_{1}} - \frac{r_{2}}{r_{2}} = \frac{r}{r} \\ \frac{W_{1}}{r_{1}} + \frac{W_{2}}{r_{2}} = \frac{r}{R} \\ \frac{W_{1}}{m_{1}} + \frac{W_{2}}{m_{2}} = \frac{r}{R} \end{cases}$$

может быть переписано в виде:

$$\begin{cases} -\frac{1}{2M}\Delta_{R} - \frac{1}{2\mu}\Delta_{r} + U_{12}(\stackrel{\mathbf{r}}{r}) + \\ +U_{1}(\stackrel{\mathbf{r}}{r}, \stackrel{\mathbf{V}}{R}) + U_{2}(\stackrel{\mathbf{r}}{r}, \stackrel{\mathbf{r}}{R}) \end{cases} \Psi = E_{0}\Psi \qquad (1)$$

Здесь *М* и *µ*- суммарная и приведенная массы соответственно.

При рассмотрении задач каналирования потенциал взаимодействия частиц с кристаллом апроксимируется главным слагаемым порядка ρ^2 [3,7] разложения некоторого усредненного, или непрерывного, потенциала [4]. Координатами ρ и R_{ρ} здесь и далее обозначены полярный радиус в цилиндрической системе координат с осью *z*, параллельной оси каналирования, для *r* и *R*, соответственно.

Потенциалы U_{1,2} с использованием этих приближений имеют вид:

$$\overline{U}_{1,2} \approx \alpha q_{1,2} \left(\stackrel{\mathbf{r}}{R}_{\rho} \pm \stackrel{\mathbf{r}}{\rho} \frac{m_{1,2}}{m_1 + m_2} \right)^2.$$
(2)

Здесь учтено, что взаимодействие частицы с кристаллом имеет кулоновскую природу и линейно зависит от заряда частицы $q_{1,2}$.

Уравнение (1) с потенциалами (2) допускает разделение переменных, координаты *Z*, и выделение *Z*компоненты энергии движения центра масс:

$$E_{0} = E_{Z} + E_{I}$$

$$\begin{cases} -\frac{1}{2M} \frac{\partial^{2}}{\partial P^{2}} - \frac{1}{2\mu} \Delta_{r} + U(r) + \\ +\alpha \left((q_{1} + q_{2}) P^{2} + 2 \frac{m_{1}q_{1} - m_{2}q_{2}}{m_{1} + m_{2}} (\rho^{T}P) + \\ + \frac{m_{1}^{2}q_{1} + m_{2}^{2}q_{2}}{(m_{1} + m_{2})^{2}} \rho^{2} \end{pmatrix} \right\} \Psi(P, r) = (3)$$

$$= E_{I} \Psi(P, r)$$

Очевидно, что выражение (3) значительно упрощается для случая частиц с равным отношением массы к заряду. Для задач взаимодействия легких частиц это один из наиболее вероятных случаев (d+d, d+6Li, d+9Be, и т.д.). Кроме того, широкий класс примеров может быть рассмотрен с помощью теории возмущений, так как вклад перекрестного слагаемого для этих случаев пренебрежимо мал по сравнению с остальными членами (3), например, d+t, t+6,7Li и т.п.

Уравнение (3) при условии $m_1/z_1=m_2/z_2$ разделяется на два независимых уравнения, первое из которых описывает движение центра масс, и имеет аналитическое решение в поле гармонического осциллятора. Второе уравнение относительного движения двух частиц и соответствует задаче о поведении одной частицы приведенной массы и "приведенного заряда" в поле двух потенциалов (рисунок 1).



Рисунок 1. Характерный вид суммы потенциалов, воздействующих на частицу приведенной массы

Оба потенциала не зависят от полярного угла φ , поэтому второе уравнение допускает еще одно разделение переменных, и может быть записано в виде:

$$\begin{cases} -\frac{1}{2\mu} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right)^{-} \\ -\frac{l_{z}^{2}}{\rho^{2}} + \frac{\partial^{2}}{\partial z^{2}} \end{array} \right) + U(r) + \alpha' \rho^{2} \end{cases} \varphi(\rho, z) = , \quad (4)$$
$$= E\varphi(\rho, z)$$

$$E = E_1 - E_c$$

где E_c - полная энергия движения центра масс, l_z сохраняющаяся проекция углового момента, принимающая значения 0, ±1, ±2.

Метод и область решения

Полученное уравнение (4) формально совпадает с уравнением описания взаимодействия двух частиц с потенциалом взаимодействия U в магнитном поле [10]. Этот факт имеет достаточно простую физическую трактовку - взаимодействие быстрой частицы с рядом атомов можно представить как взаимодействие неподвижной частицы с линейным током. Известно, что уравнения такого типа пока не имеют аналитического решения. Частные случаи, полученные из теории возмущений, не могут быть применены из-за того, что во всей области ни один из потенциалов не может быть рассмотрен как малая поправка. В данной работе получены численные решения на основе метода матричной прогонки

Уравнение (4) формально является задачей на собственные значения и собственные функции. Однако для рассматриваемых потенциалов отталкивания существуют решения только для непрерывного спектра значений энергии. В целом задача может быть рассмотрена как прохождение двумерного потенциального барьера (рисунок 1) волной, распространяющейся вдоль оси z из минус в плюс бесконечность.

Здесь рассмотрена область решений с энергией взаимодействия частиц, много меньшей высоты барьера ($E << E_b$). Параметр, характеризующий высоту барьера

$$E_b = \min \left(U(r) + \alpha' \rho^2 \Big|_{z=0} \right)$$

В этой области можно ожидать практически полного отражения. Такой выбор, с одной стороны, определяется как наилучший в плане численного счета. С другой стороны, полученные данные несут информацию о поведении вблизи нуля энергии, где возможны наибольшие изменения волновой функции относительно "обычного" трехмерного рассеяния. Кроме того, полученные результаты будут использованы для улучшения точности в других областей энергии.

Уравнение (4) аппроксимируется трехточечной схемой с использованием метода Нумерова по оси z. На границах используются следующие условия:

- $\rho = \rho_{\text{max}}$: $\varphi = 0$. Это соответствует физическому условию, согласно которому частица не уходит из канала.
- $\rho = 0$. Точное решение (3) при условии равенства отношений масс и зарядов дает отдельное уравнение зависимости волновой функции от полярного угла. В зависимости от l_z из него определяется четность по координате ρ искомой волновой функции, для $l_z=0, \pm 2...- \varphi$ четно, в обратном случае - нечетно.
- z=0. В качестве двух независимых решений уравнения (4) могут быть выбраны четная и нечетная по z компоненты функции φ . Каждая из функции имеет свое условие на границе.

• *z*= *z*_{max}. Уравнение Липмана-Швингера, соответствующее (4), определяет волновую функцию при $z \rightarrow \infty$ в виде:

$$\varphi = \phi_0(\rho) e^{i \left(k_0 z - \frac{1}{a_b k_0} \ln(2k_0 |z|) \right)} - i \sum a_j \phi_j(\rho) e^{ik_j |z|} , \quad (5)$$

где φ_i - волновые функции гармонического осциллятора, φ_0 соответствует состоянию, в котором находится частица падающей из $z \rightarrow$ минус ∞ волны, a_b -Боровский радиус для частицы приведенной массы, $k_{i} = \sqrt{2m(E-E_{i})}$, E_{j} - энергия j-го осцилляторного

уровня, *а*_{*i*}- неизвестные коэффициенты.

Численное решение уравнения дает в качестве результата набор коэффициентов a_i из (5), т.е. вид волновой функции на расстояниях z, где влиянием потенциала взаимодействия частиц можно пренебречь. Для численного решения двумерного дифференциального уравнения использована блочно-трехдиагональная схема с размерностью блока по ρ 250x250 и длинной "ленты" по z в $3x10^5$ шагов. Такой размер блока позволил получить собственное значение осциллятора Е₀ до шестой значащей цифры. Большое количество шагов по z требуется из-за медленного выхода на асимптотику при кулоновском взаимодействии. Масштаб энергии допускал возбуждения до седьмого осцилляторного состояния ($E < 16E_0$).

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 приведены результаты расчета коэффициентов *a_i* из выражения (5) при падающей волновой функции в первом осцилляторном уровне



Рисунок 2. Результаты расчета коэффициентов a_i при различных энергиях первого осцилляторного уровня E_0

Потенциал взаимодействия между частицами выбран кулоновским. На рисунках 2 а, б, в даны только коэффициенты отраженной волны, так как все коэффициенты прохождения при этих энергиях равны нулю с точностью численного счета программы. Это может быть объяснено тем, что, как известно, коэффициент прохождения одномерного кулоновского барьера равен нулю и, возможно, что при низкой подбарьерной энергии потенциал может

рассматриваться состоящим из суммы одномерного кулоновского и осцилляторного.

Взаимодействие частиц в поле кристалла существенно отличается от взаимодействия при обычном трехмерном рассеянии. В частности, не наблюдается минимум обратного рассеяния и, наоборот, имеет место значительный максимум. Можно видеть также, что при стремлении энергии к минимуму, основное состояние в отраженной волне соответствует падающему начальному состоянию. Распределение по возможным осцилляторным состоянием может являться следствием значительного изменения волновой функции взаимодействия в области малых z. Волновой пакет практически не рассеивается по энергетически допустимой области, сохраняя по координате ρ форму, свойственную областям больших z. В подтверждение этой версии проведены расчеты с падающей волной во втором и третьем осцилляторных состояниях (рисунок 3).



Рисунок 3. Результаты расчета коэффициентов a_i при энергии E=10.5E₀ и различных начальных состояниях

Можно заметить, что большая часть отраженной волны (более 95%) находиться в состоянии, соответствующем падающей волне, как и на рисунке 2. Кроме подтверждения вышесказанного, выполненные расчеты позволили сделать еще один вывод: использование предложенного метода решения возможно для более высокой энергии, так как требуется учитывать только ограниченное число уровней. Для проверки сделанного предположения проведены предварительные расчеты в области энергии, равной высоте потенциального барьера $E \sim E_b$. Результаты расчета представлены на рисунке 4.

Как можно видеть из рисунка 4, несмотря на более высокую энергию, наблюдается лишь частичное заполнение возможных по энергии состояний. Более широкое распределение может быть объяснено, как "поиск" подающей волной минимума в двумерном потенциальном барьере. Наибольшая вероятность наблюдается для осцилляторных состояний, чье распределение по оси ρ максимально в области, где определяется E_b .

Для энергий, много меньше высоты потенциального барьера, результаты расчетов (рисунки 2, 3) позволяют предположить, что волновая функция в области взаимодействия значительно отличается от волновой функции трехмерного взаимодействия, концентрируясь в более узкой области начального осцилляторного состояния.



Рисунок 4. Результаты расчета коэффициентов а_i при энергиях порядка высоты потенциального барьера

Выводы

Использование приближений непрерывного потенциала и осцилляторного представления для взаимодействия каналированной частицы и кристалла позволило свести задачу к виду "одна частица в поле двух потенциалов", для которой разрабочисленная схема решения уравнений с тана помощью метода матричной прогонки. Полученная волновая функция взаимодействия двух частиц вне области взаимодействия частиц для энергий много меньших высоты потенциального барьера показала практически полное отражение. Отраженная волна более чем на 95% состоит из компоненты, соответствующей начальному состоянию падающей волны. Рассматриваемый вариант взаимодействия соответствует случаю одномерного прохождения сквозь кулоновский барьер и существенно отличается от случая трехмерного рассеяния. Следствием такого поведения может быть существенное изменение в сторону увеличения волновой функции в области взаимодействия по сравнению со случаем трехмерного рассеяния.

Выполненная работа может рассматриваться как итог двух первых шагов в более сложном и комплексном исследовании реакций на каналированных пучках. Результаты дают возможность получения волновой функции на всем интервале пространства, рассмотрения других областей энергии, а также учета таких аспектов, как отличный от кулоновского характер сил, действующих между частицами (каналирование молекулярных объектов) [11], конечной высоты межканального потенциального барьера и многое другое. Кроме того, как частный случай, возможно получение сверхфокусировки [3] или учета воздействия дискретности решетки кристалла [12,13] и др.

Благодарность

Автор глубоко признателен д.ф.-м.н. Пенькову Ф.М. за предложенную идею решения уравнения и за многочисленные советы и обсуждение.

Литература

- 1. Takibayev N. Zh. Nuclear Fusion Reactions with Ion Beams Channeled in Crystal//Hadronic Journal, USA, 2002. V.25, № 3. P. 96.
- Такибаев Н.Ж., Пеньков Ф.М., Ливенцова А.С., Ленник С.Г., Красовицкий П.М. Изучение резонансов дальнодействия в ядерной и атомной физике// Вестник НЯЦ РК/Ядерная физика и радиационное материаловедение. – Курчатов:НЯЦ РК, 2003. - Вып. 4. – С. 75 – 80.
- 3. Demkov Yu.N., Meyer J.D., Eur. Phys. J, 2004. B 42. P 361 365
- 4. Линдхард Й.//УФН,1969. Т 99. 249 с.
- 5. Nuclei in the Cosmos // Editted by H.Oberhummer. Berlin: Springer Verlag, 1991. 456 c.
- Bystritskii V. et al. The Astrophysical S-factor for the dd-reaction at ultralow energies//Ядерная физика, 2001. Т.64, вып.5. -С. 920 – 925.
- 7. Кумахов М.А. Излучение каналированных частиц в кристаллах.- М. : Энергоатомиздат, 1986.
- 8. Sorensen A.H.//Nucl. Instr. and Meth. in Phis. Rew B 1996,v.119,p.1-29
- 9. Цыганов Э.Н. Препринт Fermi- Lab. № 682 1976
- 10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика, т 3, М.: Наука, 1989.
- 11. Жумабекова В.Н. Вестник КазНПУ серия "физико-математическая" №3 (11) 2004, с 101-102.
- 12. Красовицкий П.М., Такибаев Н.Ж.// Вестник РАН (серия физическая), 2003 г. т 67 № 11 с.1586-1591
- Такибаев Н.Ж., Красовицкий П.М. Свойства возбужденных резонансных состояний составных частиц при каналировании их в кристаллах//Вестник НЯЦ РК/Ядерная физика и радиационное материаловедение, 2002. - Вып. 4. - С 5 – 12.

ТОСҚАУЫЛАСТЫНДАҒЫ ТЕРЕҢДЕГІ СОҚТЫҒЫСУ ЭНЕРГИЯСЫ АЙМАҒЫНДАҒЫ АРНАЛАНҒАН БӨЛШЕКТЕРДІҢ ӘРЕКЕТТЕСТІГІНІҢ ӘСЕРЛЕРІ

Красовицкий П.М.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институтты, Алматы, Қазақстан

Заряд пен массаның тең қатынасындағы арналанған бөлшектердің әрекеттестігі зерттелген. Үзіліссіз потенциалдың және оның түрін қолдануы масс жүйе орталығының толқындық функциясын бөліп алуға мүмкіндік берген. Төмен энергияларында – екіөлшемді потенциалды тосқауылдан өту – салыстырмалы қозғалыстың толқындық функциясы үшін теңдеуі сандық шешілген. Тосқкуыл арқылы өтуі жоқ болғаны көрсетілген, шағылысқан толқынның негізгі құрауышы (95% дейін) гармоникалық осциллятордың түсуші толқынына сәйкес келетіні көрсетілген.

THE EFFECT OF CHANNELING ARTICLES INTERACTION IN THE REGION OF DEEP UNDERBARRIER COLLISION ENERGY

P.M. Krassovitskiy

Institute of Nuclear Physics NNC PK, Almaty, Kazakhstan

The interaction of channeling particles with equal of charge to mass ratio was investigated. The use of continuum potential approximation and its oscillator representation permit to separate wave function of centre of mass. The equation for wave function of relative motion by low energy or passing of two-dimension potential barrier was solved. It was showed that the passing component is absent and the general component (up to 95%) of reflected wave corresponds to falling wave

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛНОГО СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ ^{4,6}He, ⁷Li + ²⁸Si ПРИ Е=5÷50 МэВ/А

Жолдыбаев Т.К.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Получены новые экспериментальные данные по полным сечениям реакции ^{4,6}He и ⁷Li в области энергий ниже 20 MэB/A, которые хорошо согласуются и дополняют сведения из литературных источников. Определен характер зависимостей полного сечения реакций ^{4,6}He и ⁷Li от энергии налетающих α -частиц

Введение

Более 20 лет ведутся измерения полных сечений реакций (ПСР) пучков легких нестабильных ядер со стабильными ядрами-мишенями. Целью измерений является исследование наиболее важных структурных характеристик легких ядер, лежащих на границе области стабильности, в первую очередь, ядер с нейтронным гало или с избытком нейтронов в области периферии. Установлено, что полные сечения взаимодействия и реакций таких ядер весьма чувствительны к их геометрическим размерам и распределениям плотности ядерной материи, что позволило в свое время выявить их экзотическую структуру [1], а именно большие по сравнению с соседними ядрами радиус сильного взаимодействия и среднеквадратичный радиус. Поскольку галоидные ядра имеют протяженное распределение плотности ядерной материи, отличие таких ядер от ядер с нормальной плотностью распределения ядерной материи, проявляется либо в краевых соударениях, либо при низких энергиях налетающих частиц, когда ядра взаимодействуют на больших расстояниях. В наборе известных экзотических нуклидов ядро ⁶Не является легчайшим и обладающим нейтронным гало, а его кор ⁴Не, достаточно хорошо исследован в реакциях упругого рассеяния. Следовательно, ядро ⁶Не проще поддается теоретическому описанию и его изучение может служить основой для проверки моделей.

Следует отметить, что анализ, казалось бы, более информативных данных о дифференциальных сечениях упругого рассеяния ядер не позволяет однозначно определить параметры соответствующих распределений ядерных плотностей и потенциалов ядро-ядерного взаимодействия. Например, в [2] удалось хорошо описать угловые распределения упругого рассеяния ядер ⁶Li на ²⁸Si при энергии E = 135 МэВ и 154 МэВ в рамках шести моделей, использованных для расчета ядро-ядерного оптического потенциала. Однако при этом разброс значений рассчитанных полных сечений реакций о_в оказался слишком большим - в пределах 1.7 ÷ 2.2 и 1.65 ÷ 2.0 барна, соответственно. Измерение ПСР дало бы возможность существенно сузить выбор испытываемых моделей. Экспериментальные данные по ПСР дают важную информацию о параметрах ядерных потенциалов и существенно дополняют

данные по упругому рассеянию. Поэтому исследования, приводимые в данной работе, относятся к получению новых экспериментальных данных по полным сечениям реакции взаимодействия ядер ^{4,6}Не и ⁷Li с ядрами кремния при низких и средних энергиях с использованием метода прохождения [3].

Получение вторичного пучка ионов ⁶Не на ускорителе У-400М

Вторичные пучки ионов получены при облучении 230 мг/см² бериллиевой мишени ионами ⁷Li и ¹¹В с энергией 38 и 33 МэВ/А, соответственно. Для сепарации и фокусировки ионов на телескоп использовались дипольные и квадрупольные магниты ионно-оптической системы ускорителя У400-М ЛЯР ОИЯИ (рисунок 1). Снижение энергии ионов вторичного пучка производилось путём установки между двумя дипольными магнитами (M3 и M4) водородосодержащих (обычно полипропиленовых) поглотителей различной толщины, по-разному снижающих энергию вторичных частиц. Основными примесями вторичного пучка (до 10% от его полной интенсивности) были ионы дейтерия и трития. Использование водородосодержащих поглотителей, совместно с импульсными щелями, расположенными в дисперсионной фокальной плоскости (между диполями M3 и M4), позволяло очистить пучок вторичных ионов от примесей больше, чем на 98%. Энергетическое разрешение вторичного пучка, подаваемого на экспериментальную установку, во всех случаях не превышало величину 2 МэВ. Магнитооптическая система фокусировала вторичный пучок на телескоп, состоящий из плоскопараллельных Siдетекторов.

Проведены измерения энергетической зависимости ПСР на первичном пучке ⁷Li. Пучок выводился на рассеивающую мишень ²⁰⁸Pb толщиной 4 мг/см² и упруго рассеянные ионы ⁷Li регистрировались кремниевым телескопом под различными углами. Были получены несколько значений полного сечения реакции ⁴He с кремнием при высоких энергиях (выше 33 МэВ/А) налетающих ионов ⁴He. Ионы ⁴He высоких энергий получены с использованием механизма развала ядер ¹¹В из возбужденного состояния на α -частицу и ⁷Li.



Рисунок 1. Схема получения вторичных пучков экзотических ядер на ускорителе У-400М

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для измерения энергетической зависимости полных сечений реакций применялся известный метод прохождения [3], основанный на использовании многослойного кремниевого телескопа. Блок-схема экспериментальной установки показана на рисунке 2. Поскольку эксперименты с пучками ^{4,6}Не и ⁷Li проводились по одинаковой методике, более детальное описания приведено для экспериментов с ⁶Не.

Магнитооптическая система фокусировала вторичный пучок на телескоп, состоящий из набора плоско-

параллельных пластин–детекторов. Первые два ΔЕдетектора использовались для автоколлимации и идентификации падающих на телескоп ионов ⁶Не. Третий ΔЕ-детектор играл роль активной мишени. Остальные ΔЕ-детекторы использовались для идентификации продуктов ядерных реакций. Рабочая площадь детекторов составляла ~3 см², за исключением первого детектора – активного коллиматора (АК), активная площадь которого была около 0,7 см². Их количество и суммарная толщина выбирались таким образом, чтобы полностью затормозить пучок.



Рисунок 2. Блок – схема экспериментальной установки

Детекторы имели различную толщину в диапазоне от 50 до 2000 (Е-детектор) мкм, измеренную с точностью ± 3 мкм, причем детекторы ΔE_1 и ΔE_2 выбирались более тонкими, для того чтобы количество продуктов ядерных реакций от них было незначительным. Потеря энергии частицами перед активной мишенью не превышала 50%, а сброс энергии в ней был не более 20% от энергии падающих на Siтелескоп частиц. Энергетическая калибровка проводилась с помощью α -источника ²²⁶Ra, а также на основе удельных потерь ионами ⁶He с разными начальными энергиями.

Первым детектором в телескопе был кремниевый детектор толщиной 100 мкм, внутренним диаметром 10 мм и активной площадью диаметром 8 мм, исполнявший роль активного коллиматора. Конструкция и принцип действия этого детектора представлены на рисунках 3.

Сигналы, поступающие с детектора АК, использовались для отделения нужных событий от событий, связанных с попаданием ионов ⁶Не на края телескопа, при последующей "off-line" сортировке экспериментальных данных. Как показано на рисунках 3, частицы, попавшие в центр телескопа (1), могут быть очень хорошо отделены от частиц, попавших в край активной зоны (2) или в периферийную часть детектора (3), благодаря различной форме импульса с предусилителя, соответственно и импульса спектроскопического сигнала. Использование активного коллиматора позволило достичь более высокой, по сравнению с пассивным коллиматором, очистки и фокусировки падающего на детекторы пучка частиц, так как он дает возможность исключить частицы, провзаимодействовавшие с его краями. Кроме того, использование активного коллиматора позволило анализировать интенсивность попадания частиц в зоны (1) - (3) и проводить, с помощью магнитооптической системы, дополнительную фокусировку вторичного пучка ядер в центральную область телескопа.

Второй ΔЕ-детектор Si-телескопа использовался в качестве стартового детектора для системы регистрации. Аналоговый импульс с этого детектора поступал на входы спектрометрического (СУ) и временного быстрого (БУ) усилителей. Со спектрометрического усилителя сформированный (т_{int}=1 мкс, т_{dif}=1 мкс) импульс шел на вход преобразователя "амплитуда-цифра" АЦП. Сформированный временным быстрым усилителем импульс (т_{int}=20 нс, т_{dif}=20 нс) поступал на вход формирователя со следящим порогом (ФСП), выходные сигналы которого поступали на вход блока мастертриггера (MT) для организации накопления экспериментальных данных. Если система сбора информации готова к обработке очередного события, вход "старт" МТ открыт. МТ вырабатывал запускающий импульс длительностью 2 мкс и задержкой 100 нс соответственно, и через 80 мкс, время достаточного для полного окончания процесса оцифровки в АЦП, вырабатывал сигнал "LAM" (Look At Me) запроса на обработку события.

Все остальные каналы регистрации имели стандартный набор электронных блоков. Сигнал от предусилителя поступал на спектрометрический усилитель, а затем на амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП). Все блоки АЦП системы сбора работали с закрытыми входами и открывались сигналом "LAM" блока МТ. Программа накопления данных позволяла "on-line" контролировать проведение эксперимента с любого ПК, подключенного в локальную сеть.



Рисунок 3. Распределение энерговыделений падающих частиц в первом и втором детекторах телескопа: а – двумерное; б – одномерное (в проекции на ось Y); в – конструктивный вид; г – зависимость формы сигнала выходного импульса с предусилителя ДЕ1 от места попадания в него частиц

Обработка данных

Обработка накопленных данных и определение сечений реакций проводились следующим образом. Прежде всего, по полному энерговыделению во всех детекторах и потерям в каждом из детекторов производилась идентификация и определение энергии падающих на телескоп частиц. Затем по двумерной матрице энерговыделений в первых двух ΔE -детекторах, как показано на рисунке 4, из массива данных отсортировывались события, связанные с ионами ⁶Не, попавшими в центр телескопа, чему соответствует узкий диапазон энерговыделений в первой паре детекторов.



Рисунок 4. Энерговыделения в ΔE_1 - и ΔE_2 –детекторах

Для того, чтобы определить количество событий, связанных с ядерными взаимодействиями, произошедшими в третьем детекторе-мишени, на двумерной матрице суммарных энерговыделений во всех детекторах телескопа Δ Есум и энерговыделений ионов ⁶Не в третьем детекторе-мишени, вокруг упругого пика (пятна), соответствующего энерговыделению только за счет ионизационных потерь и идущего от него «хвоста», соответствующего ядерным реакциям, произошедшим в детекторах расположенных за мишенью, проводился контур, и далее отсортировывались события лежащие в этом контуре (рисунок 5). Они преимущественно расположены выше энергетического распределения ионов ⁶Не, не вызвавших в этом детекторе реакций.

Если обозначить число частиц, удовлетворяющих условиям, накладываемым на энерговыделения в первой паре детекторов и зарегистрированных в детекторах телескопа как I_0 , а количество событий, связанных с ядерными реакциями в ΔE_3 , как I, тогда полное сечение реакции $\sigma_R(E)$ можно выразить соотношением:

$$I = I_0 \cdot e^{-\sigma_R(E) \cdot N}$$

Здесь *N* – количество ядер мишени на единицу поверхности.



Риунок.5. Матрица идентификации продуктов ядерных реакций

Описанный выше способ обработки данных и определение полного сечения применялся также для следующего детектора – ΔE_4 , рассматриваемого в качестве мишени. Для этого накладывалось дополнительное условие на энерговыделение в ΔE_3 – узкие ворота, включающие только пик упругого рассеяния, чтобы исключить события, связанные с ядерными реакциями в этом детекторе.

При определении $\sigma_R(E)$ вышеизложенным методом (методом прохождения) учитывалось следующее. Продукты ядерных реакций, рассеянные назад и попавшие из мишени обратно в предшествующий детектор, не регистрировались как реакции, т.к. они находились вне условий их регистрации. Сечение их образования не превышало 3% от величины $\sigma_R(E)$, что было сравнимо со статистическими погрешностями. Ниже на рисунке 6 приведены результаты экспериментов по прямому измерению полного сечения реакций ^{4,6}Не +²⁸Si и ⁷Li+²⁸Si, проведенных в рамках данной работы (часть данных по реакции ⁴He+²⁸Si опубликованы ранее в [3,4]), а также данные по подобным измерениям, взятые из литературных источников [5-7].



Рисунок 6. Энергетическая зависимость полного сечения реакции 6,4 Не и 7 Li с ядром 28 Si

Выводы

В результате проведенных экспериментов впервые получены данные по полному сечению реакций ^{4,6}Не и ⁷Li с кремнием в области энергий ниже 20 МэВ/А, которые хорошо согласуются с данными, взятыми из литературных источников. Полное сечение реакции для ⁴Не возрастает с ростом энергии налетающих α -частиц, приблизительно до 18 МэВ/А, затем наблюдается плавный спад. Значения полного сечения реакции ⁷Li+²⁸Si, измеренные в области энергий 10-30 МэВ/А, находятся на уровне константы ~1550 мб. Зависимость от энергии полного сечения реакции ⁶He+²⁸Si имеет поведение иное, чем для ⁴Не и ⁷Li. Начиная с 25 и до 40 MэB/A сечение находится на уровне константы 1650 мб, а в области энергии ⁶Не 10 - 25 МэВ/А наблюдается «бамп» - колоколообразная форма кривой сечения, с максимумом в области энергии 15 МэВ/А и превышением сечения в максимуме распределения на 150 -200 мб по отношению к сечению на краях «бампа». Такая форма поведения функции полного сечения в зависимости от энергии для реакции ⁶Не+²⁸Si сильно отличается от других исследованных реакций. Для выяснения причин этих расхождений, а также роли входных каналов, необходимы дальнейшие теоретические исследования.

Литература

- 27. Tanihata I. et al.//Phys. Rev. Lett. , 1985. V. 55. 2676.
- 28. El-Azab Farid M., M.A Hassanain//Nucl. Phys., 2000. A 678. 39.
- 29. Угрюмов В.Ю. и др.//Препринт ОИЯИ Р15-2003-175, 2003. Дубна. Принято в печать ЯФ 2005.Т. 3.
- 30. Ugryumov V.Yu. et al. //Preprint JINR E7-2003-193, 2003, Дубна; Nucl.Phys. A 734 (2004) E53.
- 31. Ingemarsson A. et al.//Nucl. Phys. A. 676 (2000) 3.
- 32. Warner R.E. et.al.//Phys. Rev. C 54 (1996) 1700.
- 33. Chen Zhiqiang et al.//IMP & NLHIAL Annual Report., 2001.

^{4,6}He, ⁷Li+²⁸Si ПРИ Е=5÷50 МэВ/А РЕАКЦИЯНЫҢ ТОЛЫҚ ҚИМАСЫНЫҢ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТӘУЕЛДІЛІГІ

Жолдыбаев Т.К.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Энергиясы 20 МэВ/А төмен аймағында ^{4,6}Не және ⁷Li реакцияның толық қималары бойынша, әдебиет көздерi мағлұматтарымен сәйкес келетiн және толықтыратын, жаңа эксперименталды деректер алынған. Ұшып шыққан α-бөлшектерiнiң энергиясынан реакциялардың толық қималарының тәуелдiлiгi анықталған

ENERGY DEPENDENCE ON FULL SECTION OF REACTION ^{4,6}He, ⁷Li+²⁸Si AT E=5÷50 MEV/A

T.K. Zholdybayev

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

New experimental data were obtained on full sections of reaction ^{4,6}He and ⁷Li in energy range lower than 20MeV/, which well conform and supplement information from literary sources. Character of reaction full section dependence from energy of α -particles was defined.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В ТОНКИХ ФОЛЬГАХ α-ЖЕЛЕЗА С ЦИРКОНИЕВЫМ ПОКРЫТИЕМ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Аргынов А.Б., Жубаев А.К., Русаков В.С., Туркебаев Т.Э., Кадыржанов К.К.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Методами мессбауэровской спектроскопии и рентгенофазового анализа исследованы образцы α-Fe после нанесения на них циркония методом магнетронного осаждения и последовательных изохронных отжигов в интервале температур 400-1100°C. Установлена последовательность фазовых преобразований. Получено относительное содержание фаз, формирующихся в объеме образца на каждом из этапов отжига. Показано, что направленность фазовых превращений определяется изменением локальной концентрации компонентов в образце в процессе их взаимной диффузии.

Введение

Цирконий – важный конструкционный материал, применяемый в атомной технике. Высокая коррозионная устойчивость в сочетании с механической прочностью, высокой температурой плавления и малым эффективным поперечным сечением поглощения тепловых нейтронов позволили в последнее время широко использовать цирконий, а точнее его сплав с железом и оловом (циркаллой), в реакторостроении. Исследования взаимодействия Fe и Zr начаты еще в конце 20-х годов прошлого века, однако, окончательно диаграмма состояния системы Fe-Zr не построена до сих пор. В [1-5], внесших значительные коррективы в диаграмму состояния Fe-Zr (рисунок 1), сообщается об образовании промежуточных фаз, число, стехиометрия и кристаллическая структура которых не всегда совпадают.



Рисунок 1. Диаграмма состояния системы Fe – Zr по [1-5]

Для исследования, как правило, были использованы материалы высокой чистоты – иодидный цирконий, электролитическое железо и армко-железо; сплавы выплавлялись в дуговой печи в атмосфере аргона, в индукционной печи во взвешенном состоянии в атмосфере гелия, в электронно-лучевой печи в вакууме. Надежно установлено существование соединения Fe₂Zr, которое плавится конгруэнтно при 1675°C, имеет области гомогенности протяженностью 27.7-34.3 % (ат.) Zr при температуре 1450°C [4] и 27.1-34 % (ат.) Zr при температурах 700-500°C. Так же подтвердилось наличие парамагнитной фазы FeZr₂, существующей в интервале составов 0.4-24 % (вес.) Fe.

В рамках термодинамического подхода и ионноплазменных методов обработки материалов было предложено решение проблемы химической совместимости жаростойких поверхностных слоев с жаропрочными сплавами [6]. Основная идея такого подхода состоит в определении состава и фазовоструктурных состояний для подложки и покрытия, что обеспечивается отсутствием градиентов химических потенциалов для всех компонентов сплава при данной температуре. В этом случае подложка и покрытие находятся в равновесном состоянии и обладают различными функциональными свойствами. Предложенный подход был апробирован на слоистой системе Fe-Be [7], для которой был получен термически стабильный поверхностный слой, состоящий из (β-FeBe_{2+δ}), тогда как в объеме выявлено наличие предельного раствора бериллия в α-Fe (α-Fe(Be)). Бинарная система Fe-Zr, в отличие от системы Fe-Be, имеет малую взаимную растворимость компонентов, что вызывает интерес с позиции возможности термической стабильности с учетом особенностей диаграммы состояния Fe-Zr.

Целью настоящей работы являлись систематические исследования фазово-структурных превращений в *α*-железе с циркониевым покрытием при термическом воздействии. Для достижения цели необходимо было: установить закономерности процессов фазообразования в фольгах α-железа с циркониевым покрытием при термическом воздействии;

 определить относительное содержание фаз и направленность фазовых преобразований в приповерхностных слоях и объеме образцов при последовательных изохронных термических отжигах.

Объектами исследований являлись тонкие фольги армко-железа (d_{Fe}=10 мкм) с циркониевым покрытием толщиной 2 мкм, подвергнутые последовательным изохронным двухчасовым отжигам в интервале температур 400°-1100°С с шагом 50°С.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приготовление образцов

На этапе планирования эксперимента важным является выбор конфигурации исследуемого образца (размеры подложки и толщины слоя циркония). Этот выбор определяется, во-первых, необходимостью обеспечения заданных средних по образцу концентраций циркония и, во-вторых, специфическими особенностями используемых методов анализа.

Подложки для исследований были приготовлены из бруска армко-железа (99,98 % Fe) прокаткой на вальцах до толщины ~10 мкм и последующего гомогенизирующего отжига при температуре 850°C в течение 2 ч. Следующим этапом подготовки образцов являлось осаждение циркония на поверхность железных подложек.

Для получения качественных покрытий заданной конфигурации был выбран метод магнетронного напыления. Нанесение циркония на фольги α-Fe проводилось на установке «Аргамак» ИЯФ НЯЦ РК [8]. Образцы размещались на массивном медном держателе, температура которого вместе с подложкой во время напыления не превышала 150°С, что обеспечивало отсутствие заметной диффузии во время напыления. Для лучшей адгезии перед осаждением циркония на этой же установке в едином вакуумном цикле поверхность подложки была подвергнута травлению ионами аргона.

Для проведения последовательных изохронных отжигов были приготовлены двухслойные системы Zr (2 мкм) - α-Fe (10 мкм).

Последовательные двухчасовые (в интервале 400÷1100°С) изохронные отжиги двухслойной системы Fe-Zr осуществлялись с шагом 50°С. Термическая обработка проводилась в трубчатой печи СУОЛ с нихромным нагревателем с остаточным давлением 6×10^{-6} мм рт. ст. Температура контролировалась хромель-алюмелевой термопарой с точностью $\pm 5^{\circ}$ С. Скорость нагрева и охлаждения составляла 10°С/мин.

В качестве неразрушающих методов анализа использовались мессбауэровская спектроскопия и рентгеновская дифрактометрия.

Мессбауэровская спектроскопия

Наибольшую информацию о сплаве удается получать, изучая мессбауэровские спектры, обусловленные взаимодействием мессбауэровского ядра с внутрикристаллическими полями.

Совокупность численных значений мессбауэровских параметров и их сочетание строго индивидуально для каждого химического соединения и фазы, что позволяет однозначно определять состав исследуемого образца. Перечислим основные параметры мессбауэровского спектра и ту информацию, которую может "нести" в себе каждый из параметров [9].

Интенсивность (площадь) мессбауэровского спектра I. В случае "тонкого образца", когда справедлив принцип суперпозиции, интенсивность мессбауэровского спектра I может быть использована для проведения качественного и количественного фазового анализа вещества, а также для получения данных об атомном распределении по неэквивалентным позициям в веществе.

Сдвиг мессбауэровской линии δ_{-} позволяет идентифицировать валентное состояние атомов, получать информацию, с одной стороны, о фазовом составе исследуемого вещества, а с другой, об особенностях электронной и кристаллической структур исследуемого соединения.

Квадрупольное смещение компонент спектра є может дать полезную информацию как о симметрии ближайшего окружения мессбауэровских ядер и о числе неэквивалентных позиций, так и об электронной конфигурации и валентности атомов.

Сверхтонкое магнитное поле H_n зачастую является самым чувствительным параметром к дефектам кристаллической структуры, примесным атомам, локальной неоднородности. Величина и направление сверхтонкого поля H_n несут в себе информацию об особенностях электронной и магнитной структур исследуемого объекта и могут быть использованы, в частности, для идентификации парциальных спектров и определения числа магнитных подрешеток.

Ширина компонент спектра Γ может содержать в себе информацию о таких факторах, как неоднородность состава, отклонение от стехиометрии, нарушения структурного и магнитного упорядочения.

Методы регистрации спектра

Для каждого из исследованных образцов снимались мессбауэровские спектры методом регистрации у-квантов в геометрии "на поглощение" (МС). В данном случае мессбауэровская спектроскопия дает информацию о фазовом состоянии, усредненную по всей толщине образца. В исследованиях использован источник ⁵⁷Со в матрице Сг активностью 10 мКи.

Исходя из задачи эксперимента, был использован мессбауэровский спектрометр MS1104E, который предназначен для автоматической регистрации ядерных гамма-резонансных спектров эмиссии, пропускания и рассеяния при проведении широкого круга физико-химических исследований.

Спектрометр является многофункциональным прибором и обеспечивает автоматизированную регистрацию спектров пропускания и эмиссии, обратного рассеяния, резонансного рассеяния, автоматическое накопление спектров по 4096 каналам, запись на диск и цветное отображение спектров, сжатие и растяжение, нормировку и оцифровку полученных спектров, диалоговый режим обработки данных, документирование результатов в табличном и графическом виде. МС-спектры были получены при комнатной температуре в режиме постоянных ускорений с пилообразной формой временной зависимости доплеровской скорости движения источника относительно поглотителя. Для регистрации үизлучения с энергией 14.4 кэВ использован сцинтилляционный счетчик с кристаллом NaJ(Tl). Калибровка спектрометра осуществлялась с помощью эталонного образца α -Fe, обогащенного 89% 57 Fe.

Методы обработки мёссбауэровских спектров

Достаточно сложный характер структурнофазового состояния исследуемого образца может привести к тому, что в мессбауэровском спектре не удастся выделить дискретный набор парциальных спектров. Такая ситуация соответствует наличию большого числа неэквивалентных позиций резонансных ядер. Причинами их возникновения могут быть: большое количество фаз в исследуемой системе, нестехиометрия состава этих фаз, наличие примесей, аморфное состояние и нарушения структурного и (или) магнитного порядка в фазах. В таком случае используется описание экспериментального спектра, основанное на линейной суперпозиции парциальных спектров с квазинепрерывным распределением сверхтонких параметров.

Для обработки спектров применялась программа DISTRI, которая позволяет восстанавливать несколько независимых функций распределения мессбауэровских параметров парциальных спектров с разными ядрами (максимально возможное их число - пять) [10-12]. В основу метода положен так называемый обобщенный метод регуляризации - минимизация функционала χ^2 вида:

$$\chi^{2} = \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{N_{j} - \left(N_{\infty} - \text{const} \sum_{s=1}^{S} \sum_{k=1}^{r_{s}} D_{jk}^{s} p_{k}^{s} \right)}{S_{j}} \right)^{2} +$$

$$+ + \sum_{s=1}^{S} u^{s} \sum_{k=1}^{r_{s}} \left(\frac{\sum_{l=1}^{r_{s}} T_{kl}^{s} p_{l}^{s}}{\sigma_{k}^{s}} \right)^{2} + \sum_{s=1}^{S} w^{s} \sum_{k=1}^{r_{s}} \left(\frac{P_{k}^{s} - p_{k}^{s}}{\sigma_{k}^{s}} \right)^{2}$$
(1)

Здесь: $\{N_j\}$ - исходный экспериментальный спектр (j=1,2,...,n; n - число экспериментальных точек); $\{S_j\}$ - стандартные отклонения статистических ошибок в спектре; $\{p_k^s\}$ - искомая функция распределения па-

раметров для s-го ядра (k=1,...,r_s; r_s - размерность s-ой функции распределения; s=1,...,S; S - число реставрируемых распределений); { D_{jk}^{s} } - матрица, описывающая для s - ого ядра парциальный спектр, который соответствует k-ому набору параметров δ , ε , H_n и $\delta\Gamma$; { T_{kl}^{s} } - матрица конечных разностей, определяемая степенью производной, по которой осуществляется процесс регуляризации; { P_{k}^{s} } - предполагаемое в соответствии с априорно имеющейся информацией распределение параметров, в области которого осуществляется поиск функции распределения; u^s, w^s - параметры регуляризации для s-ой функции распределения; { σ_{k}^{s} } - "жесткость" регуляризации в точках представления функции распределения, имеющая смысл стандартного отклонения.

Рентгеновский фазовый анализ

Рентгеновская дифрактометрия использовалась в экспериментах в качестве дополнительного метода. Рентгенофазовый анализ образцов выполнен на дифрактометре D8 ADVANCE на излучении CuK_{α} . Измерения проводились в геометрии Брэгга-Брентано с обеих сторон образца. Идентификация кристаллических фаз проводилась с использованием картотеки порошковых рентгенограмм ASTM и JCPDS.

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 представлены характерные мессбауэровские спектры образца α -Fe с осажденным слоем циркония 2 мкм после проведения последовательных изохронных отжигов при различных температурах. Отмечено отсутствие изменений в МСспектрах отожженных образцов вплоть до температуры 700°С. После отжига при 700°С в мессбауэровском спектре образца, наряду с секстетом, характерным для α -Fe, в центре наблюдается появление уширенной линии, относительная интенсивность которой возрастает с последующими отжигами и достигает максимального значения при 800°С.

Восстановление функции распределения мессбауэровских параметров спектра программой DISTRI показало, что функция распределения квадрупольного смещения $p(\varepsilon)$ имеет двухмодальный вид с локальными максимумами $\varepsilon_1=0,10\pm0,02$ мм/с и $\varepsilon_2=0,46\pm0,02$ мм/с (рисунок 3).

При этом полученные парамагнитные линии характеризуются изомерными сдвигами δ_1 =-0,18±0,03 мм/с и δ_2 =-0,36±0,04 мм/с, соответственно. Мессбауэровские параметры (ϵ и δ) полученных фаз хорошо коррелируют с результатами работ [13-15], согласно которым первый локальный максимум в распределении р(ϵ) можно отнести к атомам железа в интерметаллидном соединении FeZr₂, имеющем кубическую решетку типа NiTi₂, а второй – связан с атомами железа в орторомбической фазе FeZr₃ с решеткой типа Re₃B.



Рисунок 2. МС-спектры для образца α-Fe с d_{Zr}=2 мкм после изохронных (t=2ч) отжигов; t_{отж}°C: 600 (a), 700 (б), 800 (в), 850 (г), 900 (д), 1000 (е)

Дальнейшее увеличение температуры отжига приводит сначала к росту интенсивности парциального спектра парамагнитной составляющей, а потом и к распаду соединений с высоким содержанием циркония. На МС-спектре образца, отожженного при 850°С, обнаружено исчезновение парамагнитных дублетов и появление совокупности дополнительных секстетов ферромагнитной фазы с существенно меньшими (*H_n* ~ 195 кЭ) сверхтонкими полями. Обработка спектров показала близость значений H_n сверхтонкого поля для спектров вновь образованной фазы к мессбауэровским параметрам цирконида Fe₂Zr [15]. В дальнейшем наблюдается рост относительной интенсивности интерметаллида с высоким содержанием железа. Визуально наблюдаются незначительные изменения в МС-спектре для образца после отжига при 900°С (по сравнению с предыдущим отжигом), тогда как распределение сверхтонких полей для интервала120-260 кЭ имеет другой вид. Следовательно, можно говорить о превращении одного интерметаллида в другой. Полученная фаза идентифицируется нами как метастабильное соединение Fe₃Zr, мессбауэровские параметры которого приведены в [13].



Рисунок 3. Результат восстановления функций распределения p(ε)и p(H_n) квадрупольного смещения и эффективного магнитного поля для MC-спектров образца α-Fe с d_{Zr}=2мкм после изохронных(t=24) отжигов; t_{omxe} °C: 600 (a), 700 (б), 800 (в), 850 (г), 900 (д), 1000 (е)

Был проведен анализ восстановленных с помощью программы DISTRI функций распределения квадрупольного смещения $p(\varepsilon)$ и эффективного магнитного поля $p(H_n)$ в областях значений сверхтонких параметров, характерных для различных железосодержащих фаз, и построена зависимость относительных интенсивностей парциальных мессбауэровских спектров I для различных фаз от температуры изохронного отжига (рисунок 4).

Как видно из рисунка 4, термический отжиг тонкой фольги α-Fe с d_{7r}=2 мкм при 650°C вызывает образование интерметаллидов с высоким содержанием циркония (FeZr₂+FeZr₃). Дальнейшая термообработка (при 850°С) вызывает распад «высоких» цирконидов и образование ферромагнитных интерметаллидов с высоким содержанием железа (Fe₂Zr+Fe₃Zr). Повышение температуры отжига приводит к восстановлению α-Fe. Был проведен детальный анализ обработки МС-спектров образца после отжигов в температурном интервале 600-850°С. На вставке рисунке 4 показана зависимость относительных интенсивностей фаз FeZr2 и FeZr3 от температуры отжига. Видно, что вначале (при 650°С) образуется FeZr₂. Второй цирконид формируется позже (700°С), достигая наибольшего содержания при 800°С. Интересен факт, что распад обоих соединений наблюдается одновременно при 850°С.



Рисунок 4. Зависимости относительных интенсивностей парциальных MC-спектров фаз I в образце железа с циркониевым покрытием от температуры последовательных изохронных отжигов

Так как использованный метод мессбауэровской спектроскопии в геометрии «на поглощение» дает информацию о фазовых превращениях в объеме образца, были проведены рентгенофазовые исследования с обеих сторон образца. Для более детального анализа рентгеновских дифрактограмм нами был выбран интервал углов $34^{\circ} \le 20 \le 85^{\circ}$, в котором присутствуют рефлексы всех обнаруженных фаз (рисунок 5). Рентгенофазовый анализ, проведенный после отжига при 750°С, показал наличие на поверхности образца со стороны циркониевого покрытия преобладающей фазы FeZr₂ (кроме α -Fe). Дальнейшие отжиги привели к распаду интерметаллида с высоким содержанием циркония (FeZr₂) и образованию цирконида Fe₂Zr. Результаты рентгенофазового анализа образца со стороны циркониевого покрытия, подтверждают данные о фазовых превращениях, полученные с помощью мессбауэровской спектроскопии. В то время как, с обратной стороны образца во всем интервале температур отжига, регистрировались только рефлексы, характерные для α -Fe.



Рисунок 5. Рентгеновские дифрактограммы со стороны покрытия образца α -Fe с $d_{Zr}=2$ мкм после изохронных (t=24) отжигов; $t_{отжr}$ °C: 20 (a), 750 (б), 850 (в), 900 (г)

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что последовательность фазовых преобразований при взаимной диффузии Zr и Fe подчиняется следующей схеме:

$$\alpha$$
-Fe+Zr $\xrightarrow{700^{\circ}C} \alpha$ -Fe+Zr₂Fe+Zr₃Fe $\xrightarrow{850^{\circ}C} Z$

 α -Fe+ZrFe₂ $\xrightarrow{900^{\circ}C}$ α -Fe+ZrFe₂+Fe₃Zr.

Получено относительное количество фаз, формирующихся в объеме образца на каждом из этапов отжига.

Показано, что направленность фазовых превращений определяется изменением локальной концентрации компонентов в образце в процессе их взаимной диффузии.

Литература

- 1. Matcovic T., Kesic-Racan M., Matcovic P.//Metalurgija, 1986. V. 25, N 3. P. 87-91.
- 2. Свечников В.Н., Пан В.М., Спектор А.Ц.//Журнал неорганической химии, 1963. Т. 8, № 9.- С. 2118 2123.
- 3. Rhines F.N., Gould R. W//Advan. X ray Anal., 1963. V. 6. P. 62 73
- 4. Бабикова Ю.Ф., Филиппов В. П., Штань И.И.//Атомная энергия, 972. Т. 32, № 6. С. 484 485.
- 5. Парфенов Б.Г., Герасимов В. В., Венедиктова Г. И. Коррозия циркония и его сплавов. М.: Атомиздат, 1967.
- 6. Kadyrzhanov K.K., Turkebaev T.E., Udovsky A.L. //Nucl. Instr. Meth., 1995. V.103B. P.38.
- Kadyrzhanov K.K., Rusakov V.S., Turkebaev T.E., Vereshchak M.F., Kerimov E.A., Plaksin D.A. //Hyp. Int, 2002. -V.141/142. - P.453.
- Кадыржанов К.К. и др. Изучение физических основ ионно-лучевых технологий для получения стойких поверхностных слоев конструкционных материалов//Отчет о НИР. - Алма-Ата, 1992. - 36 с.
- 9. Русаков В.С. Восстановление функций распределения сверхтонких параметров мессбауэровских спектров локально неоднородных систем//Известия РАН, серия физическая, 1999. Т.63, №7. С.1389-1396.
- 10. Rusakov V.S., Chistyakova N.I. Mossbauer Program Complex MSTools//LACAME'92. Buenos Aires, Argentina, 1992. C. 7-13.
- 11. Николаев В.И., Русаков В.С. Мессбауэровские исследования ферритов. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1985. 224 с.
- 12. Русаков В.С. Мессбауэровская спектроскопия локально неоднородных систем. Алматы, 2000. 430 с.
- 13. Ghafari M., Gonser U., Wagner H.G., Naka M.//Nucl. Instr. Meth., 1982. V.199. P.197.
- 14. Дехтяр И.Я. и др.//Металлофизика, 1984. Т.6. № 6. С.100.
- 15. Vincze I. et al //Solid State Comm., 1981. V37. P.567.

ЦИРКОНИЙ ҚОНДЫРЫЛҒАН ТЕМІРДЕ ИЗОХРОНДЫҚ ӨҢДЕУЛЕРДЕН КЕЙІН ПАЙДА БОЛАТЫН ФАЗАЛЫҚ ТҮРЛЕНУЛЕРДІ ЗЕРТТЕУ

Арғынов А.Б., Жұбаев А.Қ., Русаков В.С., Түркебаев Т.Е., Қадыржанов Қ.К.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институтты, Алматы, Қазақстан

α-темір ұлпалары беттікке магнетрондық тұндырумен цирконийді қондырылыудан және 400-1100°С температуралық аралығында изохрондық өңдеулерден кейін мессбауэрлік спектрскопия және рентгенфазалық талдау әдістерімен зерттелді. Фазалық түрленулердің жүйелілігі және үлгілердің көлемінде темірлі фазалардың салыстырма мөлшері анықталды. Фазалық түрленулердің бағыты үлгілердің көлемінде компоненттердін жергілікті концентрациясымен айқындалатыны көрсетілді.

STUDY OF PHASE FORMATION PROCESSES IN THIN FOILS OF α-IRON WITH ZIRCONIUM COATING AT THERMAL ANNEALING

A.B. Argynov, A.K. Zhubaev, V.S. Rusakov, T.E. Turkebaev, K.K. Kadyrzhanov

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Mossbauer spectroscopy and x-ray phase analysis methods were used to investigate α -Fe samples after zirconium coating by means of magnetron sputtering method and consecutive isochronous annealing in temperatures interval 400-1100°C. Phase transformation secession was fixed. Relative quantity of phase was obtained that was forming in sample capacity at each of annealing stages. It was shown that phase transformation orientation was determined by change of local component concentration in sample in the process of their mutual diffusion.

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ТОПЛИВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ИВГ.1М НА СПЛАВ U – М₀

Алейников Ю.В., Прозорова И.В., Прозоров А.А., Лазурина Ю.В.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты расчетно-теоретического исследования нейтронно-физических параметров реактора ИВГ.1М [1] в случае замены топлива активной зоны на перспективное топливо из сплава UMo. С помощью расчетного кода MCNP/4B, предназначенного для решения задач переноса излучения в произвольной трехмерной геометрии, определены эффективный коэффициент размножения для реактора, начальный запас реактивности, относительное значение плотности потока нейтронов, удельное энерговыделение.

Снижение обогащения топлива реактора позволяет уменьшить количество используемого на территории РК ядерного топлива высокой степени обогащения, пригодного для использования в качестве оружейного, привести реактор ИВГ.1М в соответствие требованиям МАГАТЭ, и, следовательно, решать вопросы использования исследовательского реактора ИВГ.1М в рамках международных проектов и контрактов.

Переход на топливо пониженного обогащения требует увеличения загрузки ТВС U-235 для компенсации дополнительного поглощения нейтронов в U-238. Выбор загрузки ТВС ураном пониженного обогащения определяется из условий сохранения нейтронно-физических характеристик реактора (запас реактивности, глубина выгорания, кампания, плотность потоков нейтронов в экспериментальных устройствах). Существенно, что увеличение загрузки ТВС должно происходить без изменения наружной геометрии твэлов, что означает сохранение неизменным такого важного параметра, как отношение металл-вода в активной зоне. Это направление имеет ограничение технологического характера, обусловленное сложной конструкцией твэлов типа ВОТК. Более перспективным направлением является разработка новой более простой конструкции твэла (предположительно стержневого типа) и ТВС на его основе при сохранении размеров и условий эксплуатации активной зоны. Технические решения, закладываемые в конструкцию твэлов нового типа, должны позволить использовать более высокое объемное содержание ядерного топлива в твэле, упростить технологию изготовления твэлов, снизить их себестоимость, что должно улучшить экономические показатели активной зоны в целом. На сегодняшний день разработан универсальный стержневой твэл нового поколения, который должен обеспечить современный уровень исследовательских реакторов [2]. В качестве перспективного топлива рассматриваются варианты сплава UMo с содержанием урана свыше 8 г/см³.

Тепловыделяющая сборка МР

Основой конструкции ТВС МР [3] является трубчатый бесшовный трехслойный тепловыделяющий элемент (твэл), средний слой которого топливная урановая композиция (сплав UMo в алюминиевой матрице), периферийные слои - оболочки из алюминиевых сплавов. Твэлы имеют различные профили поперечного сечения. Варьируя данными профилями, а также массой урана в твэле, можно скомплектовать ТВС с любыми заданными эксплуатационными характеристиками. В данной конструкции заложена возможность варьирования количества твэлов в ТВС (шести-, пяти- и четырехтвэльной модификации). Это необходимо для формирования внутренней свободной полости (Ø20, Ø29 или Ø38 мм), в которой возможно размещение органов управления и защиты реактора, а также различных экспериментальных устройств. На рисунке 1 представлена конструкция ТВС МР, а на рисунке 2 представлены различные варианты форм и размеров внутренней полости различных модификаций ТВС МР. В таблице 1 даны технические характеристики условия эксплуатации ТВС МР.

Таблица 1. Технические характеристики условия эксплуатации ТВС МР

Количество твэлов в ТВС, шт.	6 (5;4)
Тип твэла	трехслойный, дисперсионный
Толщина стенки твэла, мм	2,0
Материал оболочек твэлов и концевых деталей	алюминиевый сплав
Топливо	металлокерамика
Теплоноситель	вода обессоленная
Температура теплоносителя, °С	до 110
Температура оболочки твэла, °С	до 180 (кипение на поверхности твэлов не допускается)
Средняя глубина выгорания ²³⁵ U в выгружаемой ТВС, %	Не менее 40



Рисунок 1. Конструкция шеститвэльной ТВС МР



Рисунок 2. Варианты формы и размеров внутренней полости различных модификаций ТВС МР

Твэл стержневого типа

Рассматривается дисперсионный твэл стержневого типа [4,5], который можно использовать для комплектации ТВС различных типов исследовательских реакторов как существующих, так и вновь создаваемых. Технология изготовления твэла допускает разнообразие его конфигурации. На рисунке 3 показан внешний вид и возможные профили поперечного сечения твэла.





б – возможные профили поперечного сечения твэла

Рисунок 3. Варианты конструкции дисперсионного твэла стержневого типа

Таблица 2. Варианты размеров стержневого твэла

Описанный диаметр d _c , мм	Ширина ребра Δ, мм	Высота ребра Н, мм	Размер стороны квадрата А, мм	Толщина плакировки δ, мм	Площадь топливного элемента, мм ²	Периметр топливного элемента, мм	Площадь топливной композиции, мм
4,85	0,4	0,6	2,88	0,3	9,08	15,65	5,19
5,20	0,5	0,75	2,97	0,3	10,07	17,05	5,65

МАТЕРИАЛ ТОПЛИВНОГО СЕРДЕЧНИКА

В качестве наиболее перспективного топлива рассматриваются сплавы урана с молибденом. Их применение позволит значительно повысить содержание урана в топливной композиции. При использовании диоксида урана оно составляет не более 3,0 – 3,5 г/см³, а сплавов урана с молибденом - до 6 – 7 г/см³. В первую очередь предполагается использовать сплав урана с 9% мас. молибдена (OM-9). Этот сплав достаточно широко исследован и успешно использовался в твэлах первой AC, Билибинской AC и в реакторе AMБ на Белоярской AC [5].

Содержание урана в сплаве ОМ-9 составляет примерно 16 г/см³. Сплав обладает высокой радиационной стойкостью, малым распуханием под облученивысокой прочностью И пластичностью, ем. технологичностью, повышенной коррозионной стойкостью в воде высоких параметров. В процессе технологических операций изготовления твэлов, связанных с нагревом до температур порядка 450°С структура сплава не меняется. В настоящее время проводятся исследования сплава ОМ-9 и сплавов с несколько меньшим, примерно до 6%, массового содержания молибдена. Исследуется влияние содержания основного легирующего элемента молибдена, а также добавок алюминия, кремния и олова на структуру, фазовый состав и свойства сплавов.

Предполагается, что малые добавки алюминия, кремния, олова, образующие при термообработке дисперсные выделения интерметаллидов будут способствовать уменьшению распухания сплавов под облучением [6]. Однако, поскольку указанные сплавы с молибденом обладают достаточно высокой радиационной стойкостью под облучением, большее значение с точки зрения обеспечения работоспособности твэлов имеет совместимость топливного сплава с материалом матрицы – алюминием.

В процессе технологических операций изготовления твэлов исследованные сплавы урана с молибденом вполне совместимы с алюминием, однако, в процессе эксплуатации в условиях исследовательских реакторов возможно взаимодействие уранового сплава с алюминиевой матрицей приводящее к существенному увеличению объема топливной композиции. Поэтому проводятся подробные исследования совместимости уранмолибденовых сплавов с алюминием и поиски путей улучшения этой совместимости.

Эффективным способом улучшения совместимости топлива на основе уран-молибденовых сплавов с матричным материалом - алюминием представляется легирование топлива или матричного материала небольшими добавками элементов, уменьшающих взаимодействие уран-молибденовых сплавов с алю-



Рисунок 4. Стержневой твэл

Разрабатывается твэл с поперечным сечением в

виде квадрата, имеющий спирально закрученные
минием. При этом не вносится изменений в технологию изготовления твэлов.

Материал оболочки

В качестве материала оболочки в промышленных и исследовательских реакторах широко применяются алюминиевые сплавы. Они обладают хорошими ядерно-физическими характеристиками, высокой теплопроводностью и механическими свойствами, которых мало изменяются под воздействием облучения. В промышленных реакторах алюминиевые сплавы работают при скоростях потока 4-10 м/с, температурах теплоносителя до 200°С, а оболочек до 260°С (при толщине стенки 1-1,5 мм) и показывают высокую эксплуатационную стойкость. Есть опыт их использования в качестве оболочек трансурановых элементов в реакторах СМ-2 и МИР.

ВАРИАНТЫ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

При проведении расчётов рассматривались следующие модели:

 с обогащением топлива активной зоны по ²³⁵U 10% (топливо UMo (9% Mo));

- с обогащением топлива активной зоны по ²³⁵U 15% (топливо UMo(9% Mo));
- с обогащением топлива активной зоны по ²³⁵U 19,75% (топливо UMo(9% Mo)).

Конструктивные особенности и основные параметры предполагаемых топливных сборок представлены в таблице 3.

Материальный состав и геометрические размеры основных элементов активных блоков (АБ) ВОТК представлены в таблице 4. Модельная активная зона передает все основные особенности реальной активной зоны реактора.

Материальный состав и геометрические размеры основных элементов активных блоков (АБ) предполагаемых топливных сборок представлены в таблице 5. При расчете рассматривались варианты с непрофилированным топливом. Во всех расчётах геометрия моделей реактора не менялась. Варианты расчётных моделей для различного обогащения приведены в таблице 6.

Тип ТВС	Количество топливных элементов	Описанный диаметр d _c , мм	Площадь сечения, мм ²	Площадь топлива, мм ²	Поверхность теплосъема в единице объема активной зоны, см ² /см ³	Доля топливной смеси
MP-6 твэльная	6	70, 61, 52, 43, 34, 25	3848,45	686,12	3,86	0,267
MP-5 твэльная	5	70, 61, 52, 43, 34	3848,45	628,32	3,52	0,245
MP-4 твэльная	4	70,61,52, 43	3848,45	547,90	3,07	0,214
СТ (Стержневой твэл)	169	5,2	2454,4	878,531	5,97	0,358

Габлии	ıa 3.	Геомет	рические :	каракте	ристики	топливных	сборок
			r		- · · · · · · · · · · ·		

Таблица	4. Mamep	чальный с	гостав и ге	ометрическ	ие размерь	о основных	элементов .	4Б І	вотк
---------	----------	-----------	-------------	------------	------------	------------	-------------	------	------

№ п/п	Наименование параметра	Материал	Геометрические размеры, мм
1	Корпус АБ	Сплав Амг6	Ø76×3
2	Высота АБ ВОТК I, ВОТК II	-	800
3	Высота АБ ВОТК III	-	600
4	Диаметр пакета твэлов UZr	_	66,4
5	Дистанцирующие заполнители	сплав Э110	Ø1,6 и 2,2
6	Твэлы топливной зоны	UZr, обогащение по ²³⁵ U 90%	Поперечное сечение 2,8x1,5
7	Оболочка твэлы	сплав Э110	Толщина 0,3

Таблица 5. Материальный состав и геометрические размеры основных элементов активных блоков (АБ) предполагаемых топливных сборок

№ п/п	Наименование параметра	Материал	Геометрические размеры, мм
1	Корпус АБ	Сплав Амг6	Ø76×3
2	Высота АБ	_	800
3	Оболочка твэлы	Сплав 99	Толщина 0,3
4	Замещающее топливо	Сплав UMo в алюминиевой матрице, обогащение по ²³⁵ U 5-20%	

Таблица	6.	Варианты	расчётных моделей
		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	F

№ варианта	Содержание UMo сплава (делящейся фазы) в матрице, вес.%	Плотность урана, г/см ³	Плотность топлива UMo+AI, г/см ³
1	50	7,74	9,85
2	45	6,96	9,14
3	40	6,19	8,42
4	37,8	5,85	8,11
5	35	5,41	7,71
6	29,5	4,56	6,92
7	25	3,87	6,28
8	20	3 09	5 56

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТОВ

Расчеты выполнены для 3 миллионов историй, что является вполне достаточным для получения удовлетворительной точности расчетов по программе. Среднестатистическая погрешность расчета не превышает 3,73% при доверительном интервале 1 о.

В результате расчетов решены следующие задачи:

- определены значения эффективного коэффициента размножения для каждого варианта;
- определены значения запаса реактивности для каждого варианта;
- определены значения плотности потока нейтронов для каждого варианта.

На рисунке 5 для различных ТВС по результатам расчета показано изменение запаса реактивности ($\Delta K/K_{3\varphi}$, %) в зависимости от загрузки ²³⁵U (г/канал) в ВОТК.

На рисунке 6 приведено изменение относительного значения потока тепловых нейтронов в зависимости от запаса реактивности для различных ТВС.

По результатам расчетов видно, что с увеличением загрузки топлива в активной зоне реактора, запас реактивности увеличивается для всех вариантов обогащения. В тех случаях, когда используется дисперсионный сплав урана ОМ-9 с обогащением выше 10%, запаса реактивности повышается по сравнению с существующим в настоящее время (~3,0β_{3ф}).

Для реактора существующая система компенсации реактивности состоит из 12 СКР [7] с эффективностью около 5 $\beta_{3\phi}$ и 10 регулирующих барабанов эффективностью около 11 $\beta_{3\phi}$. При замене топлива можно рассматривать модели, которые имеют запас реактивности от 10 до 17 $\beta_{3\phi}$.

Из рассмотренных конструкций ТВС оптимальными по значению $K_{3\phi}$, (ρ) и относительным значениям плотности потока являются ТВС типа МР (6твэльной конфигурации) или ТВС стержневого типа с обогащением топлива 19,75%.:

- модель 6-твэльной ТВС с топливом обогащением 19,75% по ²³⁵U, в котором содержание делящейся фазы (UMo сплав) в алюминиевой матрице 25 %, значение плотности потока тепловых нейтронов 0,841 относительно существующего;
- модель ТВС с твэлами стержневого типа с топливом обогащением 19,75% по ²³⁵U, в котором содержание делящейся фазы 20%, значение плотности потока тепловых нейтронов 0,893 относительно существующего.



Рисунок 5. Изменение запаса реактивности в зависимости от загрузки²³⁵U в ВОТК для ТВС МР



Рисунок 6. Изменение относительного значения потока тепловых нейтронов в зависимости от запаса реактивности для ТВС

Значения плотности потока тепловых нейтронов во всех рассмотренных случаях меньше на ~20%, чем существующее значение.

Использование 6-трубных ТВС типа МР имеет ряд недостатков:

- практически твэлы типа МР соответствуют необходимым параметрам эксплуатации и имеют достаточную надежность. Однако конструкция твэлов (тонкостенные трехслойные трубы различной конфигурации) обуславливает сложность технологии их изготовления;
- конструкция и технология изготовления твэлов существенно ограничивают возможности повышения топливной составляющей, что затрудняет решение задачи по использованию низкообогащенного топлива.

Преимущества использования 6-твэльной ТВС типа МР:

 размещение позволяет обеспечить равномерность энерговыделения во всех твэлах одного канала. Тем самым нет необходимости в изготовлении твэлов нескольких типов для одного канала (в том числе, для реактора). Это упрощает и удешевляет изготовление технологических каналов реактора;

 в центре канала образуется полость, в которую могут быть установлены поглотители нейтронов, требуемые для компенсации избыточной реактивности. Кроме того, в полости может быть размещен дополнительный замедлитель нейтронов и тогда появляется возможность варьирования составом этого замедлителя для оптимизации нейтронно-физических характеристик активной зоны.

Таким образом, проведены расчеты по определению нейтронно-физических характеристик реактора ИВГ.1М при замене топлива активной зоны с UZr (90% обогащения по ²³⁵U) на дисперсионный уран-молибденовый (ОМ-9) сплав с различной степенью обогащения. По результатам расчетов можно сделать вывод о возможности использования топлива низкого обогащения. Возможно размещение в корпусе канала ВОТК вместо существующих ТВС типа МР шеститвэльной конфигурации с дисперсионным UMo топливом с обогащением 19,15% по урану-235.

Литература

- Жотабаев Ж.Р., Зеленский Д.И., Пивоваров О.С., Черепнин Ю.С., Сметанников В.П. Возможности экспериментальной базы Казахстана для испытаний элементов космических ядерных реакторов//Вестник НЯЦ РК/Атомная энергетика и безопасность АЭС. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. – Вып. 1. – С.7 – 14.
- Солонин И., Ватулин А.В., Стецкий Ю.А.и др. Разработка твэлов и ТВС нового поколения для исследовательских реакторов//Сборник докладов XII ежегодной конференции Ядерного общества России. «Исследовательские реакторы: наука и высокие технологии». - Димитровград, 2001.
- 3. Publicity booklet /OAO "NZHK". Novosibirsk, Russia
- 4. Vatulin A., Stetsky Y., Dobrikova I. Unification of Fuel Elements for Research Reactors//20th Int.Mtg. RERTR 97, Jakson Hole, Wyoming, USA, October 1997.
- 5. Решетников Ф. Г. Разработка технологии получения металлического урана и сплавов на его основе. Москва, 1995.
- 6. Сокурский Ю.Н. и др. Уран и его сплавы. М.: Атомиздат, 1976.
- 7. Подготовка и проведение энергетического пуска реактора ИВГ.1М: Отчет о НИР:- Инв № К-33148, 1991.

ИВГ.1М РЕАКТОРЫНЫҢ АКТИВТІК БЕЛДЕМІ ОТЫНЫН U – Мо ҚҰЙМАСЫНА АЛМАСТЫРУ МҮМКІНШІЛІКТЕРІНІҢ ЕСЕПТЕУ ЗЕРТТЕУІ

Алейников Ю.В., Прозорова И.В., Прозоров А.А., Лазурина Ю.В.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Казахстан

Активтік аймағының отынын келешекті UMo құймасынан отынына алмастыру оқиғасында ИВГ.1М реакторының нейтрон-физикалық параметрлерін есептеу-теоретикалық зерттеуінің нәтижелері келтірілген. Кез келген үшөлшемді геометриясында сәулеленуінің көшіру мәселелерін шешу үшін арналған MCNP/4B есептеу коды арқылы реактор үшін көбеюінің тиімді коэффициенті, реактивтілігінің бастапқы қоры, нейтрондар ағыны тығыздылығының салыстырмалы мәні, меншікті энергия шығаруы анықталған.

DESIGN RESEARCH OF THE POSSIBLE REPLACEMENT OF IVG.1M REACTOR CORE FUEL INTO U-Mo ALLOY

Y.V. Aleynikov, I.V. Prozorova, A.A. Prozorov, Y.V. Lazurina

Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Results of neutron-physics calculations, characteristics of IVG. 1M reactor in case of core fuel replacement to low enrichment fuel from UMO alloy was represented. By means of MCNP/4B design code, assigned for radioactive transport in three-dimensional geometry task solving, effective multiplication factor for reactor, initial reactivity margin, relative neutron flux density, specific energy release were defined.

УДК 546.28:539.2:621.315.59

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАССИВОВ РЕГУЛЯРНЫХ СТРУКТУР В КРЕМНИЕВОЙ МАТРИЦЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ И ДРУГИХ ПРИЛОЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Мигунова А.А.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Исследованы формирование продолжительным электрохимическим травлением и особенности строения микроканальных слоев на основе кремния. Использованы различные Si-подложки с несколькими уровнями легирования n- и p-типа проводимости двух основных кристаллографических ориентаций - (100) и (111). Выделено два морфотипа регулярных структур – микростолбчатая и микротрубчатая. Установлено, что варьированием макропараметров (плотность тока, состав электролита, время анодирования) можно управлять размером структурных элементов и их протяженностью; в объеме кремниевой матрицы может быть сформирован массив микрокапилляров с переменным сечением, на основе которых возможно изготовление фотонных кристаллов.

Введение

Массивы упорядоченных структур в с-Si относятся к классу материалов, объединенных под общим названием "пористый кремний" (ПК). Это был единственный объект, в котором полупроводниковые нано- и микроструктуры без особых технологических приемов можно было получать в макроскопических количествах – кубическими миллиметрами. ПК используется в ИМС/КМОП и КНД-структурах, является многофункциональным покрытием фотоприемников, солнечных элементов, испытывается как основа светоизлучающих и ультразвуковых устройств и считается перспективным оптоэлектронным материалом. Самым современным направлением в области физики и технологии ПК стало получение, исследование и применение микроканальных пластин (рисунок 1). Это обусловлено потребностями микро- и нанотехнологий, использующих модифицирование в широких диапазонах свойств полупроводниковых материалов путем введения различных наполнителей в ячеистую основу или изменения размеров структурообразующих кристаллитов.



Рисунок 1. Микроканальная Si-пластина

В числе прочих можно выделить две категории прикладных разработок с участием ПК.

Газовые и химические сенсоры и миниатюрные микросенсоры [1] на основе ПК для надежного мониторинга очень низких концентраций загрязняющих примесей, таких как NO_x , SO_2 , CO, O_3 и ароматических углеводородов неэтилированного бензина, алкилов и спиртов.

Фотонные кристаллы (ФК) и микрорезонаторы [2]. С общей точки зрения ФК является сверхрешеткой – средой, в которой конструируется профиль диэлектрической проницаемости или коэффициент преломления с периодом, на порядки превышающим период основной решетки в одном (1D), двух (2D) или трех (3D) направлениях. Распространение излучения в таких решетках определяется условием максимума интерференции света, рассеянного на узлах, и зависит от угла между направлением волнового вектора и осями дифракционной решетки ФК. При рассеянии фотонов на 1D- и 2D-структурах всегда находятся такие направления распространения дифрагировавших лучей, для которых условие максимума интерференции выполнено. В трехмерном случае условие максимума интерференции для данной длины волны света может оказаться невыполнимым ни для одного из направлений в пространстве. Распространение фотонов с такими длинами волн в трехмерном кристалле невозможно, а соответствующие им энергии образуют запрещенные фотонные зоны (photonic band gap, PBG). В настоящее время наибольший интерес представляют фотонные кристаллы, для которых PBG лежит в видимой (400 – 700 нм) или в ближней инфракрасной (1 – 1,5 мкм) областях спектра. В 1987 году Эли Яблонович ввел понятие запрещенной зоны для электромагнитных волн. По аналогии с электронными материалами, можно говорить о фотонных проводниках, диэлектриках и полупроводниках. Использование фотонных полупроводников удобно для организации управления световыми потоками. Это можно делать, например, влияя на положение и ширину запрещенной зоны

(зонная инженерия). Прикладной интерес к ФК на Si связан с перспективой изготовления на их основе устройств современной фотоники и оптоэлектроники новых типов волноводов, оптических транзисторов, переключателей, фильтров, мультиплексоров, построения лазеров нового типа, высокоэффективных светодиодов, оптических компьютеров, хранения и передачи информации на основе фотоники. Действительно, огромный скачок в быстродействии компьютеров может быть вызван использованием фотонов вместо сравнительно медленных электронов. Основой таких компьютеров могли бы послужить ФК. Роль примесных центров в ФК играют оптические каверны, захватывающие фотоны. Далее, при проектировании устройств на подобных кристаллах, можно было бы копировать полупроводниковые аналоги. Фотоны, являющиеся основными носителями информации в оптическом компьютере, представляют собою частицы с нулевой массой покоя и нулевым электрическим зарядом, следствием чего являются многочисленные преимущества использования света для передачи и обработки информации: возможность параллельной передачи и обработки изображений одним пучком, возможность использования прозрачных сред для хранения, обработки и коммутации информации, возможность использования поляризации, возможность одновременной параллельной работы с различными длинами волн. Одной из задач в рамках этой проблематики является создание анизотропных ФК на анизотропном мезо-ПК, обладающем оптическим двулучепреломлением [3]. Предлагается заполнять этот объем жидким кристаллом, оптическая ориентация которого, как известно, легко изменяется в случае приложения внешнего электрического поля. Как показали расчеты, весьма реалистическими являются подобные ФК, запрещенная зона в которых может "включаться" и "выключаться" внешним напряжением. Неудивительно, что эта область исследований - одна из самых горячих в крупнейших мировых научных центрах, гигантах высокотехнологичного бизнеса и на предприятиях военно-промышленного комплекса.

Цель настоящих исследований, связанных с интересом к фотонным кристаллам на кремнии – создание протяженных полостей и кристаллитов в объеме монокристаллического кремния, исследование процессов формирования и характеризация полученных морфотипов структур.

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ И СПЕЦИФИКАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Получение ПК в подавляющем большинстве случаев выполняется в гальваностатическом режиме, когда процесс строго подчиняется законам электролиза Фарадея и легко поддается контролю. Обычно используют источники питания со стабилизацией по току [4]. В качестве электрохимической ячейки в данной работе (рисунок 2) выступал фторопластовый стакан с отверстием в дне и резиновым кольцом в качестве герметичного уплотнения. Siпластина закреплялась в ячейке посредством металлической платформы, одновременно выполняющей роль омического контакта. Внутри стакана вдоль всей его боковой поверхности размещалась платиновая лента, свернутая кольцом. При анодировании на платине должно быть отрицательное смещение, а на кремнии – положительное. Горизонтальное расположение Si-пластины наилучшим образом способствует удалению с ее поверхности пузырьков газообразных продуктов реакции травления. Электрохимический способ формирования ПК позволял получать толстые слои (ТПКС). Граница между определениями "толстый" и "тонкий" ПКС несколько размытая и в данной работе условно принята на уровне толщин ~ 1 мкм.

Формирование ТПКС включает получение однородных по поверхности пластины и селективных слоев, причем различные приемы позволяют получать селективность ПК как топографическую, так и по глубине. Это достигается различными технологическими решениями - комбинацией методов локального изменения типа проводимости (термодифионная имплантация, эпитаксия) фузия, маскирования [4]. При исследовании структурообразования ПК можно пойти по одному из двух путей: 1) варьируя параметры подложки (удельное сопротивление р, тип проводимости, кристаллографическую ориентацию); 2) изменяя условия обработки (плотность тока и состав электролита, время анодирования, а также уровень освещенности и величину температурного поля). В данном случае применялась комбинация обоих приемов.

Образцами служили Si пластины n- и p-типа, кристаллографической ориентации (100) и (111) с $\rho = 0,004; 0.44; 1; 4,5; 10; 20; 56 Ом × см (таблица 1).$



Рисунок 2. Электрохимическая ячейка

Тип проводимости	Ориентация (hkl)	Удельное сопротивление, ρ, Ом × см	Плотность тока, Ј, мА/см ²	Время, ч	ЭМ	РД	ЭДА	Толщина ПК-слоя, мкм
р	(100)	-	10–11	2	plan view	измен.	0	-
р	(100)	-	10–11	1	-	исход.	-	-
р	(100)	-	10–11	1	-	исход.	-	-
р	(100)	КДБ-20	10–11	1	-	измен.	-	-
р	(100)	КДБ-10	10–11	1	-	+	-	-
р	(100)	КДБ-10	10–11	1	трубчатая	исход.	-	50–70
р	(100)	КДБ-10	20–23	2 + 2	трубчатая	измен.	-	> 100
р	(100)	КДБ-10	38–45	1	трубчатая	измен.	0	-
р	(100)	КДБ-10	43–48	2	-	измен.	-	-
р	(100)	КДБ-10	10–11	1.5	трубчатая	измен.	-	40
n	(100)	КЭФ-1	10–11	1	-	исход.	-	-
n	(100)	КЭФ-1	10–11	3	plan view	измен.	-	-
n	(100)	КЭФ-1	10–11	3	столбчатая	измен.	0	390
n	(100)	КЭФ-4.5	10–11	3	столбчатая	измен.	-	200
n	(100)	КЭФ-4.5	10–11	5	-	измен.	-	-
n	(111)	0.004	10–11	4 + 1/4	пластинчатая	исход.	-	90
n	(111)	0.004	10–11	2	-	+	-	_
n	(111)	КЭФ-1	12	1 + 3	триангулярная	измен.	0, C, F	220
n	(111)	0.44	12	1 + 3	пластинчато- блочная	измен.	0, C, F	100

Таблица 1. Характеристики ПК-образцов, полученных анодированием

Анодирование проводилось в смеси HF(40%): EtOH = 1:1 при плотности тока 10–50 мA/см² в течении 0.5-5 ч. Полученные образцы исследованы (таблица 1) с использованием электронной микроскопии (ЭМ) и энергодисперсионного (элементного) с электронным анализа (ЭДА) микроскопом/микрозондом JEOL SUPERPROBE 733 и анализатором INCAx-sight (OXFORD), рентгеновской дифрактометрии (РД) на универсальном комплексе D8 ADVANCE (Bruker AXS) [5, 6]. Определение пористости и толщины ПКС выполнено по двум методам - весовому и электронной микроскопии.

Весовой метод: весы BP 221S (вес Pmax = 220 г, $\Delta P = 0.1 \text{ мг}$). Пористость P (%) = (($m_1 - m_2$)/($m_1 - m_3$)) × 100 %, где m_1 – вес исходного образца до анодирования, m_2 – после анодирования, m_3 – после растворения ПК в молярном водном растворе NaOH. Р достигала 65 %. Толщина слоя $h = (m_1 - m_3)/S \times d$, где d – плотность объемного кремния, S – площадь пластины, экспонировавшаяся в HF.

Электронная микроскопия: оценка по фотографии.

Модель контакта "кремний-электролит"

Известно, что для успешного селективного травления кремния необходимо обеспечить поступление дырок из Si-объема и отрицательных ионов фтора со стороны электролита к их общей границе. Плавиковая кислота сама по себе не является сильным электролитом, обычно на 100 молекул только 8 диссоциированы на ионы. Реакция избирательного растворения кремния описывается следующими химическими уравнениями [4]:

 $\text{Si} + 2 \text{ HF} + (2 - Z)h^+ \rightarrow \text{SiF}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

где Z < 2 - эффективная валентность растворения Si SiF_2+ 2HF \rightarrow SiF_4+ H_2 \uparrow

$$\begin{split} & \text{SiF}_4 + 2\text{HF} \rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6 \\ & \text{SiF}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{HF} + \text{H}_2\uparrow \\ & \text{SiO}_2 + 6\text{HF} \rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \end{split}$$

Электролит представляет собой окислительновосстановительную смесь и имеет суперпозицию двух энергетических гауссовых распределений (рисунок 3).



О – окислитель, В – восстановитель, Е_p – шкала энергий дырок, Е_n – шкала энергий электронов, Е_C – зона проводимости, Е_v – валентная зона, Е_g – запрещенная зона кремния, Е_F – уровень Ферми

Рисунок 3. Зонная энергетическая диаграмма контакта электролит/кремний

Граница полупроводник-электролит является распределенной гетерограницей между средами с ионной и электронной (дырочного типа) проводимостями. Со стороны n-Si приповерхностный изгиб энергетических зон будет соответствовать инверсному типу, в случае p-Si это будет слой обогащения основными носителями заряда - дырками. Особенности процесса перехода от активации травления к пассивации можно объяснить, принимая во внимание устойчивость кремния к действию HF в отсутствие смещения. В силу наличия слоя обеднения по каналу травления дырки будут оттесняться вдоль свободной поверхности от уже существующего канала. Поэтому реакция дальнейшего растворения кремния возможна на концах пор. Внутренняя поверхность вытравленных каналов изобилует оборванными связями, которые в свежеприготовленном ПК пассивируются водородом с образованием SiHxкомплексов (где x=1-3). Однако после пребывания на воздухе или в другой среде (в том числе и в жидкой) водород вытесняется кислородом, углеродом и другими атомами и молекулами.

Результаты и обсуждение

Морфология ТПКС, в первую очередь, зависит от кристаллографической ориентации подложки. По этому признаку могут быть выделены два существенно различных морфотипа: (100) и (111).

Толстые (100)-ПКС состоят из двух слоев: верхнего и основного с уникальными протяженными структурными элементами. Толщина верхнего слоя достигает 100 мкм, основного – нескольких сотен микрон и может быть выполнена на всю толщину подложки.

Верхний слой образован из волокнистых хаотически ориентированных нанокристаллитов, нередко окруженных полуаморфной матрицей переменного состава SiO_x с содержанием О до 45 ат.% в первых 3 мкм приповерхностной области (глубина проникновения микрозонда при ЭДА-анализе). На всех образцах поверхность получается сильно растрескавшейся из-за больших сил поверхностного натяжения, рассогласования решеток отдельных слоев ПК между собой и с подложкой, макронапряжений. Верхний слой подробно описан в мировой литературе после открытия у ПК люминесцентных свойств [7, 8].

Направление роста пор – к источнику большего количества дырок и вдоль <100> кристаллческих направлений с пассивацией (111)-плоскостей. Для случая <100> подложек эти направления совпадают. Травление продолжается до тех пор, пока его фронт натолкнется на {111}-плоскости, то есть, стенки пор имеют {111}-плоскости.

На величину и форму поперечного сечения пор влияет плотность тока. Диаметр пор зависит от критической плотности тока J_{PS} на концах пор, которая сама зависит от концентрации объемного электролита, температуры и диффузии в порах. Высокие пористости и более широкие поры лучше получаются при более высоких плотностях тока и более низких (менее проводящих) концентрациях HF. Пористость зависит от плотности тока, размеры и форма пор от типа и уровня легирования подложки, направление распространения пор – от кристаллографической ориентации, толщина ПК-слоя – от времени травления, степень структурного совершенства – от стабильности процесса порообразования и гомогенности подложки. Состав электролита, вариации его температуры, а также спектральный состав и интенсивность подсветки во время анодирования также относятся к структурночувствительным факторам [9, 10]. Освещение увеличивает концентрацию дырок, без которых невозможно электрохимическое растворение поверхности Si, где существуют петли, изломы, дефекты и напряженные области.

Процесс порообразования зависит также от состава электролита. Этанол пропускается порами, тогда как вода - нет. Это может быть объяснено смачиваемостью и капиллярными явлениями в ПК, которые известны для высокогидрофобных и органофильных материалов. Скорость травления ПКС в чистом водном растворе очень низкая по сравнению с достигаемой в спиртовом растворе. Спиртовой раствор НF полностью пропускается порами и вовлекается вся внутренняя поверхность, приводя к высоким потерям массы. Этанол не участвует в реакции, его роль только в обеспечении просачивания жидкости. Скорость травления ПК в HF-растворе не прямо коррелирует с концентрацией HF, но с pH раствора. Скорость травления увеличивается с увеличением рН (ОН-концентрацией) раствора.

Основной слой формирует плотная система протяженных микрокристаллитов порядка нескольких микрон в поперечнике. Они выстраиваются вдоль (100)направления. Для (100)-морфотипа ПКС вторым влияющим на структурообразование фактором является тип проводимости. На *p*-типа подложках получается трубчатое, а на *n*-типа – столбчатое строение. Соотношение работ выхода: Ф _{электролита} > Ф _{Si}.

Для п- и р-типа различны механизмы образования капиллярных структур. При подаче положительного смещения на кремниевую пластину в случае п-типа развивается пробойный механизм, а в ртипа работает туннельный эффект (рисунок 4).

(100)-n-МОРФОТИП: микростолбчатая структура

Для *n*-типа ПКС характерно формирование микростолбчатой структуры основного слоя (рисунок 5) вдоль силовых линий тока, проходивших в образце при анодировании. Стенки столбчатых кристаллитов могут иметь субструктуру в виде поперечных насечек.



Рисунок 4. Зонные диаграммы: a – n-тип (обратное смещение, запирающий слой L, высокий барьер); б – p-тип (прямое смещение, антизапирающий слой L, низкий потенциальный барьер)

В столбчатой структуре количество атомов кислорода убывает вглубь от 12 до 7 ат. % и приходится на стенки столбчатых кристаллов. Как и в данном случае, авторами [1] для *n*-ПКС обнаружено боковое ветвление, то есть субмикронные поры, параллельные поверхности (100) и отходящие от основных протяженных параллельных друг другу микрокапилляров.

(100)-р-МОРФОТИП: микротрубчатая структура

На кремнии *p*-типа проводимости при достаточно продолжительных временах анодирования (более 20 мин) формируется микрокапиллярная или микротрубчатая структура основного слоя (рисунок 6), что отмечается и в [11]. Как правило, верхний слой на несколько десятков микрон тоньше, чем в случае *n*-Si. Однако, ему также свойственно растрескивание на макроскопическом уровне вследствие больших сил поверхностного натяжения, возникающих при испарении остатков спиртосодержащего электролита с поверхности после извлечения образца из травителя на воздух. На стенках капилляров количество внедрившегося кислорода достигает 30 ат. %.



Рисунок 5. Поперечный скол (100)-п-ПКС

Дифрактограммы толстых (100)-ПКС после продолжительного анодирования (более ≈ 30 мин) преобразуются из моно- в поликристаллический вид (рисунок 7). К основным (200) и (400)-рефлексам присоединяются дополнительные (111), (220), (311), (422), (511), (620). За такие изменения ответственен верхний слой с хаотическими кристаллитами. С увеличением толщины этого слоя, другими словами, времени анодирования, увеличивается интенсивность дополнительных пиков. После удаления верхнего слоя остаются некоторые "следы" "поликристаллических" пиков, что обусловлено наличием тонкого нанокристаллического слоя вдоль внутренней, либо внешней боковой поверхности микрокристаллитов, откуда удалить его практически невоз-Наблюдение можно. перехода рентгенодифракционной картины от моно- к поликристаллическому виду на (100)-ПКС характерно как для *n*-, так и для *p*-типа. В таблице 1 (графа «РД») внесены пометки о том, произошло изменение типа дифрактограммы, или же он остался характерным для исходной Si-подложки.



Рисунок 6. Скол (100) р-типа ПК-образца: а – общий вид трубчатой структуры (резкая граница с подложкой и слоистая псевдоподслойка), б – микроканалы не обнаруживают тонкой структуры (средний внутренний диаметр каналов около 3 мкм), в – длина трубок может достигать нескольких сотен микрон



Рисунок 7. Дифрактограммы (100)-ПК с различными толщинами верхнего и основного слоев: 1 – исходная подложка, 2 – после 1 ч травления, 3 – после 3 ч травления, 4 – ПК без верхнего нанопористого слоя

(111)-морфотип

Для (111)-ПКС вторым формирующим фактором является не тип проводимости, а уровень легирования. На высоколегированных и вырожденных подложках образуется пластинчатая структура, на низко- и умеренно легированных – блочное строение.

Пластинчатая структура имеет ограничение по толщине. Она редко достигает 100 мкм, после чего верхние пластинки отделяются вследствие критических напряжений. Поэтому наряду с углублением процесса структурообразования происходит послойное стравливание.

Блочная структура сформирована как параллельными, так и перпендикулярными поверхности блоками. Характеристический размер блоков достигает десятков мкм. Блоки имеют чешуйчатую субструктуру на уровне нескольких микрон.

С точки зрения рентгеновской дифракции пластинчатая структура не меняется и после 4.5 ч травления. На скане присутствуют только основные линии – сильная (111), слабая (222) и размытая (333). Блочная структура приводит к изменению монокристаллического типа дифракционной картины на поликристаллический с добавлением (220), (311), (331) и (422)рефлексов. Эти плоскости выявляются с появлением перпендикулярных к поверхности образца блоков за времена анодирования 1–4 и более часов. Параллельные поверхности блоки формируют базовые рефлексы. (111)- морфотип ПКС не позволяет создавать упорядоченные вытянутые формы и менее перспективен с технологической точки зрения (таблица 1). Рентгендифрактометрические кривые качания образцов ПКС в окрестности различных пиков позволили судить о степени рассогласования решеток

подложки и ПКС. Если для кремния а = 5.43088 Å, то, в зависимости от степени пористости слоя, его толщины и элементного состава, несоответствие постоянных $\Delta a/a$ варьируется от 10^{-4} (или 0.002 %)

до 10^{-2} (0.18 %) при а_{ПКС} = (5.43142 - 5.48519) Å.



Рисунок 8. Поперечное сечение микростолбчатой структуры с вариацией размеров кристаллитов

Литература

- 1. Angelucci R., Poggi A., Dori L., Cardinali G.C., Parisini A., Pizzochero G., Trifiro F., Cavani F., Critelli C., Boarino L.Porous silicon layer permeated with Sn–V mixed oxides for hydrocarbon sensor fabrication //Thin Solid Films, 1997. V. 297. P. 43–47.
- 2. Долгова Т.В., Майдыковский А.И., Мартемьянов М.Г., Маровский Г., Маттеи Дж., Шумахер Д., Яковлев В.А., Федянин А.А., Акципетров О.А. Гигантская вторая гармоника в микрорезонаторах на основе фотонных кристаллов пористого кремния//Письма в ЖЭТФ, 2001. - т. 73. - № 1. - С. 8.
- 3. Акципетров О.А., Долгова Т.В., Соболева И.В., Федянин А.А. Анизотропные фотонные кристаллы и микрорезонаторы на основе мезопористого кремния//ФТТ, 2005. Т. 47, вып. 1. С. 150–152.
- Николаев К.П., Немировский Л.Н. Особенности получения и области применения пористого кремния в электронной технике//Полупроводниковые приборы. - М.: ЦНИИ, 1989. - Серия 2, вып. 9. – С. 3–59.
- Migunova A.A. Thick porous silicon layers morphology investigations// Proceedings of the 8-th Int. Conf. "Solid State Physics", Almaty, Aug. 23–26, 2004. - P. 118–124.
- 6. Мигунова А. А., Глазман В. Б. Исследование морфологии толстых слоев пористого кремния//Известия МОН РК, сер. физ.-мат., 2004. № 6. С.20-27.
- Porous Silicon. Editors: Zhe Chuan Feng, Raphael Tsu. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore–New Jersey– London–Hong Kong, 1994. – P. 465.
- Porous silicon. Science and Technology. Winter School. Les Houches, 8 to 12 Feb. 1994. Ed.: J.-C. Vial, J. Decrien, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.- P. 355.
- 9. Collins R. T., Fauchet P. M., Tischler M. A. Porous silicon: from luminescence to LEDs. //Physics Today, 1997, January, p. 24-31.
- Горячев Д. Н., Беляков Л. В., Сресели О. М. Формирование толстых слоев пористого кремния при недостаточной концентрации неосновных носителей. // ФТП, 2004, т. 38, вып. 6, с. 739–744.
- 11. Cachet H., Bruneaux J., Folcher G., Levy-Clement C., Vard C., Neumann-Spallart M. n-Si/SnO₂ junction based on macroporous silicon for photoconversion. // Solar Energy Materials and Solar Cells, 1997, v. 46, p. 101–114.

К сожалению, ЭДА-метод не позволяет наблюдать за поведением водорода в ПКС. Поскольку ПКС в различной степени окисляются в растворе или после извлечения на воздух, содержание О может быть значительным. Иногда регистрируется С, захваченный из воздуха, а в блочных (111)-структурах небольшие количества F детектируются спустя неделю после анодирования от остатков электролита, удерживаемого глубоко в порах (таблица 1).

Варьированием плотности тока можно послойно модифицировать поперечное сечение составляющих упорядоченную структуру кристаллитов. Чередование слоев задается не только модуляцией тока, но и временем травления на каждый слой (рисунок 8). Совершенствованием этой техники макропараметрического управления структурной самоорганизацией ПКС можно конструировать фотонные кристаллы.

Таблица 2. Данные послойного ЭДА-анализа поперечного сечения ФК на ПК

N⁰	О, ат. %	Si, ат. %	N⁰	О, ат. %	Si, ат. %
1	10.91	89.09	3	8.60	91.40
2	12.33	87.67	4	7.43	92.57
Приг	иечание – Ну	мерация сло	ев соо	тветствует р	исунку 8

Выводы

Выполнена характеризация морфологических типов микроканальных слоев, полученных на основе пористого кремния.

Показана возможность создания на основе кремниевых регулярных структур фотонных кристаллов и других устройств для электроники.

Дальнейшая работа должна быть посвящена устранению некоторого разброса по размерам кристаллитов и получению систем более однородных высокоупорядоченных микроканальных кремниевых образований.

ФОТОНДЫҚ КРИСТАЛЛДАРЫН ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКАНЫҢ ӨЗГЕ ӨНІМДЕРІН ЖАСАУ УШІН КРЕМНИЙ МАТРИЦАСЫНДА ЖҮЙЕЛІ ҚҰРЫЛЫМДАР МАССИВТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Мигунова А.А.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Ұзақ мерзімді электрхимиялық өңдеу әдісімен кремний негізіндегі микроарналық қабаттардың қалыптасуы және олардың ерекшеліктері зерттелген. Екі негізгі (100) және (101) кристаллографиялық бағыттарының пжәне р-түрлі өткізгіштігін легирлеуінің бірнеше деңгейі бар әр түрлі Si-төсеніштері қолданылған. Жүйелі құрылымдарының екі морфотүрі бөлінген – микробағанды және микротүтікті. Макропараметрлерді – токтың тығыздығы, электролит құрамы, зондтау уақыты – вариациялауымен құрылымды элементтердің мөлшері мен ұзындығын меңгеруге болады. Кремний матрица көлемінде айнымалы қимасы бар микрокапилляр массивтері қалыптасуы мүмкін, олардың негізінде фотондық кристаллдарын жасауға болады.

THE FORMTION AND INVESTIGATION OF REGULAR STRUCTURES IN A SILICON MATRIX FOR MAKING PHOTONIC CRYSTALS AND OTHER ELECTRONIC APPLICATIONS

A.A. Migunova

Institute of Nuclear Physics, NNC RK, Almaty, Kazakhstan

The creation by a prolonged electrochemical etching and constitution features of microchannel layers on the silicon basis is investigated. The different Si-substrates with several concentration levels n- and p-types (100) and (111) crystallographic orientations are utilized. Two morphological types of regular structures as microcolumnar and microtubular are evolve. It is possible to drive of the structural element size and their extent by variation of macroparameters as current density, electrolyte composition and anodization time. In capacity of silicon matrix the body of microcapillaries with variable section can be formed for manufacture of the photonic crystals.

УДК 669.293'6'71:23:537.312.62

СИНТЕЗ И СТРУКТУРА НОВОГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДА Та₃Рb

Володин В.Н., Жаканбаев Е.А., Тулеушев А.Ж., Тулеушев Ю.Ж.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Впервые путем непосредственного магнетронного распыления и соосаждением тантала и свинца на подложки из молибдена и вольфрама получены покрытия, представленные раствором свинца в кубическом α-Та (до 2.5 ат.% Pb), раствором свинца в тетрагональном β-Та (от 2,5 до 30 ат.% Pb). В данных интервалах концентраций определен фазовый состав. Определены параметры решетки каждой из фаз. Нагревом покрытий с концентрацией свинца 18-35 ат.% до 1700°С впервые синтезирован интерметаллид Ta₃Pb со структурой A15 и определены межплоскостные расстояния для идентификации соединения. Криогенными испытаниями установлено отсутствие сверхпроводимости пленки Ta₃Pb до 4.2 К.

Введение

Быстрое развитие технологий получения сверхпроводников, а также перспективы их технического использования стимулируют значительный интерес исследователей к проблеме повышения транспортного тока для промышленных сверхпроводниковых кабелей. Получение тонких высококачественных пленок слоев диэлектриков, полупроводников и металлов является одним из основных атрибутов современной технологии твердотельных приборов любого уровня сложности: от дискретного диода и планарного световода до СБИС и оптоэлектронных ИС. В современном производстве сверхпроводящей кабельной продукции используют многожильные проволочные сверхпроводники в основном из интерметаллидов.

В Казахстане на Ульбинском металлургическом заводе с использованием методов пластической обработки металлов освоено промышленное изготовление многожильных проволочных сверхпроводниковых кабелей из интерметаллида Nb₃Sn, который является хрупким материалом, что ограничивает прочность сверхпроводниковых нитей и, соответственно, транспортный ток кабеля. Известен ряд перспективных материалов, имеющих более высокие характеристики, как по критической температуре, так и по критической плотности тока. Однако многие из них являются хрупкими соединениями и не могут быть использованы для технологий, основанных на пластической обработке сверхпроводниковых материалов.

Перспективным материалом для сверхпроводникового кабеля может быть ленточный кабель. По сравнению с проволочной конструкцией кабеля ленточный сверхпроводник имеет ряд преимуществ. Основное из них – высокая стойкость сверхпроводящего покрытия к изгибным нагрузкам на кабель и связанное с этим увеличение качества и величины токовой нагрузки кабеля.

Среди различных методов получения тонких пленок можно особо выделить метод магнетронного распыления как способ, обладающий рядом важных преимуществ по сравнению с традиционными технологиями, такими как испарение в вакууме и высокочастотное ионно-плазменное распыление. В связи с этим данный метод широко используется в самых различных областях микро- и оптоэлектроники [1]. Разработка ионно-плазменных технологий получения стабилизированных ленточных сверхпроводниковых кабелей с высокими критическими параметрами представляет сложную и до сих пор полностью не решенную научно-техническую проблему. Сверхпроводниковые соединения на основе ниобия, имеют хорошее сочетание критических значений плотности тока и магнитного поля, что вместе с возможностью промышленного изготовления продукции делает их привлекательными для изготовления сверхпроводящих кабелей. Известно интерметаллическое соединение Nb₃Pb с критической температурой перехода 5,6К и критической плотностью тока 40кА/см² [2]. В этой связи представляет интерес синтез плюмбида тантала Та₃Pb со структурой A15 по аналогии с Nb₃Pb.

Методика экспериментальных исследований

Установка для магнетронного синтеза

Для осуществления синтеза сверхпроводящих покрытий использовалась установка для магнетронного напыления, включающая вакуумную камеру, вакуумную систему и систему напуска газа. В вакуумной камере смонтированы два разработанных и изготовленных магнетрона планарного типа постоянного тока. Магнетроны разнесены диаметрально на сторонах вакуумного колпака и размещены соосно друг другу [3-4]. Схема конструкции камеры представлена на рисунке 1.

Внутри камеры расположено устройство перемещения карусельного типа с возможностью изменения скорости вращения, на котором крепится ленточная подложка. Вакуумная камера содержит смотровое окно для наблюдения за ходом процесса во время напыления. Для загрузки образцов и обслуживания магнетронов камера имеет съемную крышку. Катодные узлы магнетронов, содержащие магнитную систему и мишени, охлаждаются проточной водой.



лента; 4 – смотровое окно; 5 – корпус

Рисунок 1. Схема расположения несущей ленты в вакуумной камере

Газовая система установки состоит из двух автономных каналов, по одному из которых в вакуумную камеру подают очищенный инертный газ - аргон, для осаждения покрытий на основе металлов или их смесей, по другому - заранее приготовленную рабочую смесь, содержащую азот для синтеза сверхпроводящего слоя нитрида ниобия. Очистка аргона производилась в размещенном на камере специально разработанном и изготовленном устройстве магнетронного типа с использованием металла - геттера [5]. Для регулирования подачи газа в камеру использован пьезострикционный вентиль. Газовый тракт подачи рабочей смеси содержит два очистителя газа от примесей кислорода (на нагретой титановой стружке) и паров воды пропусканием через жидкий металлический галлий.

Специализированный двухканальный блок питания магнетронов имеет мощность в каждом канале до 1 кВт и позволяет тиристорным регулятором плавно изменять мощность на каждом магнетроне раздельно или на обоих магнетронах совместно.

Таким образом, разработанная установка имеет современные высокоэффективные магнетронные распылители и мощный источник высокого напряжения.

Другим необходимым условием при изготовлении длинных ленточных сверхпроводящих кабелей является достаточный запас металла мишеней магнетронов. Увеличение количества распыляемого материала в одном вакуумном цикле возможно путем оснащения рабочих камер дополнительными магнетронными распылительными системами. Одновременное их включение, помимо указанной цели, позволяло повысить производительность технологического процесса. Вместе с тем, наличие нескольких магнетронных систем в замкнутом объеме оказывало влияние на параметры разряда в каждой из них, что, в свою очередь, влияло на качество покрытий, особенно состоящих из нескольких металлов.

Физические и химические процессы, которые происходят в плазме аномального тлеющего разря-

да, в общем случае влияют на вольтамперную характеристику магнетронного распылителя. Для кажмагнетрона существует собственная дого вольтамперная характеристика, форма которой зависит от конструкции определяющих узлов, индукции магнитного поля, давления рабочего газа, материала мишени и ее эрозии. На рисунке 2 приведены вольтамперные характеристики (ВАХ) для мишеней, приготовленных из Си, Ті и Nb, которые использованы при формировании многослойных покрытий. BAX лля указанных материалов определены в одинаковых условиях распыления при использовании новых мишеней на одном магнетроне и при одинаковом давлении аргона в рабочей камере, равном 0,2 Па[6].



Рисунок 2. Вольтамперные характеристики магнетрона

Приготовление образцов

Приготовление образцов производили одновременным распылением мишеней из тантала и свинца в плазме низкого давления и осаждением распыленных металлов на не обогреваемые подложки, перемещающиеся относительно потоков плазмы. Температура подложек во время формирования не превышала 100°С. В экспериментах использован тантал, содержащий 99,99 мас. % основного элемента и свинец - 99,99 мас. %.

Соотношение концентраций металлов изменяли путем изменения скорости распыления мишеней планарных магнетронных распылителей. В процессе распыления мишеней поддерживали постоянную мощность на каждом из распылительных устройств. Соотношение осажденных компонентов в покрытии контролировали двумя методами: весовым методом и методом резерфордовского обратного рассеяния на тандемном ускорителе. Для получения покрытий использованы подложки из вольфрама и молибдена. Выбор указанных металлов обусловлен их инертностью при температурах синтеза по отношению к компонентам покрытия.

Получение соединения ТаЗРb

Синтез соединения Ta_3Pb в полученных покрытиях осуществлен при давлении 10^{-1} - 10^{-2} Па посредством нагрева до 1700° С, на электропечи сопротивления шахтной вакуумной, марки СШВЭ1-2,5. Схема печи показана на рисунке 3.



1-смотровое окно; 2 - тигель с образцом; 3 – платформа для образцов; 4 - нагреватель; 5 – тепловой экран;
6 – шиггер; 7 – вентили; 8 – диффузионный насос;
9 – форвакуумный насос

Рисунок 3. Электропечь сопротивления шахтная вакуумная

Образцы для отжига помещались на платформу 3. После загрузки образцов, камера откачивалась до вакуума ~ $5 \cdot 10^{-2}$ Па. Температура во время отжига контролировалась пирометром. Для тарировки пирометра была проведена серия тестовых отжигов металлов с различной температурой плавления (железо, титан, никель).

Рентгеноструктурный анализ

Рентгеноструктурные исследования выполнены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М с кобальтовым излучением с $\lambda_{k\alpha} = 0,179021$ нм и графитовым монохроматором. Идентификация кристаллических фаз проведена с использованием картотеки порошковых рентгенограмм ASTM.

Результаты и обсуждение

При изучении структуры полученных покрытий методом рентгеноструктурного анализа установлено, что при концентрациях до 2.5 ат.% (рисунок 4) свинец растворяется в кубическом α -тантале. Растворение свинца сопровождается линейным увеличением параметра решетки Та с 0.3314 нм до 0.3321 нм в диапазоне концентраций от 0.2 до 2.5 ат.% Рb. Превышение содержания свинца сверх указанного приводит к формированию твердого раствора на основе тетрагонального β -Та, параметры которого изменяются нелинейным образом в зависимости от содержания свинца (рисунок 5).

Как видно из рисунка 5, величина параметров a и c решетки твердого раствора увеличивается от 1.0194 и 0.5313 нм у β -тантала до 1.0343 и 0.5390 нм у твердого раствора на основе β -тантале при концентрации 22 ат.% свинца, а далее при увеличении концентрации свинца до 30 ат.% уменьшается до 0.9883 и 0.5376 нм, соответственно.



Рисунок 4. Зависимость параметров решетки α-тантала от концентрации свинца



Рисунок 5. Зависимость параметра решетки β-тантала от концентрации свинца

Представляется, что последнее обусловлено началом выделения свинца в аморфную фазу, не фиксируемую на дифрактограммах. Область существования твердого раствора свинца на основе В-тантала простирается до 60 ат.% Pb, однако начиная с концентрации 30 ат.% свинец выделяется в отдельную фазу, сосуществующую с твердым раствором свинца в β-тантале. Увеличение концентрации свинца более 60 ат.% приводит к получению покрытия, представленного смесью свинца и аморфной фазы Та-Рь переменного состава. Стадийная термообработка покрытий на вольфрамовой и молибденовой подложках с концентрацией свинца 18 ат.% показала, что при температуре, начиная с 800°С, образуется фаза с простой кубической решеткой и параметром, равным 0.5450 нм в присутствии других, не идентифицированных, фаз (рисунок 6).



Рисунок 6. Дифрактограммы образца Та-Рb с содержанием свинца 18 ат.% на подложке из молибдена при разных температурах термообработки: а – 1550 °C, б –1650 °C, в – 1700 °C

Повышение температуры до 1550°С сопровождается появлением фазы, отнести которую к какойлибо сингонии не удалось. При 1650°С установлено появление гранецентрированной кубической (г.ц.к.) фазы с параметром 0.5724 нм и, в меньшем количестве, объемно-центрированной кубической (о.ц.к.) фазы с параметром 0.5483 нм и структурным типом A15. Причем на подложке из вольфрама доминирующей является фаза с г.ц.к.- структурой, а на подложке из молибдена о.ц.к.- и г.ц.к.- структуры представлены в равных количествах.

При повышении температуры до 1700°С в покрытиях, полученных на обеих подложках, происходит подавление г.ц.к.- фазы с одновременным уменьшением параметра о.ц.к.- фазы до 0.5474 нм. При температуре выше 1700°С фаза со структурой A15 становится полностью доминирующей на обеих подложках. Установлено отсутствие зависимости параметров решетки синтезированного при температуре 1700°С соединения Ta_3Pb от концентрации свинца в исходных твердых растворах на основе β -тантала в интервале 18 – 35 ат.% Pb (таблица 1).

Таблица 1. Зависимость параметров решетки Та₃Pb со структурой A15 от концентрации свинца

Концентрация свинца, ат %	Параметр решетки фазы А15, нм
18	0.5464 ± 0.0007
21	0.5463 ± 0.0008
21	0,5403 ± 0.0008
21	0,5464 ± 0,0011
26	0,5465 ± 0,0008
35	0,5461 ± 0,0009
	<i>a</i> _{cp.=} 0,5464 ± 0,0009

Примечание* - образец после плавления

Примечательно, что увеличение температуры до 1850°С привело к плавлению полученного на вольфрамовой подложке покрытия с концентрацией свинца 21 ат.%, содержащего фазу Та₃Pb со структурой A15, формированию капель на поверхности подложки и их последующей кристаллизации в хорошо сформированные усеченные пирамиды (рисунок 7) с параметрами решетки фазы, соответствующими таковым до плавления.

В связи с тем, что наибольшая степень превращения первичного твердого раствора в фазу Ta₃Pb была получена для данного образца, он использован для определения параметров кристаллической решетки искомой фазы. Результаты определения межплоскостного расстояния для идентификации фазы Ta₃Pb приведены в таблице 2.

Определить относительные интенсивности линий с параметрами 0.1586 и 0.1292 нм не представилось возможным вследствие совпадения их с рефлексами от вольфрамовой подложки.

Проведенные криогенные испытания синтезированных покрытий Ta₃Pb с концентрациями 18-35 ат.% Pb четырехзондовым методом измерения электрического сопротивления показали отсутствие сверхпроводимости до температуры 4.2 К.



Рисунок 7. Микрокристаллы фазы Ta₃Pb на поверхности вольфрамовой фольги после нагрева до температуры 1850°C

Таблица 2. Межплоскостные расстояния фазы Та₃Pb

Угол Θ°	Межплоскостное расстояние d _{hki} , нм	Индексы плоскостей, (hkl)	Относительная интенсивность I/I₀
13.40	0.3862	(110)	100
19.22	0.2719	(200)	99
23.53	0.2242	(211)	6
27.55	0.1935	(220)	24
31.25	0.1725	(310)	2
34.45	0.1586	(222)	
41.15	0.1360	(400)	8
43.85	0.1292	(411)	
47.10	0.1222	(420)	0,4

выводы

В ходе синтеза и исследования физических свойств соединения Ta₃Pb получены следующие результаты.

Впервые непосредственным магнетронным распылением и соосаждением тантала и свинца на подложки из молибдена и вольфрама получены покрытия, представленные раствором свинца в кубическом α -Та (до 2.5 ат.% Pb) и раствором свинца в тетрагональном β -Та (от 2,5 до 30 ат.% Pb).

В интервале концентраций от 30 до 60 ат.% свинец выделяется в отдельную фазу, сосуществующую с его твердым раствором в β-Та. При концентрации свинца более 60 ат.% покрытия состоят из смеси свинца и аморфной фазы Ta-Pb переменного состава.

Определены параметры решетки каждой из фаз.

Нагревом покрытий с концентрацией свинца 18-35 ат.% до 1700°С впервые синтезирован интерметаллид Ta₃Pb со структурой A15 и определены межплоскостные расстояния для идентификации соединения:

Криогенными испытаниями установлено отсутствие сверхпроводимости пленки Ta₃Pb до 4.2 К.

По данным проведенного исследования получено 2 патента на изобретение: по заявке № 2003/0188.1 от 11.02.03 "Плюмбид тантала Та₃Pb" и патент РФ №2247075 от 27.02.2005 «Плюмбид тантала Та₃Pb».

Литература

- 1. Хохлова А.Ф.Физика твердого тела. Лабораторный практикум Т.1. М.:Высшая школа, 2001.- С.319.
- 2. Тулеушев А.Ж., Тулеушев Ю.Ж., Володин В.Н. Синтез пленок плюмбида ниобия Nb₃Pb при пониженной
- температуре//ФММ, 2002. Т. 94, № 4. С. 77-79.
- Устройство магнетронного реактивного распыления нитридных, карбидных и карбонитридных покрытий//Патент РФ № 2065507, 1996.
- 4. Патент РК № 2675. Устройство для получения нитридных, карбидных и карбонитридных покрытий, 1997.
- 5. Пред. патент РК № 2065507. Магнетронное распылительное устройство для очистки газов, 1998.
- Тулеушев А.Ж., Тулеушев Ю.Ж., Лисицын В.Н., Ким С.Н., Володин В.Н., Асанов А.Б. Плазмохимический синтез сверхпроводника на основе нитрида ниобия//Материалы межд. научн. конф. Ядерная и радиац. физика, Алматы, 1999. -С. 125-130
- Тулеушев А.Ж, Тулеушев Ю.Ж.,.Володин В.Н,.Жаканбаев Е.А. Синтез и свойства пленок плюмбида тантала Та₃Pb// ФММ, 2004. - т.97, № 3. - С.1-4.

Та₃РЬ ЖАҢА ИНТЕРМЕТАЛЛИДТІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН СИНТЕЗІ

Володин В.Н., Жаканбаев Е.А., Тулеушев А.Ж., Тулеушев Ю.Ж.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Казахстан

Молибденнен және вольфрамнан жасалған төсеніштеріне тантал мен қорғасынды тікелей магнетрондық тозандау және тұндыруымен алғашқы рет, куб α-Та-да (2.5 ат.% Рb дейін) қорғасын ерітіндісі, тетрагональ β-Та-да (2,5 - 30 ат.% Рb) қорғасын ерітіндісі болып көрінетін қаптамалар алынған. Концентрациялардың айтылған аралықтарында фазалық құрамы анықталған. Әр фаза торының параметрлері анықталған. Қорғасынның 18-35 ат.% концентрациясы бар қаптамаларын 1700°С дейін қыздыру арқылы алғашқы рет A15 құрылымы бар Та₃Pb интерметаллид синтезделген және қосылысты сәйкестендіру үшін жазықтықтар арасындағы қашықтықтары анықталған. Криогенді сынауларымен Та₃Pb до 4.2 К қабыршағының асқынөткізгіштігі жоқ болуы көрсетілген.

SYNTHESIS AND STRUCTURE OF NEW INTERMETALLIC COMPOUND Ta₃Pb

V.N. Volodin, E.A. Zhakanbayev, A.Zh. Tuleushev, Yu. Zh. Tuleushev

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

For the first time by means of direct magnetic sputtering and tantalum and lead coprecipitation on substrate from molybdenum and tungsten, coating was obtained, represented by lead in cubic α -Ta (to 2.5 at.% Pb), by lead solution in tetragonal (from 2.5 to30 at.% Pb). Grid parameters of every phase were determined. Intermetallic compound Ta₃Pb with structure A15 was synthesized for the first time by heating the coating with lead concentration 18-35 at.% to 1700°C and inter-layer distances for junction identification were also defined. It was established by means of cryogenic experiments the absence of layer superconductivity Ta₃Pb to 4.2 K.

УДК 621.039.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПЛАВА СО СТАЛЬНОЙ МОДЕЛЬЮ ДНИЩА СИЛОВОГО КОРПУСА РЕАКТОРА

Нугуманов Д.К., Зверев В.В.

Национальный ядерный центр РК, Курчатов, Казахстан

Представлены результаты исследования тепловых и гидродинамических процессов взаимодействия расплава с моделью днища корпуса реактора и теплоносителем. Получены расчетные данные о распределениях тепловых потоков от расплава в модель днища корпуса реактора и от расплава в теплоноситель, о распределении температурных полей, процессе кипения воды на поверхности расплава, изменении поля давления в системе «пар-вода», формировании корки расплава. Результаты расчетов сравнены с данными, полученными в экспериментах серии LHI проекта "COTELS".

Введение

Моделирование тяжелых аварии возможно с помощью специализированных расчетных программ. Качество программных средств проверяется при их верификации с использованием экспериментальных данных. Для разработки таких программ, в частности, расчетной модели, описывающей теплогидравлические процессы, необходимы экспериментальные данные по моделированию отдельных стадий аварии реактора, что позволяет значительно уменьшить неопределенности расчетов.

Одним из типичных сценариев тяжелой аварии является плавление топлива и стекание расплава на днище корпуса реактора, в результате чего на днище корпуса происходит формирование энерговыделяющего бассейна расплава. Исследования тяжелых аварий подобного типа проводились ранее на экспериментальных установках НЯЦ РК в рамках серии LHI проекта "COTELS" и проекта IVR-AM.

Задачей данной работы являлась разработка расчетной модели, корректно описывающей термодинамическое взаимодействие расплава с теплоносителем и моделью днища (МД) корпуса реактора. Расчетная модель разрабатывалась с использованием CFD (расчет динамики жидкости) - кодов, отличительной особенностью которых является возможность проводить пространственное моделирование процессов (двух- или трехмерное), что позволяет наблюдать изменение параметров во всех точках системы в любой момент времени. В CFD- коде используются математические модели многофазных потоков [1], применение которых зависит от условия и постановки задачи. Многофазные потоки могут быть классифицированы по следующим режимам: «газ-жидкость» и «жидкость-жидкость», «газ - твердое тело», «жидкость - твердое тело», трехфазные потоки (комбинации из перечисленных потоков). Изменение границы разделения между компонентами может возникать в результате тепломассобмена в системе. Изменение фазового состояния характеризуется следующими основными процессами: кипение/конденсация, плавление/замерзание. Применение расчетных кодов динамики жидкости позволяет моделировать перечисленные процессы и способствует улучшению качества получаемой информации.

ПРОВЕДЕНИЕ И УСЛОВИЯ РАСЧЕТА

Расчет теплогидравлических параметров в МД проведен в предположении, что в начальный момент времени процесса все материалы активной зоны реактора расплавлены, имеют температуру 3100 К и равномерно распределены на днище корпуса реактора. Над расплавом находится слой воды и пара. Температура корпуса, воды и пара на начало процесса принята равной 300 К. На внешней стенке МД задан конвективный теплообмен.

Модель днища (рисунок 1) представляет собой полусферу с внутренним радиусом 250 мм и толщиной стенки 25 мм. Толщина слоя расплава – 100 мм, слоя воды – 150 мм, слоя пара – 150 мм. Масса кориума составляет 60 кг, масса воды 26 кг, масса пара 0.0217 кг.



Рисунок 1. Расчетная схема

При исследовании процессов охлаждения наиболее важное значение имеют теплогидравлические процессы в расплаве кориума, теплопередача к воде и механическое поведение корпуса при определенных тепловых нагрузках. Взаимодействие расплава с теплоносителем обусловлено множеством физических процессов, среди которых основными являются кипение и конденсация теплоносителя, а также затвердевание расплава. Исходя из этого, главной целью расчета было определение характера взаимодействия расплава с водой; температурного поля; уровня тепловых потоков от расплава к слою воды, закрывающей расплав и в стенку корпуса модели днища; поля давления в системе пар-вода; верификация полученных результатов путем сравнения расчетных и экспериментальных данных.

Результаты расчета и выводы

В начальные моменты времени процесс взаимодействия расплава с теплоносителем сопровождается сильным парообразованием (пузырьковое кипение), а тепловой поток от расплава в воду максимален (рисунок 2). Для временного интервала, когда пузырьковый режим кипения сменяется пленочным (момента образования пленки пара между расплавом и водой), характерен неустойчивый режим теплообмена. При переходном режиме жидкость, периодически попадая на поверхность расплава, взрывообразно вскипает. Далее наступает установившееся пленочное кипение, которое характеризуется низким по значению коэффициентом теплоотдачи. В результате расчета было установлено, что максимальные значения теплового потока (рисунок 2 а) от расплава к воде составляют ~600 кВт/м² и от расплава в МД - 3.0 МВт/м². Температура на поверхности раздела «расплав – вода» при начальном значении 3050 К, за ~1 минуту процесса уменьшается до 2100 К. Температура на границе «расплав – корпус» на ~15 секунде процесса достигает максимального значения 1285 К (рисунок 2б) и по мере дальнейшего развития процесса снижается (до 1170 К примерно на 60 секунде процесса).



Рисунок 2. Тепловой поток

Теплогидравлические процессы на поверхности расплава взаимосвязаны с массообменом, протекающем между компонентами системы. На рисунке 3 показано изменение массы воды (пара) в системе в зависимости от времени. Исходная масса воды и пара составляет 26 кг и 0.0217 кг, соответственно.



Рисунок 3. Изменение массы воды (пара) в системе

Формирование корки на границах «pacплав/вода» и «расплав/корпус» в зависимости от времени протекает различно. Процесс образования корки на границе «расплав – стенка МД» протекает быстрее и устойчивее и начинается с 14 секунд от начала процесса. Формирование корки на поверхности кориума происходит значительно позже. В результате кипения воды, образования пленки пара над поверхностью расплава и незначительных циркуляций в расплаве, формирование корки на границе «расплав-вода» протекает нестабильно. Время образования корки на границе «расплав - вода» составляет приблизительно 140 - 150 сек. На рисунке 4 показано образование твердой фазы расплава (корки) на границе раздела с жидкими компонентами и распределение плотностей в системе.

На рисунке 5 приведена диаграмма изменения фазового состояния кориума, переход расплава из жидкого в твердое состояние (застывание).

Анализ корректности результатов проведен путем сравнения термодинамических параметров с результатами эксперимента. Расчетные значения сравнивались с экспериментальными данными, полученными во время эксперимента LHI-6 из серии LHI, проведенной в рамках совместного проекта корпорации NUPEC (Япония) и НЯЦ РК. Одной из основных задач экспериментов этой серии являлось определение тепловых утечек от расплава в модель днища, а также изучение распределения температурного поля и тепловых потоков по модели днища при контакте с расплавом. Выбор эксперимента LHI-6 из серии LHI мотивируется тем, что в процессе материаловедческих исследований, проводимых по его окончании, на днище был обнаружен большой слиток застывшего кориума, и, следовательно, хороший контакт расплава с МД, в отличие от других экспериментов, где кориум был сильно фрагментирован.



Рисунок 4. Образование корки (a) и распределение поля плотностей (б) в системе через 60 секунд после слива расплава



Рисунок 5. Изменение количества жидкой фазы в кориуме

Проведенный сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных показал, что кривые распределения тепловых потоков и температурных полей в стенку МД, удовлетворительно согласуются друг с другом.

Максимум теплового потока, определенного на основе данных эксперимента LHI-6 (рисунок 6), составляет 2.3 MBT/M^2 , а максимальное расчетное значение равно 3.0 MBT/M^2 . При этом рассчитанная температура МД на границе «расплав – стенка», равна 1285 К, а значение температуры зафиксированное термопарой в эксперименте составляет 1400 К.

Оценка характера взаимодействия расплава с водой осуществлялась путем определения изменения поля давления в системе «пар-вода» и изменения среднемассовой температуры пара (рисунок 7).



Рисунок 6. Сравнение экспериментальных и расчетных результатов



Рисунок 7. Изменение поля давления в системе пар-вода

Изменение поля давления в системе «пар-вода», определенное на основе экспериментальных данных и полученных в результате расчета, составляет 5.5 атм и 6.5 атм, соответственно. При этом значение среднемассовых температур пара, полученное при эксперименте и в результате расчета составляет 410 К и 400 К, соответственно.

Таким образов, экспериментальные результаты пуска LHI-6 и рассчитанные параметры этого эксперимента, позволяют полагать, что подобная расчетная модель будет адекватно описывать теплогидравлические процессы, протекающие при взаимодействии расплава материалов активной зоны реактора с силовым корпусом установки при возникновении аварии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fluent version 6.1 User Reference. Fluent, Inc., 2004.

РЕАКТОРДЫҢ КҮШТІК КОРПУСЫ ТҮБІНІҢ БОЛАТ МОДЕЛІ МЕН БАЛҚЫМА АРАСЫНДАҒЫ ӘРЕКЕТТТЕСТІК ПРОЦЕССІН ЗЕРТТЕУІ

Нугуманов Д.К., Зверев В.В.

ҚР Ұлттық ядролық орталығы, Курчатов, Қазақстан

Реактор корпусы түбінің моделі және жылутасушы мен балқыма арасындағы жылу және гидродинамикалық процесстерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Балқымадан реактор корпусы түбінің моделіне және балқымадан жылутасушысына жылу ағындарының үлестірілу, температуралық өрістер үлестірілу, балқыма бетінде су қайнау процесстері, «бу-су» жүйесінде қысылым өрісі өзгеру, балқыма қабығы түзілу туралы есептеу деректері алынған. Есептердің нәтижелері "COTELS" жобасының LHI сериясындағы эксперименттердің деректерімен салыстырылған.

RESEARCH OF MELT INTERACTING PROCESS WITH STEEL MODEL OF REACTOR VESSEL LOWER HEAD

D.K. Nugumanov, V.V. Zverev

National Nuclear Centre RK, Kurchatov

The work presents results of design studies of thermal and hydrodynamic melt interacting processes with a reactor vessel lower head and coolant. Heat flux distribution design data from melt to reactor vessel lower head and from melt to the coolant, temperature field distribution, water boiling-off process at the surface of melt, pressure field change in water vapor system, melt shell formation are obtained during the work. The comparison of calculation results with LHI series "COTELS" project data, obtained during the work. The comparison of calculation results with LHI series "COTELS" project data, obtained in experiments is lead.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ НА СТАДИИ ПРЕДРАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ С ГЦК-РЕШЕТКОЙ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ

Тиванова О.В.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Рассмотрены особенности процессов формоизменения, фазово-структурных превращений, а также изменений характеристик прочности и пластичности металлических поликристаллов с гранецентрированной кубической (ГЦК) решеткой, облученных нейтронами.

Введение

Информация об изменении механических свойств нержавеющих сталей в результате их облучения высокоэнергетическими частицами чрезвычайно необходима не только в ходе эксплуатации, но и на этапе декомиссии атомных реакторов. Так, при перегрузке отработанных тепловыделяющих сборок реактора БН-350 из активной зоны в водный бассейн или транспортировке на место постоянного хранения встала задача об оценке запаса прочности и пластичности сталей – материалов шестигранных чехлов, облученных нейтронами до высоких повреждающих доз. Проведенная при этом комплексная характеризация радиационной повреждаемости конструкционных материалов и анализ базы экспериментальных данных о степени радиационного упрочнения и охрупчивания сталей позволили расширить научные представления об этих явлениях [1].

В ранее проведенных исследованиях показано [2], что существенный вклад в формирование механических свойств облученных образцов вносит процесс локализации, причем степень проявления его различна от местного утонения или множества шеек в результате деформации Портевена-Ле Шателье на макроуровне [3,4], до формирования бездефектных дислокационных каналов на микроуровне [5]. Особенно интересны случаи, когда процессы деформации сопровождаются фазовыми превращениями. Так, растяжение метастабильных хромоникелевых нержавеющих сталей типа 18-10 или 16-11 при температурах, ниже некоторой (точка M_d), инициирует превращение аустенитной уфазы в мартенситную, причем количество образующейся α'-фазы непрерывно увеличивается с ростом степени деформации и протекает особенно интенсивно на стадии шейкообразования [6].

Анализ литературных источников показал, что эффекты формоизменения и мартенситных превращений на стадии локализации деформации и разрушения облученных нержавеющих сталей, практически не изучены, несмотря на актуальность этой проблемы для реакторного материаловедения. В этой связи задачей настоящего исследования явилось установление закономерностей и выявление особенностей изменения структуры и фазового состава на стадии локализации деформации в образцах металлических поликристаллов с ГЦК решеткой, облученных до различных повреждающих доз в активной зоне реакторов ВВР-К и БН-350.

Методика проведения эксперимента

В качестве объектов исследования выбраны следующие аустенитные нержавеющие стали:

- 2Х18Н10Т и 08Х16Н11МЗ после механикотермической обработки (15-20% х.д.+8000С 1 час) и последующего облучения в реакторе БН-350 (пластины размерами 2×10×0,3 и 50×10×2мм, вырезанные из граней отработанных тепловыделяющих сборок).
- 12Х18Н10Т в состоянии аустенизации (10500С 30 мин.) и последующего облучения в активной зоне реакторов ВВР-К (образцы в виде гантелек с диаметром 1,7 мм в рабочей части)

Кратковременные механические испытания на одноосное растяжение со скоростью 0,5 мм/мин проведены на универсальной разрывной машине «Инстрон 1195», дополнительно оборудованной оптикоэлектронным экстензометром для регистрации геометрических размеров образцов в процессе растяжения. Основным получаемым результатом при этом являлись инженерные кривые растяжения в координатах «усилие-удлинение» и экстензограммы. С использованием диаграммы растяжения, определялись штатные характеристики прочности и пластичности, а также рассчитывались значения сужения образца и истинного напряжения разрыва. Для этого до и после механических испытаний измерялись ширина и толщина образца в недеформированной части, а также в зоне сосредоточенной деформации.

Изучение закономерностей и механизмов локализации пластической деформации в облученных металлических материалах сопряжено с определенными трудностями связанными, во-первых, с ограничением времени контакта оператора с радиоактивными материалами, во-вторых, с миниатюрностью облученных проб, что, учитывая радиационное охрупчивание, крайне затрудняет визуализацию и индицирование зон сосредоточенного пластического течения.

С целью экспериментального исследования особенностей сосредоточенной деформации в миниа-

тюрных образцах был применен метод искусственных баз, который позволил получать значения «истинных» характеристик пластичности, найденных с учетом локализации деформации. Для этого на приготовленную поверхность образцов наносилась система базовых точек с шагом 500 мкм в виде отпеалмазной пирамидки индентора чатков от микротвердомера ПМТ-3. Это позволяло определять величину локальной пластичности в исследуемом месте образца по изменению размеров диагонали квадратных отпечатков в ходе растяжения, используя следующее выражение:

$$\delta_d = 100\% \frac{l_d - l_{d0}}{l_{d0}}$$

где l_d и l_{d0} - размер диагонали отпечатка до и после растяжения;

Для количественной оценки упрочнения с помощью прибора ПМТ–3проведены измерения микротвердости вдоль рабочей длины образца и особенно тщательно в локально деформированных участках. Оценочный прирост микротвердости по Виккерсу определялся по формуле:

%Hμ= 100'(Hμ⁰- Hμ^κ)/ Hμ⁰,

где $H\mu^0$ и $H\mu^\kappa$ - значения микротвердости до и после деформации, соответственно.

Изучение изменений микроструктуры деформированного образца проведено методами оптической микроскопии и растровой электронной микроскопии с использованием микроскопов Neophot-2 и Amrey-1200.

При изучении индуцированного деформацией мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha'$ перехода использовали тот факт, что исходная аустенитная структура парамагнитна тогда как α' -мартенсит – ферромагнетик. В этой связи для выявления α' -фазы и ее распределения по образцу использовали феррозонд F-1053.

Экспериментальные результаты

Влияние масштабного фактора на

механические свойства облученных сталей

С целью изучения зависимости характеристик прочности и пластичности высокооблученных нержавеющих сталей от габаритных размеров образцов, используемых в экспериментах, были выполнены механические испытания массивных (10×50×2 мм) и миниатюрных (2×10×0.3мм) образцов. Образцы были вырезаны из одной и той же грани чехла отработанной тепловыделяющей сборки Н-214, изготовленной из нержавеющей аустенитной стали 08Х16Н11М3. Для исследования влияния флюенса и температуры облучения образцы вырезали с различных отметок: «+500», «0», «-500», «-900», «-1200» (расстояние от центра активной зоны, мм). Механические испытания массивных образцов проведены в «горячей» камере реактора БН-350, миниатюрные образцы деформированы на универсальной испытательной машине «Инстрон-1195» в ИЯФ при комнатной температуре.

Сравнительный анализ полученных данных показал, что характеристики прочности (предел текучести $\sigma_{0,2}$ и предел прочности $\sigma_{\rm B}$) для массивных и миниатюрных образцов различаются незначительно (рисунок 1).



Рисунок 1. Дозовые зависимости прочности (a) и пластичности массивных и миниатюрных образцов стали 08X16H11M3

В то же время, значения характеристик пластичности (относительное общее удлинение δ), определенные по инженерным диаграммам растяжения, для миниатюрных образцов существенно (в 2-2.5 раза) ниже, чем для массивных. Этот факт, по всей видимости, связан с тем, что пластическая деформация является сложным многоуровневым процессом и внешнее проявление, например, в виде локальной неоднородности на образце, зависит от степени реализации процесса деформации на микроуровне [7]. Так, в миниатюрных образцах в активном сечении находится меньшее количество зерен, имеющих олагоприятную ориентировку, чем в массивных образцах, что приводит к снижению пластичности.

Обнаружено, что в обоих типах образцов пластическая деформация носит сосредоточенный характер, что приводит к образованию деформационных полос и шеек. Практически во всех испытанных образцах в центре сформированной макрошейки на стадии предразрушения формируется хорошо видимая вторичная микрошейка шириной 400-700 мкм. Установлено также, что в зоне разрушения всех исследованных образцов увеличивается микротвердость.

Особенности локализации дефоромации в облученных металлах и сплавах. Стальные образцы, облученные в реакторе БН-350

На рисунке 2а приведены диаграммы растяжения облученной нейтронами аустенитной нержавеющей стали 12X18H10Т. Полученные инженерные кривые для сильнооблученных образцов на отельных участках можно описать уравнением Болфингера-Холломона $\sigma = C \cdot \varepsilon^n$, где C – константа, ε -остаточная относительная деформация, n -показатель деформационного упрочнения, изменяющийся в пределах 0,05-0,09. Заметим, что если в качестве є использовать полную остаточную деформацию, то п принимает большие (в 3-4 раза) значения. В большинстве случаев на кривой растяжения до достижения максимальной нагрузки выделяется два прямолинейных участка с уменьшающимися значениями показателя деформационного упрочнения (рисунок 2б). Второй участок, по всей видимости, соответствует началу формирования зоны локализации и выпадения мартенситной фазы.

Как было показано ранее [8], для стали 08Х16Н11МЗ доля равномерной деформации с увеличением повреждающей дозы (в исследованном интервале доз) уменьшается. При этом на диаграмме растяжения за пределом прочности наблюдается монотонное снижение условных напряжений. Однако, в ряде случаев (при повреждающих дозах 55,7 и 58,92 сна), на диаграмме растяжения при достижении максимальной нагрузки появляется продолжительная площадка текучести. В таблице 1 приведены некоторые экспериментальные данные, полученные в результате обсчета первичных диаграмм растяжения, промера образцов и определения их микротвердости ($\sigma_p^{\mu cr}$ – истинные характеристики прочности при разрушении с учетом уменьшения сечения образца; ψ =(S–S₀)/S₀, где S₀ – начальная площадь сечения образца и S – площадь после разрушения).



а – кривые пластического течения(сборка H214(1)-1, сборка ЦЦ19–2,3,4





Рисунок 2. Первичные и линеаризованные кривые растяжения стали 12X18H10T, облученной в реакторе БН-350

Сталь	Повреждающая доза, сна	σ₀,₂, ΜΠа	σ₅, МПа	δ _p , %	δ, %	Прирост микротвердости в зоне разрушения, %	ψ, %	σ _р ^{ист} , МПа
	12,3	960	1130	1,6	8	44	37	1640
	46,6	790	950	2,5-3	5-7	14	23	1225
12X18H10T	55,7	950	1070	1,2	23	6	30	1681
	55,4	540	1050	0,8	0	0	0	1050
	58,92	780	1170	3	12	16	28	1623
	0,25	550	786	13	16,6	23	50	1470
08X16H11M3	7,08	815	960	3,2	5,5	37	42	1910
	15,6	910	1190	1,3	3,4	54	47	2060

Таблица 1. Характеристики прочности и пластичности облученных нержавеющих сталей

На рисунке 3 представлены кривые распределения микротвердости по длине деформированных облученных образцов. Видно, что в большинстве случаев существенный прирост микротвердости наблюдается в области развития макрошейки, тогда как вне ее микротвердость не изменяется. В тоже время, для образцов, на диаграмме растяжения, которых наблюдается площадка текучести, прироста микротвердости в шейке не происходит, что позволяет сделать предположение о реализации механизма деформации по типу Людерса-Чернова.

На рисунке 4 приведено распределение значений локальной пластичности (δ_d) в деформированном образце стали 12Х18Н10Т, облученной до повреждающей дозы 55.7 сна. Сопоставление этих кривых с графиками распределения мартенситной α' фазы по длине образца показало, что они аналогичны.



Рисунок 3. Распределение микротвердости в разрушенных образцах стали 12X18H10T, облученной в реакторе БH-350 до высоких повреждающих доз



Рисунок 4. Распределение локальных деформаций &d, по длине шейки разрушенного образца нержавеющей стали 12X18H10T (доза повреждения 55.7 сна)

Структурно-фазовые (мартенситные) превращения на стадии локализации деформации

Микроструктура

Металлографические и РЭМ исследования микроструктуры образцов стали 12Х18Н10Т после облучения в реакторе БН-350 и последующих испытаний на одноосное растяжение позволили выявить ряд общих черт и особенностей. На рисунке 5 представлена микроструктура облученного образца в недеформированной и деформированной (локализованной) области. Для области микрошейки характерно присутствие в зернах множества пачек скольжения, причем в кристаллографически благоприятно ориентированных зернах можно обнаружить несколько пересекающихся систем скольжения. В то же время, в образцах, облученных до 55,7 сна, где зафиксирована площадка текучести, линии скольжения практически не выявляются.

Анализ поверхности разрушения образцов, облученных в реакторе БН-350 до одинаковых повреждающих доз (не выше 15 сна) показал, что в стали 12X18H10T сохраняется вязкий чашевидный тип излома, в то время как в образцах стали 08X16H11M3 излом камневидный с множеством межкристаллитных трещин, что свидетельствует о хрупком разрушении [4].



а - недеформированная область



б – область около зоны разрушения (микрошейка)

Рисунок 5. Микроструктура стали 12Х18Н10Т, облученная в реакторе БН-350 до дозы повреждения 12,28 сна

Индуцированное деформацией мартенситное

γ→α′превращение

Установлено, что в образцах стали 12X18H10T, облученных в активной зоне реактора BBP-К до максимального флюенса нейтронов 10²⁰ н/см², при деформации мартенситная фаза выпадает неравномерно по объему образца. Существенный ее прирост наблюдается в зоне локализации пластической деформации (рисунок 6).



а – необлученного

Выявлены корреляционные зависимости параметров локализованного течения от степени удлинения образца облученной нейтронами стали и от количества мартенситной α'-фазы, индуцированной деформацией.

Показано, что кинетическая кривая образования ферромагнитной фазы хорошо описывается уравнением $\ln(M_{\phi})=A\psi^{B}$, где: M_{ϕ} -количество α' -мартенсита, образовавшегося в сечении при степени сужения ψ ; А и В-коэффициенты (рисунок 7).



 $\mathbf{6}$ – облученного нейтронами 2·10²⁰ н/см²







Рисунок 7. Линеаризованные кривые выпадения α' -фазы в шейке образца стали 12X18H10T

Следует отметить, что, во-первых, линеаризованные кривые изменения сужения от остаточной логарифмической деформации и от количества мартенситной фазы в шейке на образце подобны. Во-вторых, оказывается, что с учетом локализации деформации, кинетика накопления α'-мартенсита носит затухающий характер. Анализ, полученных кривых распределения мартенситной фазы для разрушенных образцов, облученных в реакторе БН-350 показал, что процесс образования и накопления α'-фазы при деформации развивается в основном в локальном объеме образца, соответствующем шейке и месту будущего разрыва. Для всех исследованных проб интенсивное образование а'фазы начиналось, как правило, только после достижения некоторой критической степени деформации, соответствующей нагрузке близкой к максимальной. При дальнейшем растяжении количество α'-фазы в шейке образца возрастало.

Поскольку интенсивность образования α' -мартенсита зависит от степени деформации, то при формировании и развитии полос типа Людерса– Чернова α' -фаза образуется и накапливается последовательно – то в одной, то в другой макрополосе. В итоге, в шейке на образце ее среднее распределение оказывается равномерным. Такая кинетика выпадения индуцированного деформацией α' -мартенсита характерна для стадии равномерной деформации необлученной и облученной до малых флюенсов стали 12X18H10T. С другой стороны, при образовании классической шейки на этапе предразрушения, характер образования и накопления ферромагнитной α' -фазы аналогичен процессу, имеющему место для необлученных или для слабо облученных стальных образцов на этой же стадии растяжения.

Заключение

Проведены комплексные материаловедческие исследования аустенитных нержавеющих сталей 12Х18Н10Т и 08Х16Н11М3– материалов отработавших шестигранных чехлов ТВС реактора БН-350, которые показали, что после высокодозного (до 59 сна) нейтронного облучения наблюдается значительное (до 1–2 %) уменьшение доли равномерной деформации, и, в то же время, остается достаточно высокой (~20 %) степень локализованной деформации стальных образцов.

Установлено, что при растяжении облученных образцов метастабильных сталей протекает мартенситное $\gamma - \alpha'$ превращение. Образование α' -фазы наблюдается, в основном, в зоне шейки, а ее количество увеличивается с ростом степени деформации. Обнаружена связь между видом шейки и характером выпадения в ней мартенситной фазы.

Литература

- 1. Караулов В.И., Блынский А.П., Яковлев И.Л., Головин С.В., Ламберт Дж. Исследование изменения кратковременны механических свойств материалов чехлов отработавших ТВС реактора БН-350, в зависимости от вакансионного распухания//Сборник докладов конф. Ядерная и радиационная физика, 8-11 октября, Алматы, 1997, С. 44 57.
- Паршин А.М. Структура, прочность и радиационная повреждаемость коррозионно-стойких сталей и сплавов. Челябинск: Металлургия, 1988. – 656 с.
- 3. Максимкин О.П., Тиванова О.В. Влияние нейтронного облучения на температурно-скоростные изменения характеристик прочности и пластичности сплава 03Х20Н45М4БРЦ и стали 12Х18Н10Т. - ВАНТ, Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (83), 2003 - . № 3. - С. 35 – 43.
- Максимкин О.П., Тиванова О.В. Изучение особенностей локализации деформации облученной реакторной стали в широком интервале температур и скоростей деформации//Сборник трудов молодых ученых (14-16 мая 2003 г. – Курчатов: НЯЦ РК, 2003. - С. 58 - 66.
- 5. Максимкин О.П., Гусев М.Н., Тиванова О.В., Чакров П.В Локализация пластической деформации и тепловыделение в меди, облученной нейтронами//Известия НАН РК, сер.: физ.-мат., 2003. № 6. С. 159 163.
- Maksimkin O.P., Tivanova O.V. True characteristics of strength and ductility for neutron-irradiated metals and alloys» Effects of radiation on materials//20th International Symposium. USA. ASTM, STP 1405, 2001. - P. 343 - 355
- 7. Панин В.Е. / Известия вузов. Физика. 1998. Вып. 41. с.7-34.
- Ермаков Е.Л. Кадыров Х.Г. Кислицин С.Б Тиванова О.В. Влияние дозы облучения на характер разрушения стали 08Х16Н11М3 – материала чехла ТВС реактора БН-350//Сб. трудов 8-й Международной конференции по физике твердого тела, 23-26 Августа, 2004 г., Алматы. - Том 2. - С.165 – 172.

НЕЙТРОНДАРМЕН СӘУЛЕЛЕНГЕН ГЦК-ТОРЫ БАР МЕТАЛЛДЫҚ ПОЛИКРИСТАЛЛДАРДЫҢ ҚИРАУ АЛДЫНДАҒЫ САТЫСЫНДА ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ФАЗАЛЫҚ ТҮРЛЕНУЛЕР ЖӘНЕ ТҮРІ ӨЗГЕРУ ПРОЦЕССТЕРІНІҢ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ

Тиванова О.В.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Түрі өзгеру, фазалық-құрылымдық түрленулер процесстерінің, сондай-ақ нейтрондармен сәулеленген ГЦКторы бар металлды поликристаллдарында беріктігі мен пластикалылығының сипаттамалары өзгеруінің ерекшеліктері қаралған.

PECULIARITIES OF STRUCTURE-PHASE TRANSFORMATION AND DEFORMATION PROCESSES AT STAGE OF PRE-DESTRUCTION OF METALLIC POLYCRYSTALS WITH FCC-LATTICE, EXPOSED BY NEAUTRONS

O.V. Tivanova

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty, Kazakhstan

Peculiarities of structure-phase transformation and deformation processes and also changes of durability properties and plasticity in metallic polycrystals with FCC (face-centered cubic) - lattice, exposed by neutrons were investigated.

УДК 624.121

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЛУБИННЫХ ЗОН ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

Жолдыбаев А.К.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Рассмотрены информационные возможности основных систем наблюдения в методе рассеяннодифрагированных сейсмических волн на примере химического взрыва в скважине 1340-II участка Балапан. С использованием метода определено пространственное положение зоны динамического воздействия подземного ядерного взрыва (ПЯВ), произведенного в скважине 1314, выделена область максимальной трещиноватости и дробления горных пород в районе гипоцентра взрыва.

Введение

Образующиеся в скальных породах в результате проведения ПЯВ камуфлетная полость, сопряженные с ней трещинные, а также откольные структуры на границах раздела сред с различной акустической жесткостью - в совокупности составляют зону динамического воздействия взрыва. Наличие в этой зоне проницаемых структур создает предпосылки для миграции радионуклидов в окружающее пространство. В связи с актуальностью оценки реальной степени риска миграции радионуклидов и определения наиболее вероятных направлений их движения, одной из важных практических задач является получение достоверных данных о размерах и строении зон динамического воздействия ПЯВ на горные породы. Учитывая преимущества неразрушающих (дистанционных) методов зондирования недр, наиболее перспективными для решения этой задачи являются геофизические методы.

Сейсморазведка была широко использована в период функционирования Семипалатинского испытательного полигона. Однако получение сведений об особенностях глубинного деструктивного влияния отдельных ПЯВ на геологическую среду, в то время было недоступно в силу ограниченных возможностей применявшихся методик полевых работ (КМПВ). Первые сейсмические характеристики зон, подверженных воздействию ПЯВ, получены по итогам комплексных, в том числе и сейсмических, исследований с применением метода рефрагированных волн (МРВ), проведенных специалистами ИГИ НЯЦ РК. В настоящей работе приводятся результаты сейсмических работ по изучению зоны динамического воздействия ПЯВ в районе скважины 1314 участка Балапан.

Возможность детального изучения поствзрывных ослабленных структур сейсмическими методами определяется различием вмещающей среды и зон деструкции по акустической жесткости и базируется, как показано в [4], на пространственных системах наблюдений с многократным перекрытием, суммировании сейсмических записей по общей точке дифракции. Учитывая [5, 6], полученные экспериментальные данные, для изучения трещинных неоднородностей в ИГИ НЯЦ РК разработано ПМО фокусирующего суммирования рассеянных (дифрагированных) волн. С его использованием в настоящей работе проведена оценка эффективности различных методических приемов получения исходных данных и алгоритма суммирования [7] путем математического моделирования и полевых экспериментов на примере взрыва химического BB (12.5 тонн) в скважине 1340-II. Полученные выводы использованы при изучении последствий воздействия ПЯВ в скважине 1314.

Обоснование системы наблюдений по данным математического моделирования и экспериментальных работ в районе скважины 1340-II

Для выбора системы наблюдений, обеспечивающей оптимальное соотношение сигнал-помеха при фокусирующем преобразовании, проведено моделирование и оценены аномальные эффекты для различных способов размещения пунктов возбуждения и пунктов приема относительно эпицентра точки дифракции (рассеивания) сейсмических волн (рисунок 1).

Как можно видеть из рисунка 1 а, б, при параллельном расположении линий пунктов возбуждения и приема наблюдается «размазывание» точки рассеивания в пределах значительных расстояний от ее гипоцентра. Следствием этого эффекта должно быть непременное снижение разрешающей способности фокусирующего преобразования при локализации точки рассеивания. Иная картина получена при ортогональном расположении линий пунктов возбуждения и приема (рисунок 1 в). Область вычисляемых аномальных значений энергии рассеянных волн (ЭРВ) имеет ярко выраженную локальность и диаметр порядка 15 м. Таким образом, наиболее рациональной может быть признана система ортогонального расположения линий пунктов возбуждения и приема, удаленных от центра исследуемой площади в одном направлении (рисунок 1 в)).

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ГЛУБИННЫХ ЗОН ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

a







На рисунке 2 приведены результаты моделирования для оценки разрешающей способности метода. В случае, когда три объекта разнесены между собой на расстояние 60 м (рисунок 2 а), они однозначно выявляются в полях ЭРВ. При уменьшении расстояние между объектами до 40 м (рисунок 2б) три объекта отображаются по результатам обработки как два из-за влияния интерференции.

Исходя из этого, следует считать, что разрешающая способность метода - минимальная дистанция между объектами, позволяющая выделять их по отдельности, - порядка 60 м.



Рисунок 2. К оценке разрешающей способности метода ДРВ математическим моделированием

Экспериментальные сейсмические наблюдения в районе скважины 1340-II выполнены дважды: до химического взрыва и спустя два месяца после него. Наблюдения проведены на площадке (120×80 м) с центром в районе скважины 1340-II, сейсмоприемники (типа DF-8) были расставлены по сети 10×10 м, волновое поле возбуждалось последовательно в серии выносных пунктов (до 500 м от центра площадки). Возбуждение упругих колебаний осуществлялось невзрывным источником («падаюший груз» с освобождаемой энергией порядка 12 Кдж), регистрация – цифровая, с накоплением сигнала от 8-10 воздействий. Обработка данных включала предварительную подготовку наблюденных волновых полей с целью повышения соотношения сигнал-помеха путем снижения интенсивности регулярных помех (поверхностных, отраженнорефрагированных волн различной кратности) и подбор оптимальных параметров фокусирующего суммирования для выделения дифрагирующих (рассеивающих) объектов в изучаемых сечениях. По результатам измерений были построены вертикальные разрезы энергии рассеянных волн (рисунок 3).



1 - изолинии энергии рассеянных волн (ЭРВ) в условных .единицах (у.е.); 2 - повышенные значения ЭРВ (более удвоенного среднеквадратическое отклонение (m_A) от фоновых значений); 3 - контур зоны интенсивной трещиноватости по значениям ЭРВ; 4 - скважина 1340-II; 5 - место заложения заряда.

Рисунок 3. Участок Балапан. Вертикальные разрезы поля энергии рассеянных волн (ЭРВ) в районе скважины 1340-II:А – до взрыва; Б – после взрыва; В – разностное поле [8]

Средняя амплитуда рассчитанных значений энергии рассеянных волн (ЭРВ) в геологическом разрезе до взрыва составила порядка 1400 у.е., ее среднеквадратичное отклонение порядка ±350 у.е. По данным наблюдений, выполненным после взрыва (рисунок 3 Б) в месте проведения взрыва, в интервале глубин 120-250 м центральной части профиля, выявлена зона повышенных значений ЭРВ, контуры которой, с вероятностью не менее 95%, определяются изолинией 2100 у.е. Аналогичный анализ поля разности значений ЭРВ, рассчитанных до и после взрыва (рисунок 3 В), свидетельствует, что контуры объекта, образовавшегося после взрыва, с вероятностью не менее 95 %, выделяются по изолинии 1000 у.е. и соответствуют гипоцентральной области взрыва. Таким образом, проведенный эксперимент подтвердил эффективность разработанных методических приемов получения исходных данных и алгоритма их обработки. Эксперимент, проведенный в районе скважины 1340-I, более подробно описан в [8].

Выявление глубинных зон динамического воздействия от ПЯВ в скважине 1314

Методические приемы диагностики и определения геометрии поствзрывных трещинных неоднородностей [8, 9] использованы для изучения зоны динамического воздействия ПЯВ, произведенного в скважине 1314 участка Балапан. Скважина, расположенная на западном фланге участка, пройдена в осадочно-метаморфогенной толще. В конце 1982 г. в ней был произведен взрыв мощностью 120 кТ на глубине 529 м. Наблюдения МДРВ выполнены по системе, показанной на рисунке 4. Использованы те же технические средства, что при работах в районе скважины 1340-II. Результаты обработки и интерпретации представлены в виде разрезов ЭРВ по двум ортогональным профилям, проложенным через эпицентр взрыва - II (ССЗ - ЮЮВ) и IV. Общей закономерностью распределения ЭРВ в рассматриваемых сечениях (рисунок 4) является в целом повышенное (более 12000 у.е.) относительно флангов рассеивание упругой энергии в радиусе до 600 м от скважины для всего исследованного интервала глубин (0 – 800 м). Отмечается тенденция расширения области повышенных значений ЭРВ по мере приближения от гипоцентра к дневной поверхности. Полагая, что эффект рассеивания сейсмических волн пропорционален степени трещиноватости массива горных пород, границы области с аномально повышенными значениями ЭРВ приняты за контуры области, включающей наиболее существенные деструктивные изменения геологической среды, созданные под воздействием ПЯВ.

Наиболее контрастной и выделяемой по обоим профилям, является зона высоких значений ЭРВ (более 20000 у.е.) в районе гипоцентра взрыва, охватывающая интервал глубин 430-650 м. При средне-квадратичном отклонении рассчитанных значений ЭРВ порядка ± 4000 у.е., эта зона, как показал статистический анализ, выделяется с вероятностью не менее 95 %. Аномальная зона имеет округлое сечение по профилю IV. Она трактуется как зона максимально трещиноватых пород, обрамляющих полость ПЯВ, сформировавшаяся под дополнительным влиянием значительной анизотропии прочностных свойств горных пород.



1 - внешний контур механического воздействия ПЯВ на геологическую среду, 2 - зона максимальной трещиноватости и дробления в районе гипоцентра ПЯВ, 3 - зоны повышенной трещиноватости, определяющие возможные пути миграции радионуклидов из полости, 4 - гипоцентр ПЯВ, 5 - изолинии энергии рассеянных (дифрагированных) волн в условных единицах.

Рисунок 4. Участок Балапан. Профили II, IV в районе скважины 1314/ Вертикальные разрезы поля энергии рассеянных волн с элементами интерпретации

Общей чертой рассматриваемых разрезов является наличие линейно вытянутых аномалий (значения ЭРВ от 16000 до 20000 у.е.), сопряженных с гипоцентральной областью. Выделяемые с вероятностью 75-95%, они интерпретированы как зоны повышенной трещиноватости. Среди них особое значение имеют зоны, ориентированные в направлении к дневной поверхности, поскольку могут рассматриваться в качестве наиболее вероятных каналов миграции радионуклидов в грунтовые воды. По профилю II, таким каналом может быть зона мощностью порядка 50 м, восстающая в юго-юго-восточном направлении и прослеженная от полости до глубин порядка 100 м (район ПК 2000), а по профилю IV - зона, выходящая, максимально проявленная в интервале ПК 2700-2800 и выходящая на глубину около 50 м.

Заключение

Приведенные результаты экспериментов свидетельствуют о высокой информативности сейсморазведки методом рассеянно-дифрагированных сейсмических волн при изучении глубинных зон динамического воздействия подземных ядерных взрывов. Кроме основной, наиболее выраженной области деструкции, вызванной ПЯВ, обеспечивается возможность выявлять ослабленные структуры, сопряженные с полостью, и представляющие собой потенциальные каналы миграции радионуклидов. Рациональное комплексирование методов рассеянно-дифрагированных, преломленных и рефрагированных волн обеспечит получение достоверной информации не только о наличии, геометрических характеристиках и пространственном положении основных поствзрывных зон деструкции, но и позволит оценить их вероятную роль в качестве потенциальных каналов миграции радионуклидов в водоносные терригенные отложения.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Спивак А.А. Изменение структуры и проницаемости геологической среды при подземном ядерном взрыве//Геоэкология, 1997. № 3. С 41 49.
- Беляшов Д.Н. и др. Моделирование миграции загрязняющих веществ в подземных водах в районе Семипалатинского полигона/ Окончательный технический отчет по проекту К-056-96 МНТЦ. – Алматы, 1999.
- Беляшова Н.Н., Русинова Л.А., Беляшов А.В., Смирнов А.А. Изучение влияния ядерных взрывов на окружающие горные породы и морфологию поверхности с целью разработки методов инспекции на местах//Вестник НЯЦ РК. .-Курчатов: НЯЦ РК, 2000. – Вып. 2. – С. 105 – 114.
- 4. Старобинец А.Е. Выделение и интерпретация дифрагированных и квазидифрагированных волн. М.: Недра, 1988.
- 5. Шапиро С.А., Файзуллин И. С. О затухании сейсмических волнв горных породах как в дискретных рассеивающих средах //Известия АН СССР/Физика Земли, 1986, № 9. С. 56 63.
- Файзуллин И.С., Чиркин И. А. Сейсмоакустические методы изучения трещиноватости горных пород// Геоинформатика.
 М.: Вниигеосистем, 1998. № 3.
- Шалимов Б.П. Использование способов суммирования сейсмических записей при изучении дизъюнктивных нарушений. – Саратов: изд. Саратовского университета, 1973. С 167 - 175.
- Беляшов А.В., Шайторов В.Н., Политиков М.И. и др. Использование геофизических и геохимических методов при проведении полевого эксперимента - 2002 в рамках Инспекци на месте//Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2004. – Вып. 2. – С.9411
- Мелентьев М.И., Кислый Б.И., Политиков М.И., Шайторов В.Н. др. К оценке трещинной тектоники, сопряженной с подземной ядерной полостью скв.5РТК на Карачаганакском соляном куполе//Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. Вып. 2. – С. 88 – 95.

ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТЫН ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРТАСЫНА ДИНАМИКАЛЫҚ ӘСЕРІНІҢ ТЕРЕҢДЕГІ БЕЛДЕМДЕРІН АЙҚЫНДАП АЛУ ҮШІН СЕСМОБАРЛАУЫН ҚОЛДАНУ

Жолдыбаев А. К.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Балапан бөлікшесіндегі 1340-ІІ ұңғымасындағы химиялық жарылысының үлгісінде шашырағандифракцияланған сейсмикалық толқындары әдісімен бақылуының негізгі жүйелерінің ақпараттық мүмкіншіліктері қаралған. Әдісті қолдануымен, 1314 ұғымасында өткізілген жер астындағы ядролық жарылыстың динамикалық әсерінің кеңістік орналасуы анықталған, жарылыстың гипоорталығы ауданында максималь жарықшақтық және ұсатылу аймағы бөлінген.

PROSPECTING SEISMOLOGY APPLICATION TO DETECT DEPTH AREAS OF DYNAMIC IMPACT OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION ON GEOLOGY MEDIUM

A.K. Zholdybayev

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Information possibilities of basic observation systems by means of scattered-diffracted seismic waves method were considered on the example of chemical explosion in borehole 1340-II at Balapan site. Using this method it was revealed area of maximal fracturing and crushing of rocks in hypocenter of the explosion, and spatial location of area with dynamic impact of underground nuclear explosion executed in borehole 1314.

УДК 504.4.054:546

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД ГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН

Брянцева Н.В.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты изучения свойств различных сорбентов по очистке от радионуклидов ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ^{239,240}Pu вод, вытекающих из штолен массива Дегелен. Хороший эффект поглощения радионуклидов выявлен при использовании природных сорбентов местного происхождения. В качестве альтернативы природным глинам изучены поглотительные свойства местной почвы. Результаты исследований показали ее высокую сорбционную способность.

Введение

С 1961 по 1989 гг. в штольнях горного массива Дегелен было проведено более 200 испытаний ядерных зарядов. Многочисленные подземные испытания создали сложную радиационную обстановку, заключающуюся в накоплении радионуклидов в полостях взрывов и выносе их штольневыми водами на дневную поверхность. Радиационный мониторинг на территории массива Дегелен проводится с 1996 г. путем ежеквартального отбора проб воды и их лабораторного анализа на содержание 137 Cs, 90 Sr и ^{239,240}Ри. Лабораторные анализы проб воды показывают, что вынос радионуклидов продолжается до настоящего времени. [2-4]. Возник вторичный фактор длительного радиоактивного загрязнения дневной поверхности горного массива - водная миграция радионуклидов из полостей штолен. Учитывая, что на низменных участках местности водотоки благоприятно сказываются на развитии растительности, радиоактивное загрязнение почв влечет за собой поступление радионуклидов в пищевую цепочку: вода (почва) - растения - животные - человек. В этой связи, крайне актуальной является проблема предотвращения водной миграции радионуклидов с водами ручьев с территории горного массива. Специалистами Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК ведется поиск сорбентов для очистки вод, вытекающих из штолен. Основными требованиями, предъявляемыми к таким сорбентам, являются достаточно высокая поглотительная способность, доступность и дешевизна.

Актуальность проблемы предотвращения водной миграции радионуклидов на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона возрастает с каждым годом, поскольку активизируется хозяйственная деятельность на этой территории. Продолжающееся радиоактивное загрязнение окружающей среды поверхностными водами осложняет радиоэкологическую обстановку как на полигоне, так и в прилегающих к нему регионах. Результаты исследования необходимы для обоснования рекомендаций по ведению хозяйственной деятельности на территории бывшего полигона. Разработанными очистными установками можно будет оборудовать очистные станции на других водотоках бывшего СИП для предотвращения распространения радиоактивного загрязнения окружающей среды поверхностными водотоками.

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ИСКУССТВЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ

Одним из показателей, характеризующих поглотительную способность различных сорбентов, является процент (доля) сорбции радионуклида твердой фазой из водного раствора (S) при определенном соотношении твердой и жидкой фаз. Показатель, характеризующий поглотительную способность сорбентов, может изменяться от 0 до 100% и рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{(C_p - C'_p) \cdot 100}{C_p} \%,$$
 (1)

где S – количество радионуклида, сорбированное твердой фазой, в процентах от количества радионуклида в исходном растворе; C_p – концентрация радионуклида в растворе до взаимодействия его с сорбентом, Бк/л; C'_p –концентрация радионуклида в растворе после взаимодействия с сорбентом, Бк/л. Под сорбцией в данном случае понимается совокупность всех процессов, при которых радионуклид переходит из жидкой фазы в твердую. Процент сорбции радионуклидов из почвы зависит как от физико-химических свойств почв, так и радионуклидов.

Наиболее часто в литературных источниках упоминается об очистке воды от радионуклидов с помощью как искусственных, так и природных сорбентов [5, 6, 25, 26]. Однако более целесообразно использовать местное природное сырье, например, белые глины. Были проведены эксперименты по сравнению сорбционных свойств при очистке загрязненных вод от радионуклидов ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ^{239,240}Pu с использованием белой элювиальной глины, глин, модифицированных соединениями фосфора, и других модифицированных природных сорбентов, полученных в Институте химических наук (г. Алматы) [4, 11]. Глины, модифицированные соединениями фосфора, были получены при обработке их фосфорной кислотой в соотношении 1:2 и 1:4. природные глины достаточно активны в естественном состоянии, однако некоторые из них целесообразно активировать химическим или термическим способом для увеличения и регулирования их пористой структуры, изменения химической природы поверхности [16, 23, 25, 28]. Фосфорная кислота для подобных целей ранее не применялась [4]. Интересно также было опробовать сорбционные свойства других фосфорсодержащих сорбентов. Сорбенты, полученные в Институте химических наук г. Алматы, являются кальцийфосфатным гидратированным сорбентом и магнийсодержащим гидратированным сорбентом на основе гидроксиапатита.

Частично опыты были «модельными», когда в воду вносились радиоактивные «метки», в некоторых опытах использовалась вода, отобранная на водотоках штолен, загрязненных радионуклидами. Условия сорбции были приближены к естественным - статические, без перемешивания. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Вид сорбента	Удельная активность радионуклидов в воде, Бк/л						Процент сорбции		
	^{239,240} Pu		⁹⁰ Sr		¹³⁷ Cs				
	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта	до опыта	после опыта	^{239,240} Pu	⁰°Sr	¹³⁷ Cs
Белая глина	87	3	1290	400	640	4	96,6	68,9	99,4
Природный модифицирован- ный сорбент 1:2	110	3	1220	589	220	57	97,3	51,7	74,1
Природный модифицирован- ный сорбент 1:4	110	3	1220	302	220	104	97,3	75,2	52,7
Кальцийфосфатный гидратированный сорбент	5,30	0,15	1200	840	240	240	97	30	0
Магнийсодержащий гидратированный сорбент	5,90	0,1	1200	360	240	240	98	70	0

Таблица 1. Сорбционные свойства различных сорбентов

Проведенные исследования показали, что наибольшей сорбционной способностью по отношению к радионуклиду ¹³⁷Cs обладает белая глина, по отношению к радионуклиду ⁹⁰Sr – сорбент, модифицированный фосфорной кислотой в соотношении 1:4, по отношению к ^{239,240}Pu эффективны практически все исследуемые сорбенты.

Однако проведенные эксперименты показали, что, несмотря на то, что модифицированные сорбенты на основе гидроксиапатита проявляют высокую сорбционную способность по отношению к ^{239,240}Pu, их широкомасштабное использование не представляется возможным из-за низкой сорбционной способности по отношению к 90 Sr и 137 Cs, высокой себестоимости, а также большой растворимости. Сорбенты, модифицированные фосфорной кислотой, также показывают хорошую сорбционную способность, однако их использование может быть затруднено из-за длительной и довольно дорогостоящей предварительной под-По готовки. результатам работы можно предположить, что местные природные сорбенты (белые глины), в сравнении с остальными, являются наиболее перспективными для очистки загрязненных радионуклидами вод, вытекающих из штолен.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ МАССИВА ДЕГЕЛЕН

Анализ литературных данных показал, что почвы обладают достаточно высокой сорбционной емкостью [7, 8, 19, 21]. В этой связи изучен вопрос о возможности замены белых глин суглинистыми почвами, находящимися непосредственно «на месте». В лабораторных условиях была смоделирована система трех прудов в статических условиях и продолжено изучение поэтапной сорбции радионуклидов (¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ^{239,240}Pu) из вытекающих штольневых вод почвами массива Дегелен на примере штольни № 104.

Для опытов отбиралась почва массой 800 г с известной удельной активностью изучаемых радионуклидов, вода из штольни № 104 объемом 2 л также с известной удельной активностью изучаемых радионуклидов. Работа проводилась в несколько этапов: контакт почвы с водой, выстаивание в течение 5 дней, проведение радиохимического анализа ^{239,240}Pu ⁹⁰Sr И содержание И на гаммаспектрометрического анализа на содержание ¹³⁷Сs. Затем операции дважды повторялись без замены образцов почвы. Результаты определения удельной активности радионуклидов в воде при первой, второй, третьей сорбциях приведены в таблице2.

Анализ результатов показывает, что на 1 этапе сорбции почва проявила максимальные сорбционные свойства по отношению к изучаемым радионуклидам. В дальнейшем ее сорбционные свойства снижаются. Следует отметить отрицательные стороны использования почв в качестве сорбентов. Почва активно впитывает воду, так что возможно растворение почвы в воде, уменьшение в результате ее массы, т.е. вымывание, что в полевых условиях выразится в размывании берегов прудов (или насыпей) и в загрязнении прилежащих территорий
растворенными радионуклидами (вторичное загрязнение). При длительном использовании почвы в полевых условиях вполне возможен обратный эффект – десорбции:

- насыщение почвы, т.е. возникновение равновесия между растворенными и поглощенными радионуклидами.
- растворение радионуклидов, находящихся в почве.

В полевых условиях возможны и несколько другие результаты, поскольку условия не будут полностью статичными. Возможна погрешность лабораторных исследований из-за невозможности смоделировать боковые стенки прудов, которые в полевых условиях дадут дополнительную сорбционную возможность для радионуклидов.

	^{239,240} Pu	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
	Первая	сорбция	
До сорбции	140	334	238
После сорбции	0,256	149±24	0,82
% сорбции	99,8	55,4	99,6
	Вторая	сорбция	
До сорбции	140	334	238
После сорбции	0,678	155	7
% сорбции	99,5	53,5	97
	Третья	сорбция	
До сорбции	140	334	238
После сорбции	2,36	227	6
% сорбции	98,2	32	97,4

Таблица 2. Удельная активность радионуклидов в воде, Бк/л

Выводы

По полученным результатам исследования можно сделать следующие выводы:

• Сорбционные свойства природных сорбентов (белая глина) достаточно высоки и поэтому их применение для предотвращения распространения радионуклидов весьма перспективно. К тому же вблизи СИП имеется близповерхностное месторождение каолиновых глин.

• Несмотря на высокую сорбционную способность модифицированных сорбентов на основе гидроксиапатита по отношению к ^{239,240}Pu, они могут представлять лишь академический интерес, поскольку их широкомасштабное использование не представляется возможным из-за низкой сорбционной способности по отношению к ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs, высокой себестоимости, а также большой растворимости сорбентов.

• Сорбенты, модифицированные фосфорной кислотой, показали хорошую сорбционную способность, однако их использование представляется нерациональным из-за длительной и довольно дорогостоящей предварительной подготовки. • По сравнению с другими исследованными природными сорбентами, сорбционные свойства почвы массива Дегелен выражены наиболее сильно. Поэтому именно использование почв представляется наиболее целесообразным для ограничения распространения выноса радионуклидов со штольневыми водами за пределы горного массива Дегелен.

• Основой использования природных сорбентов может стать создание специальных очистных сооружений на загрязненных территориях массива Дегелен. Необходимо проведение натурных экспериментов, максимально приближенного к естественным условиям.

Благодарности

Автор выражает признательность своему научному руководителю Артемьеву О.И. за помощь в проведении исследований и анализе результатов, а также сотрудникам лаборатории радиохимических исследований ИРБЭ Процкому А.В., Божко В.В., Донцовой Г.А. за помощь в проведении лабораторных анализов.

Литература

- 1. Афанасьев Ю.А., Фомин С.А., Меньшиков В.В. и др. Мониторинг и методы контроля окружающей среды М.: Изд-во МНЭПУ, 2001.
- Ахметов М.А., Артемьев О.И., Птицкая Л.Д. Радиационный мониторинг водотоков и проблемы реабилитации на горном массиве Дегелен Семипалатинского испытательного полигона//Вестник Национального ядерного центра Республики Казахстан/Радиоэкология. Охрана окружающей среды. - Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып.3(9). - С. 23 - 28.
- Ахметов М.А., Коновалов В.Е., Птицкая Л.Д. Современное состояние экосистемы на испытательной площадке Дегелен бывшего СИП.//Труды международной конференции "Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях", СПб, 2000. – Т. 1. - С. 477 - 483.

- Ахметов М.А., Синяев В.А., Ларин В.Н., Курманбаева Д.С., Голикова Н.В. Использование сорбентов на основе глин для очистки воды, загрязненной радионуклидами//Вестник НЯЦ РК/Радиоэкология. Охрана окружающей среды. Курчатов: НЯЦ РК, 2002 – Вып. 3. – С. 133 – 135.
- 5. Аширов А.И. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов. Л.: Химия, 1983.
- 6. Бобонич Ф.М. Химический состав и ионообменные свойства цеолитов//Теор. и экспер. Химия, 1990. № 3 С. 378 382.
- Бондарь П.Ф. Об оценке эффективности сорбентов как средства закрепления радионуклидов в почвах//Радиационная биология. Радиоэкология, 1998. – Т.З 8 – Вып.2.
- Бондарь Ю.И., Забродский В.Н. Сорбция ионных форм ¹³⁷Сѕ и ⁹⁰Sг различными типами почв//Радиохимия, 2001. Т. 43. – № 6. – С. 566 - 568.
- 9. Боргузов В.М., Гаврилов А.П. и др. Методика поисков разведки и промышленной оценки цеолитсодержащих пород//Разведка и охрана недр, 1989.– № 7.– С. 28 33.
- 10. Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. М.: Энергоатомиздат, 1990.
- Голикова Н.В., Артемьев О.И., Ларин В.Н., Донцова Г.А. Изучение природных сорбентов семипалатинского региона//Вестник НЯЦ РК/Радиоэкология. Охрана окружающей среды. – Курчатов: НЯЦ РК, 2003 – Вып. 3. – С. 61 – 64.
- Горбунова Э.М., Спивак А.А. Оценка возможного радиоактивного загрязнения подземных вод Семипалатинского полигона//Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. Международная конференция. – Москва, 24-26 апреля 2000 г. – Труды. – С. 644 - 649.
- 13. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1986.
- Дмитриев М.Т., Казнина Н.И., Пинигина И.А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде. – М.: Химия, 1989.
- Израэль Ю.А., Стукин Е.Д. Феноменология загрязнения подземных вод после подземного ядерного взрыва.
 //Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. Международная конференция. Москва, 24-26 апреля 2000 г. Труды. – С. 616 - 623.
- 16. Клячков В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. М.: Стройиздат, 1971.
- 17. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Киев: Наук. думка, 1983. 18. Крылов В.Н., Гедеонов Л.И., Раков Н.А. Неорганические сорбенты в радиохимическом анализе морской
- 10. Крылов Б.п., Гедеонов Л.и., гаков п.А. пеорганические сороенты в радиохимическом анализе морски воды//Радиохимия, 1973. – Т. 15 – № 5. – С. 654 - 658.
- 19. Куликова И.В., Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Радиоэкология почвенно-растительного покрова. Свердловск, 1990.
- 20. Михайлов А.С., Дистанов У.Г. Минеральное сырье. Цеолиты. Справочник М.: Изд. ЗАО Геоинформмарк, 1999.
- 21. Муравьева А.Г., Каррыев Б.Б., Ляндзберг А.Р. Оценка экологического состояния почвы. СПб.: Крисмас, 2000.
- 22. Отчет ИРБЭ НЯЦ РК по программе РЦНТП "Развитие атомной энергетики в Казахстане". Курчатов, 2001. 73 с.
- Ремез В.П., Канивец В.В., Поляков Е.В., Ремез Е.П. Использование композитных сорбентов для экологического мониторинга водных объектов//Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. Международная конференция. – Москва, 24-26 апреля 2000 года. – Труды. – С. 673 - 679.
- 24. Семипалатинский полигон: Обеспечение общей и радиационной безопасности ядерных испытаний, Под редакцией Логачева В.А., Москва. 1997. 319 с.
- 25. Сироткина Е.Е., Иванов В.Г, Глазков О.В. и др Применение новых адсорбентов для комплексной очистки воды//Химия в интересах устойчивого развития, 1997. Т. 5, № 4. С. 429—437.
- 26. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982.
- 27. Смирнов Д.Н., Генкин В.Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлургия, 1980.
- Соболев В.А., Бобонич Ф.М., Барань А.А. О применении сорбентов на минеральной основе для дезактивации и очистки загрязненных территорий. /Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях. Международная конференция. – Москва, 24-26 апреля 2000 года. – Труды. – С. 402 - 410.

ДЕГЕЛЕҢ ТАУЛЫ МАССИВІНДЕГІ РАДИБЕЛСЕНДІ ЛАСТАНҒАН СУЛАРДЫ СІҢІРУМЕН ТАЗАЛАУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРДЕЛЕУ

Брянцева Н.В.

ҚР ҰЯО Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов, Қазақстан

Ядролық жарылыстар нәтижесінде радибелсенді ластануға ұшыраған беткі суқоймаларының аймақтарын экологиялық қайта сауықтыру бойынша жұмыстар шегінде, штольнялардан ағатын суларды ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ^{239/240}Pu радионуклидтерінен тазалайтын әртүрлі сорбенттердің қасиеттерін зерделеу жүргізілуде. Дегелең штольняларынан ағатын суларды радионуклидтерден тазалауға арналған әртүрлі сорбенттердің қасиеттерін зерделеу жүргізілуде. Дегелең штольняларынан ағатын суларды радионуклидтерден тазалауға арналған әртүрлі сорбенттердің қасиеттерін зерделеудің нәтижелері ұсынылған. Жергілікті табиғи сорбентті пайдаланғанда радионуклидтерді сіңірудің жақсы әсері анықталды. Табиғи сазбалшықтардың мүмкіндік баламасы ретінде жергілікті топырақтың сіңіргіштік қасиеттері зерделенді. Зерттеулер нәтижелері оның сіңіру қабілетінің өте жоғары екендігін көрсетті.

STUDY OF SORPTION CLEANING METHODS FOR RADIOACTIVELY CONTAMINATED WATER ON DEGELEN MOUNTAINS

N.V. Bryantseva

Institute of Radiation Safety and Ecology NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Under a special program of ecological rehabilitation of surface water bodies radioactively contaminated due to nuclear tests a study is in progress to investigate properties of various sorbents to remove radionuclides from water running out of tunnels ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ^{239/240}Pu. We present the results of investigations aimed at study of properties of various sorbents for their potential use in cleanup of radionuclide-contaminated waters flowing out of the Degelen tunnels. The preference is given to the natural sorbents of local origin. A model to use sorbents in a field facility for water decontamination is under the development. Were investigated sorption properties of local soil as an alternative of using natural sorbents. The results revealed its high sorption properties.

УДК 621.039.9:550.34

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСА СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Беляшов А.В.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Рассматриваются результаты изучения влияния на геологическую среду подземных ядерных взрывов, произведенных на Семипалатинском испытательном полигоне (участок Балапан). В ходе исследований применен комплекс сейсмических методов, включающий пространственное зондирование и обменных волн землетрясений для прогнозирования характера и скорости поствзрывных процессов.

Введение

Территория бывшего Семипалатинского испытательного полигона всё больше вовлекается в хозяйственную деятельность. В частности, на участке Балапан разрабатывается каменноугольное месторождение Кара-Жыра, в районе горного массива Дегелен ведётся разработка карьеров гранитов и флюоритов и т.д. В связи с этим, значимость вопроса о безопасном использовании недр полигона к настоящему времени существенно возросла. В первую очередь рассматриваются вопросы радиационной и сейсмической безопасности района. Результаты радиоэкологических обследований территории полигона, выполненных специалистами НЯЦ РК и представителями сторонних организаций, показывают, что степень изученности площадного загрязнения подземных вод остается низкой (особенно для участка Балапан) [1-5]. Одновременно с радиационным загрязнением среды, подземные ядерные взрывы (ПЯВ) приводили к изменению ее напряженнодеформированного состояния и дестабилизации недр, что, в свою очередь, может вызвать активизацию локальной (наведённой) сейсмичности региона. Одним из вспомогательных инструментов изучения последствий воздействия ПЯВ на окружающие горные породы являются сейсмические методы. Механические нарушения сплошности среды, приуроченные к ПЯВ (взрывные полости, зоны активного дробления и трещиноватости горных пород и т.д.) проявляются в виде изменения скоростных параметров исследуемого участка.

После подписания в 1996 г. Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) перед Республикой Казахстан встал вопрос о выполнении национальных мер по осуществлению технических обязательств, вытекающих из него. Одним из таких обязательств является развитие технологий Инспекции на месте, в частности, совершенствование сейсмических методов.

Настоящая работа посвящена изучению строения блока земной коры на участке Балапан, подвержен-

ного воздействию ПЯВ с использованием комплекса сейсмических методов – метода пространственного зондирования (МПЗ) и метода обменных волн землетрясений (МОВЗ).

Участок исследований

Комплекс сейсмических наблюдений применен на участке СИП с достаточно большой плотностью проведения подземных ядерных испытаний (рисунок 1). Такой выбор обеспечивал возможность изучения длительного (17-летнего) многократного воздействия ПЯВ на обширный блок среды, испытавший взаимные влияния поствзрывных явлений. Участок исследований (условное название «Жарень») площадью 6000х3500 м² расположен в районе скважин 1315, 1061, 1220 и др. на площадке Балапан. В геологическом отношении район сложен в основном песчаниками, глинами, туфами, порфиритами, алевролитами, гранитами. В пределах участка исследований находится в общей сложности 18 так называемых боевых скважин (с подорванными ядерными зарядами). Взрывы произведены в интервале глубин от 466 до 628 м, максимальная величина заряда 212 кт, минимальная – 15 кт.

МЕТОД ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (МПЗ)

Система наблюдений

МПЗ относится к числу «активных» сейсмических методов, т.е. с применением искусственных источников возбуждения упругих колебаний (взрывов, ударных установок, вибраторов и др.). Метод основан на использовании так называемых рефрагированных волн, обязанных своим возникновением неоднородностям слоев земной коры [6]. Система наблюдений обеспечивает изучение точек среды сейсмическими волнами, приходящими с разных направлений [7]. Исходя из априорной информации о размерах зон, подверженных воздействию ПЯВ (около 300 м в горизонтальном сечении) выбрана схема и детальность системы наблюдений [8], приведенная на рисунке 2.



Рисунок 1. Фрагмент топографической карты участка Балапан (СИП) с контуром площади наблюдений

Наблюдения проводились по всей площади с шагом между пунктами приема 125 м вдоль профилей при расстоянии между профилями 250 м. Для возбуждения упругих волн использовались сейсмические взрывы небольшой мощности (вес заряда до 40 кг), которые выполнялись по равномерной сети с шагом 500 м между пунктами возбуждения. Каждый взрыв был зарегистрирован всеми точками приема системы наблюдений. Общее количество пунктов взрыва - 104, количество пунктов наблюдения – 720.

Аппаратура

Для регистрации сейсмических волн использовался аппаратурный комплекс «Карс». Сейсмические записи получены на аналоговых двенадцатиканальных станциях АСС - 3/12 с использованием сейсмоприемников СК-1П. Приборы обеспечивают трехкомпонентную регистрацию сейсмических сигналов (две горизонтальных и одна вертикальная компоненты). Каждая станция регистрировала записи четырех сейсмоприемников. Частотный диапазон станции записи: от 0.5 до 64 Гц, динамический диапазон: 120 дБ. Регистрация сейсмических взрывов осуществлялась 36-ю комплектами станций записи, что составляет 144 точки наблюдения (3 сейсмических профиля). Полный курс работ составил 5 стоянок (15 профилей), все сейсмические взрывы выполнены по 5 раз в каждом пункте возбуждения. Для временной привязки сигналов в каждой станции записи установлены кварцевые часы с максимальным отклонением времени 0.01 сек в сутки. Для перевода сейсмических записей из аналоговой формы в цифровую использована станция воспроизведения ВСС – 6/12, которая имеет устройство сопряжения с



пункты наблюдений, 2 – пункты возбуждения упругих колебаний, 3 – боевая скважина и её номер

Рисунок 2. Система наблюдений МПЗ

персональным компьютером. Частота дискретизации сигналов до 4 КГц.

Обработка сейсмических данных

Обработка сейсмических данных МПЗ включала предварительную обработку, анализ волнового поля, построение объёмных моделей и анализ полученных результатов.

Предварительная обработка включала в себя следующие этапы:

- оцифровку данных, создание файлов для каждой точки наблюдения с информацией о координатах точки, времени записи и непосредственно сейсмической трассой;
- построение сводных сейсмограмм с использованием программы, разработанной специалистами ИГИ НЯЦ РК (группирование сейсмических трасс в зависимости от их удаления от пункта взрыва, создание для каждого пункта возбуждения сводной сейсмограммы, определение время вступления основных сейсмических фаз, автоматическое создание текстового файла с координатами пунктов приема, временами прихода волны в каждый пункт);
- построение графиков зависимости времени прихода сейсмического луча в каждую точку от расстояния до этой точки (годографов).

Анализ волнового поля проводился по профильным и пространственным годографам поперечных и продольных волн [9]. Методика наблюдений обусловила получение достаточно детальных систем годографов, качество которых контролировалось по увязке системы профильных годографов во взаимных точках (с точностью до 20 мс) [7]. Анализ волнового поля позволил выявить трехслойную модель изучаемого участка. В связи с тем, что годографы рефрагированных продольных Р-волн и соответствующих им поперечных S-волн, связанных с тремя выявленными скоростными слоями, оказались идентичными по структуре, здесь характеризуются только Р-волны. Для первого слоя определена кажущаяся скорость продольных волн около 1300 м/с. На годографе волна прослеживается на расстоянии около 300 м от пункта взрыва и приурочена к так называемой зоне малых скоростей верхней части разреза. Зона представлена песчаниками и глинами, мощность которых в северовосточной части достигает 70 м, плавно уменьшается в юго-западном направлении с последующим выклиниванием. На расстоянии примерно 300 м от пунктов возбуждения в первые вступления выходит волна, обязанная своим происхождением слою с кажущейся скоростью около 2600 м/с. Слой представлен известняками, алевролитами и конгломератами. Волны от второго слоя прослеживаются на расстояние до 630 м от пункта взрыва, где в первые вступления выходят волны третьего слоя. Третий слой представлен породами фундамента (туфами, габбро-диоритами и гранитами) и характеризуется кажущейся скоростью около 5000 м/с.

Для построения объемных скоростных моделей по продольным и поперечным волнам был использован сейсмический пакет FIRSTOMO, версия 2.2 е) (Санкт-Петербург, Дитмар П.Г., Рослов Ю.В.). В результате обработки сейсмических данных были получены трехмерные скоростные модели блока земной коры, подверженного воздействию ПЯВ, по продольным и поперечным волнам (рисунок 3 а, б).

Для получения информации о механических свойствах, характеризующих деформационное состояние среды исследуемого участка, с использованием значений скоростей продольных и поперечных волн был рассчитан коэффициент Пуассона σ (отношение абсолютной поперечной деформации к абсолютной продольной деформации при одноосном растяжении, изменяющееся в диапазоне 0< σ <0.5.):

$$\sigma = (Vp^2 - 2 \times Vs^2) / (2 \times (Vp^2 - Vs^2)), \qquad (1)$$

где Vp и Vs – скорости продольных и поперечных волн, соответственно.

Результаты расчетов в виде объёмной модели распределения коэффициента Пуассона приведены на рисунке 3 в.



Рисунок 3. Объёмные модели, построенные по: а – продольным волнам; б – поперечным волнам; в - коэффициенту Пуассона

Анализ полученных результатов

По данным МПЗ проведена оценка степени механического воздействия подземных ядерных взрывов на вмещающие горные породы и на геологическую ситуацию участка исследования в целом. Модели на рисунке 3, приведены в виде срезов, где схематически обозначены места проведения ядерных испытаний - боевые скважины с параметрами взрывов (датой, мощностью и глубиной заложения заряда). Поскольку сейсмические исследования до проведения испытаний не выполнялись, нет возможности оценить последствия влияния ядерных взрывов на блок земной коры в сравнении с исходным его строением. Однако представленные модели иллюстрирует, что подземные ядерные взрывы существенным образом влияют на скоростные параметры окружающих горных пород [10-13]. Современное строение изучаемого участка имеет сложный характер, с блоковым залеганием пород, большим количеством субвертикальных границ нарушения сплошности среды, горизонтальных разрывных нарушений и т.д. Обнаруживается эффект взаимного влияния проведённых взрывов друг на друга, выраженный в «затирании» последствий более ранних взрывов физическими аномалиями от хронологически более поздних испытаний (район скважин 1321, 1357 и 1227). Наблюдаются участки проявления обратной зависимости поствзрывных физических аномалий в изучаемой среде. В частности, подземный взрыв в скважине 1315 был выполнен в 1987 г., т.е. позже, чем испытание в скважине 1061 (1972 г.). Но из-за менее значительной мощности заряда (58 кт относительно 165 кт в скважине 1061) основная часть энергии от взрыва в скважине 1315 была направлена в сторону структур, ранее ослабленных взрывом в скважине 1061, увеличив тем самым общую зону активных разрушений. В общем случае, на скоростных моделях проявление ПЯВ выражается в образовании низкоскоростных зон в гипоцентрах взрывов характерной циклической формы с выдавливанием к краям более высокоскоростных зон. На модели распределения коэффициента Пуассона (рисунок 3 в) влияние ПЯВ на вмещающую среду проявляется в виде образования в очагах взрывов зон с повышенными деформационными значениями (зон дезинтеграции горных пород), окружённых более плотными зонами повышенной напряжённостью горных пород. Размеры зон общих поствзрывных разрушений изменяются от 500 до 2000 м в горизонтальном сечении в зависимости от свойств вмещающей среды и параметров выполненных взрывов.

Для оценки зависимости современного строения изучаемого блока земной коры, выявленного с помощью сейсмических методов, от условий залегания геологических структур на модель распределения коэффициента Пуассона вынесены основные тектонические разломы (рисунок 3 в). Можно видеть, что поствзрывные аномалии располагаются вкрест простирания основных разломов и свидетельствуют об отсутствии принципиального влияния тектонического строения участка на характер последствий от проведённых ПЯВ. Вызывает интерес характерная ситуация, представленная на примере скважины 1066. Взрыв в этой скважине был выполнен в 1973 г. и был максимальным по мощности – 212 кт. Во время проведения испытания разрывные нарушения, предположительно, распространялись из очага взрыва радиально во все стороны. Но на юго-западе от гипоцентра взрыва проходит крупный разлом, который заблокировал распространение поствзрывной зоны трещиноватости в данном направлении, и основная часть энергии от взрыва, экранированная от этого разлома, была направлена в обратном направлении – на северо-восток от гипоцентра взрыва (рисунок 3 в). Аналогичная ситуация замечена в районе одной из штолен горного массива Дегелен, что подтверждает некоторые общие закономерности проявления ПЯВ в среде.

Метод обменных волн землетрясений (MOB3)

Система наблюдений и аппаратура

МОВЗ относится к числу «пассивных» сейсмических методов, с использованием естественных источников упругих колебаний – землетрясений [14, 15]. В рамках данной работы объектами исследования являются границы нарушения сплошности среды, приуроченные к зонам ПЯВ (субвертикальные и субгоризонтальные разрывные нарушения, приповерхностные зоны откола, различные разломы и т.д.) в совокупности условно названные первой (верхней) границей обмена. В [16, 17] показано, что данная граница, в силу своих петрофизических свойств, является обменообразующей, т.е. при прохождении через неё продольной волны часть энергии преобразуется в обменную поперечную PSволну. Времена прихода продольной и обменной волн к пунктам наблюдения используют для определения условий залегания (глубины, наклона и т.д.) верхней границы обмена [14 - 18]

Регистрация сейсмических событий велась с использованием аппаратурного комплекса «Карс», на тех же пунктах наблюдений, что и в методе пространственного зондирования, как правило, в ночное время суток (с целью уменьшения записей антропогенных помех). Общая продолжительность наблюдений составила около 50-ти суток, общее количество зарегистрированных событий – 67. После предварительного отбора, заключавшегося в оценке качества сейсмической записи, удалённости землетрясения от площади наблюдений и т.д., в дальнейшую обработку было включено 39 событий.

Обработка сейсмических данных МОВЗ

Обработка данных МОВЗ состояла из предварительной обработки, расчёта параметров залегания границы обмена, построения объёмной модели границы первого обмена и анализа полученных результатов.

Предварительной обработкой обеспечены::

- перевод аналоговой записи зарегистрированных землетрясений в цифровую форму, получение файлов данных, включающих сейсмическую запись землетрясения, абсолютное время, номер станции, координаты точки наблюдения;
- определение на сейсмограммах времён вступления продольной и обменной волн (рисунок 4) для всех точек наблюдений (вертикальной Z компоненты, для продольной волны, одной из горизонтальных X или Y компоненты, для обменной PS-волны в соответствии с [14 18];
- вычисление времени запаздывания (dT) обменной PS-волны относительно продольной P-волны:

$$dT = tPS - tP$$
.

Расчёт параметров залегания границы обмена (глубины и местоположения) производился для каждой точки наблюдения с использованием упрощённой формулы [18]:

$$H = \sin\alpha \times [\Delta t \times (Vp \times Vs)/(Vp - Vs)], \qquad (2)$$

где: Н – глубина залегания границы обмена, Δt – разница времён прихода продольной (P) и обменной (PS) волн на точку наблюдения, Vp и Vs – скорости продольных и поперечных волн (соответственно) в вышележащем слое, α – угол выхода сейсмического луча к дневной поверхности.

Значения скоростей продольных (Vp) и поперечных (Vs) волн были взяты по результатам работ МПЗ. Угол выхода сейсмического луча к дневной поверхности (α), азимут подхода волны к точке наблюдения и кажущаяся скорость продольной волны (скорость распространения фронта волны вдоль дневной поверхности) определялись из поверхностного годографа, который, в свою очередь, был построен по разнице времён прихода сейсмической волны на разные точки наблюдения (рисунок 5). Угол выхода сейсмического луча определялся по формуле:

$$\cos\alpha = Vp / V^* \tag{3}$$

Величина сейсмического сноса (L) - расстояния от проекции точки наблюдения на поверхность обмена до точки отрыва продольной волны от поверхности обмена – рассчитывалась по формуле:

$$L = \cos\alpha \times [\Delta t \times (Vp \times Vs)/(Vp - Vs)]$$
(4)



Вступление фаз: 1 – продольной Р-волны, 2 – обменной PS-волны; 3 – время запаздывания обменной волны относительно продольной, 4 – компонента сейсмоприёмника (Z – вертикальная, X и Y - горизонтальные)

Рисунок 4. Пример выделения вступления продольной и обменной фаз на сейсмограмме и определения времени запаздывания



 1 – азимут подхода сейсмической волны к площади наблюдений; 2 – изолинии относительного времени прихода сейсмической волны на пункты наблюдения

Рисунок 5. Пример поверхностного годографа для землетрясения, зарегистрированного при проведении работ MOB3

С использованием результатов вычисления глубины границы первого обмена и величины сейсмического сноса для всех точек наблюдения и с помощью пакета Surfer построена объёмная модель поверхности первого обмена (рисунок 6). На поверхность первого обмена вынесены проекции боевых скважин.



Рисунок 6. Объёмная модель поверхности

первого обмена по данным МОВЗ

Как видно из рисунка 6, результаты МОВЗ подтверждают информацию о сложном строении исследуемого блока земной коры, полученную с помощью технологии МПЗ. Поверхность первого обмена, представляющая собой совокупность отдельных площадок обмена различной пространственной направленности, представляет собой сложную структуру. Наблюдаются отдельные блоки геологических пород с крутопадающими субвертикальными границами. Отмечаются участки отсутствия границы обмена, проявленные на объёмной модели в виде характерных «впадин». Эти участки предположительно приурочены к зонам активного дробления горных пород при отсутствии явно выраженных границ нарушения сплошности среды. Минимальная глубина залегания границы обмена на участке исследований лежит в интервале от минус 40 до минус 60 м, что соответствует границе раздела между рыхлыми отложениями верхней части разреза (глинами, песками) и породами нижележащего слоя, представленного известняками, алевролитами и конгломератами. Максимальная глубина залегания границы обмена на представленной модели условно ограничена значением минус 1000 м.

Результаты предыдущих исследований [16, 17] показали, что воздействие одиночного подземного взрыва на вмещающую среду проявляется также в виде образования куполообразной зоны откола над гипоцентром взрыва. Полученные результаты характеризуются отсутствием закономерности расположения проекций боевых скважин на поверхности обмена – последние размещаются как в районе «впадин», так и над куполообразными возвышенными участками. Данный факт может свидетельствовать о взаимных механических влияниях последствий от проведённых ПЯВ друг на друга.

Сопоставление результатов МПЗ и МОВЗ

Пример сопоставления результатов, полученных с помощью двух сейсмических технологий (МПЗ и МОВЗ), представлен на рисунке 7. Плоскость сечения на объёмных моделях, построенных по методу пространственного зондирования, выбрана через участок максимальных нарушений границы первого обмена.





Результаты выполненных сейсмических работ по МПЗ и МОВЗ, представленные в виде объёмных моделей (рисунок 7 в, г), уверенно увязываются между собой. Зоны с повышенными значениями деформационного параметра (модель распределения коэффициента Пуассона) совпадают с участками отсутствия границы обмена. Данные зоны предположительно относятся к местам активного (динамического) разрушения горных пород, приуроченным к проведённым подземным ядерным взрывам. Более плотные зоны, отличающиеся пониженными значениями коэффициента Пуассона, на объёмной модели поверхности обмена проявились в виде непрерывной границы обмена с различными параметрами залегания (глубиной, пространственной направленностью и т.д.).

Таким образом, подтверждены основные закономерности проявления ПЯВ в среде, выявляемые сейсмическими методами, - образование низкоскоростных зон повышенной деформации в очаге взрыва, характеризующихся отсутствием границы первого обмена, чередующихся с более плотными зонами повышенных напряжений горных пород. Подтверждена эффективность комплекса выполненных сейсмических технологий при обнаружении мест проведения ПЯВ, в том числе и для решения задач Инспекции на месте.

Заключение

Комплекс сейсмических исследований методами пространственного зондирования и обменных волн землетрясений и принятая методика обработки позволили охарактеризовать участок исследований с помощью таких параметров, как: скорости продольных и поперечных волн, коэффициент Пуассона, пространственное местоположение границы первого обмена.

По результатам выполненных наблюдений установлено, что поствзрывное распределение физических характеристик определяется деструктивным действием подземных ядерных взрывов на вмещающую среду. Учитывая относительно равномерное распределение геологических свойств в пределах участка Балапан, есть возможность экстраполировать изученную ситуацию на весь участок. Имея информацию о степени разрушенности горных пород, о размерах зон дезинтеграции, можно прогнозировать поствзрывные процессы, такие как миграция радионуклидов в водной среде и, как следствие, попадание их в грунтовые и поверхностные воды. Информация о распределении зон различного напряжения горных пород на исследуемом участке может помочь в прогнозировании как естественной, так и искусственной (наведённой) сейсмичности региона, что необходимо с позиции безопасного промышленного использования территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

Изучение феноменологии подземных ядерных взрывов (характерных особенностей их проявления в среде) необходимо для более эффективного решения задач Инспекции на месте (ИНМ) в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Перед Дивизионом ИНМ (Организации ДВЗЯИ) стоит задача выбора геологогеофизических технологий, максимально отвечающих инспекционным требованиям. Представленный в настоящей работе комплекс сейсмических технологий с достаточной детальностью решил поставленную перед ним задачу изучения влияния ПЯВ на вмещающие горные породы, тем самым, показав свою эффективность в рамках ИНМ.

В рамках изучения феноменологии ПЯВ (с целью пополнения национальной и международной баз данных ИНМ) и наработки опыта применения инспекционных технологий желательно применение описанного комплекса сейсмических наблюдений в местах воздействия одиночного ПЯВ для исключения взаимных влияний. Для изучения современного радиоэкологического и сейсмического режима Семипалатинского испытательного полигона с точки зрения безопасного использования территории последнего в хозяйственных целях, необходима постановка работ комплексом геолого-геофизических методов (включая изучение радиационной обстановки) в местах расположения ослабленных зон, выявленных сейсмическими технологиями.

Литература

- 1. Артемьев О.И., Ахметов М.А., Птицкая Л.Д. Радионуклидное загрязнение территории бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона//Вестник НЯЦ РК.- Курчатов: НЯЦ РК, 2001. Вып. 3. С. 12 19.
- 2. Птицкая Л.Д. Современное состояние радиационной обстановки на территории испытательной площадки «Балапан» бывшего Семипалатинского полигона//Вестник НЯЦ РК. -- Курчатов: НЯЦ РК, 2002. Вып. 3. С. 11 18.
- 3. выпуск 3, 2002.
- Тугельбаев С.С. Степень загрязнённости почв различных ландшафтов семипалатинского региона α-активными радионуклидами и их роль в гигиенической оценке ландшафтов региона.//Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2004. – Вып. 4. – С. 5 – 8.
- 5. Якупов В.С., Самойлов В.Я., Потапов А.А. О состоянии изученности радиационной обстановки на административных территориях Восточно-казахстанской области//Вестник НЯЦ РК. .- Курчатов: НЯЦ РК, 2004. Вып. 4. С. 21 24.
- 6. Лукашенко С.Н., Агеева Т.Н., Мелентьев М.И., Шайторов В.Н. и др. Выявление возможных путей миграции радионуклидов в блоках пород, вмещающих полости подземных ядерных взрывов по геофизическим и геохимическим данным (на примере площадки Балапан и участка Лира)//Третья межд. конференция «Ядерная и радиационная физика», Алматы, 2001.
- 7. Гурвич И.И. Сейсморазведка. М.: Недра, 1975.
- 8. Пузырев Н.Н. и др. Детальные сейсмические исследования литосферы на Р- и S- волнах. Новосибирск: ВО «Наука», 1993.
- 9. Певзнер Л.А., Покидов В.Л., Циммер В.А. Сейсмическое просвечивание сложных сред. Алма-Ата: КазВИРГ, 1984.
- 10. Шацилов В.И. Методика исследований при оценке сейсмической опасности территории. Алма-Ата: Наука, 1989.
- Беляшова Н.Н., Русинова Л.А., Беляшов А.В., Смирнов А.А. Изучение влияния ядерных взрывов на окружающие горные породы и морфологию поверхности с целью разработки методов инспекции на местах//Вестник НЯЦ РК. --Курчатов: НЯЦ РК, 2000. – Вып. 2. – С. 105 – 114.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСА СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

- 12. Горбунова Э.М. Особенности деформирования массива горных пород при воздействии взрывом (на примере участка Заречье Семипалатинского испытательного полигона)//Вестник НЯЦ РК. .- Курчатов: НЯЦ РК, 2003. Вып. 2. С. 113 122.
- Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н. Изучение геолого–структурной обстановки вокруг испытательных скважин Семипалатинского полигона методом автоматизированного дешифрирования космических снимков//Вестник НЯЦ РК. -Курчатов: НЯЦ РК, 2004. – Вып. 2. – С. 76 – 81.
- Горбунова Э.М. Изучение последствий техногенной дестабилизации недр Семипалатинского испытательного полигона//Вестник НЯЦ РК. .- Курчатов: НЯЦ РК, 2004. – Вып. 2. – С. 82 – 88.
- 15. Померанцева И.В., Мозженко А.И. Обработка материалов сейсмических исследований методами обменных волн. Новосибирск,: Наука, 1977.
- 16. Пузырев Н.Н., Тригубов А.В., Бродов Л.Ю. и др. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн. М.: Недра, 1985, - 277 с.
- Ванчугов А.Г., Беляшова Н.Н. и др./Отчёт по теме: «Проведение комплексного геофизического мониторинга территории Казахстана с целью снижения ущерба от стихийных бедствий и антропогенной деятельности». – Курчатов: НЯЦ РК, 1994.
- Беляшов А.В., Шайторов В.Н., Политиков М.И. и др. Использование геофизических и геохимических методов при проведении Полевого Эксперимента 2002 в рамках Инспекции на месте//Вестник НЯЦ РК. .- Курчатов: НЯЦ РК, 2004. – Вып. 2. – С. 94 – 111
- Беляшова Н.Н., Беляшов А.В., Коновалов В.Е., Комаров И.И., Синева З.И. Строение блока земной коры под реактором BBP-К в пос. Алатау (по данным методов пассивной сейсморазведки)//Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2000. – Вып. 2. – С. 127 – 133.
- 20. Беляшов Д.Н. и др. Моделирование миграции загрязняющих веществ в подземных водах в районе Семипалатинского полигона/ Окончательный технический отчет по проекту К-056-96 МНТЦ. Алматы, 1999.

СЕЙСМИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРІ КЕШЕҢІНІҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ЖЕРАСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРЫН ӨТКІЗГЕН ЖЕРЛЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

Беляшов А.В.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер нституты, Курчатов, Қазақстан

Геологиялық ортасына Семей сынау полигонында (Балапан бөлікшесі) өткізілген жерастындағы ядролық жарылыстарының әсерін зерделеу нәтижелері қаралған. Зерттеулер жүрісінде жарылыстан кейінгі процесстердің сипаты мен жылдамдылығын болжамдау үшін сейсмикалық әдістерінің кешеңі – кеңістіктік зондттау және жерсілкінулерінің ауыспалы толқындары – қолданылған.

MODELING OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION PLACES ACCORDING TO DATA OF A COMPLEX OF SEISMIC METHODS

A.V. Belyashov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Current paper considers impact study results on enclosing medium of underground nuclear explosions, which were conducted at Semipalatinsk Test Site (Balapan area) in order to forecast nature and velocity of post-explosive processes. During the investigation, a complex of seismic methods was applied; spatial sounding and earthquake converted wave methods.

УДК 504.55:064.47

ТЕХНОГЕННАЯ ТРЕЩИНОВАТОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ЗОНЫ ФИЛЬТРАЦИИ ГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН

Казакова Ю.И.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Исследованы зоны техногенной трещиноватости и водные потоки из штолен горного массива Дегелен. Построена схема расположения зон дезинтеграции на площадке Дегелен по данным дешифрирования аэрофотоснимков, обобщены результаты сокращенного химического анализа и распределения вод Дегелена по химическому составу, построены карты общей минерализации анионного, катионного состава и типов вод.

Введение

Дегелен представляет собой горный массив изометричной формы, возвышающийся над окружающей местностью на 450-500 м (абсолютные отметки вершин превышают 1000 м), в котором берут начало ручьи, образующие радиальную систему. В геологическом строении горный массив представляет собой вулканно-плутоническую структуру, краевые части которой сложены палеозойскими риолитами и базальтами, а центральная часть - внедрившимися позднепермскими гранитами. В гидрогеологическом отношении с поверхности горная часть массива Дегелен представляет собой зону фильтрации, через которую атмосферные осадки просачиваются в систему трещинных вод. Распространены следующие типы вод: поровые воды современных делювиальнопролювиальных отложений; поровые воды аллювиально-пролювиальных отложений; трещинные воды палеозойских пород. Испытательные штольни, сооруженные на площадке Дегелен, расположены выше уровня подземных вод в зоне фильтрации. Водоносные штольни расположены на высотах 600-700 м над уровнем моря, дебит вод на порталах этих штолен варьирует от единиц до нескольких сотен л/мин.

С 1996 г. Институт геофизических исследований НЯЦ РК совместно с Институтом радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК проводит мониторинг водного режима горного массива Дегелен, который включает полевые ежемесячные работы (определение дебита водных потоков из штолен, родников, ручьев, самоизливающейся скважины, а с 1999 г. – уровень воды в гидрогеологических скважинах; измерения температуры воды и воздуха в местах замера дебита и отбора проб; гидрометеорологические наблюдения; отбор водных проб один раз в квартал); лабораторные исследования (сокращенный химический анализ проб воды; определение содержания в воде радионуклидов цезия-137, стронция-90 и трития); камеральную обработку полевых и лабораторных материалов. За годы наблюдений были отмечены водоносные штольни: в 1996 г. – 29; в 1997 г. – 12, в 1998 г. – 25, в 1999 г. – 7; в 2000-2001 гг. - 10, в 2002-2004 гг. - 7. Водоприток наблюдался в 34 штольнях: в 7 - постоянный, в 27 спорадический. После закрытия в рамках международного проекта штольневых порталов количество водоносных штолен резко снизилось.

Для вод массива Дегелен характерна низкая минерализация. Наиболее пресными являются воды родников и самоизливающихся скважин, имеющие минерализацию около 0,2 г/л. Такие воды поступают на поверхность из регионального бассейна трещинных вод и имеют гидрокарбонатный состав. Потоки воды из штолен, как правило, имеют минерализацию 0,4-0,8 г/л и сульфатный состав. Вода этих потоков формируется в местных геологических структурах, отличаясь по составу, как от атмосферных осадков, так и от подземных вод регионального бассейна. В большинстве потоков вода имеет стабильные минерализацию и химический состав независимо от дебита и времени года, что свидетельствует о медленном прохождении воды через зону фильтрации и о скоплении в этой зоне временных масс воды большого объема.

По данным водного мониторинга ранее [5] проведена работа по уточнению представлений о гидродинамике горного массива Дегелен. Было установлено, что все водоносные штольни связаны с гранитным массивом, занимающим центральную часть гор Дегелен. Наружные склоны гор более обводнены, чем внутренние, выходящие в центральную часть массива. Все штольни, лежащие за пределами гранитного массива, являются сухими. Отмечено большое разнообразие химизма подземных вод и отсутствие видимой связи химического состава и минерализации с пространственным положением штольни. Сложно было выделить большие блоки, содержащие воду близкого химического состава и минерализации. Вода поступает в штольни из трещинно-разломных систем, питаемых атмосферными осадками и пополняющих региональный бассейн. Кроме линейных тектонических структур, одним из основных путей фильтрации воды, по всей видимости, является система пологопадающих эндогенных трещин. В настоящей работе приведены результаты продолженных исследований.

ИЗУЧЕНИЕ ЗОН ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН ПУТЕМ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРОФОТОСНИМКОВ

В предыдущих исследованиях при моделировании не был учтен тот факт, что после проведения ядерных взрывов над штольнями остались многочисленные зоны дезинтеграции: провалы (воронки) и многочисленные трещины. Эти структуры имеют высокую проницаемость и могут транспортировать большое количество воды в штольни над концевыми боксами с повышенной трещиноватостью, вызванной ядерными взрывами. Важно было проверить также, не связана ли водоносность штолен с мощностью проведенных в них ядерных испытаний.

Для проверки этих предположений проведено дешифрирование аэрофотоснимков участка Дегелен. При просмотре аэрофотоснимков с помощью стереоскопа обнаружены структуры, которые можно однозначно классифицировать как провальные явления техногенного происхождения – воронки, образованные при проседании грунта над большими полостями, оставшимися после ядерных взрывов. В водораздельных частях массива имеются другие проявления дезинтеграции – зоны разрушенных пород, осыпи, обрывы, но об их техногенном происхождении трудно судить однозначно, так как они могут быть вызваны природными геологическими факторами (трещиноватостью, выветриванием, мелкими разрывными нарушениями), или являться результатом сочетания природных и техногенных явлений. Однозначный ответ могло бы дать сравнение аэрофотоснимков площадки Дегелен до и после проведения ядерных испытаний, или сравнение с результатами полевого картирования нарушенных зон. Однако ко времени проведения настоящих исследований необходимые для этого данные отсутствовали.

Все дешифрированные воронки с помощью программы ArcView были вынесены на топографическую карту массива Дегелена, а все штольни разбиты на классы по мощности и количеству проведенных в них взрывов (рисунок 1). Сведения о расположении штолен и о мощности взрывов взяты из литературных источников [2, 6].



Рисунок 1. Участок Дегелен. Расположение воронок, образовавшихся при ядерных испытаниях

Анализ данных, приведенных на рисунке 1, показал, что:

- только 4 водоносных штольни из 28 506, 187, 195 и 609, - имеют воронки над камерами взрывов. В одной из них – штольне 609, – было проведено испытание мощностью 20-150 кт, в остальных – по 2 испытания мощностью 0,001-20 кт. Над другими водоносными штольнями, где проводились взрывы различной мощности, видимые на аэрофотоснимке зоны дезинтеграции отсутствуют;
- имеется много воронок над концевыми боксами сухих штолен;
- во всех штольнях, имеющих постоянный водоприток (104, 156, 165, 176, 177, 503, 511, 609), были проведены ядерные взрывы различной мощности. Во многих из них проведено 2 и более ядерных испытаний;
- многие штольни, где проводились испытания даже большей мощности, являются сухими.

Результаты анализа позволяют сделать следующие выводы. Водоносность штолен напрямую не зависит от мощности проведенных в них ядерных испытаний и от наличия над их концевыми боксами зон дезинтеграции. В то же время, наличие радионуклидов в воде штолен свидетельствует о ее прохождении через камеры взрывов или вблизи них. Что касается воронок, расположенных над сухими штольнями, то возможно, что размеры разрушенных зон настолько значительны, что вода, проходя по ним, попадает в региональный бассейн, не выходя на земную поверхность. Таким образом, можно с уверенностью сказать, что вода на порталы штолен поступает не только из камер взрывов, но и из других геологических структур.

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ штолен Дегелена по данным сокращенного химического анализа

Ранее предпринятые попытки выявить какиелибо закономерности для районирования площадки Дегелен по химическому составу подземных вод не дали положительных результатов [5]. Распределение штолен с различным химическим составом вод получалось хаотичным, был сделан вывод об уникальности химического состава вод каждой штольни (рисунок 2).

Вычисление коэффициентов корреляции также не дало возможности систематизировать результаты (таблица 1). Видно, что таблица не очень информативна: положительная корреляция между значениями минерализации и содержанием сульфат-иона давно известна и упоминается во всех отчетах и печатных работах по водному мониторингу [1-4]. Высокая отрицательная зависимость анионов и катионов между собой вызвана тем, что анализировались их содержания в %мг-экв, а это должно вызывать искусственно созданную отрицательную корреляцию между ними. Зависимость между анионами и катионами очень низкая и, казалось бы, провести какуюлибо систематизацию данных невозможно.

Была сделана новая попытка выявить закономерности в химическом составе штольневых вод. Содержание анионов и катионов взяты в миллиграммах на килограмм (мг/кг), так как эти величины независимы друг от друга. Имеющиеся усредненные данные сокращенного химического анализа в мг/кг по 28 штольням, в которых наблюдался или наблюдается в настоящее время приток воды, приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что состав подземных вод различен: явно виден большой разброс как значений минерализации, так и концентраций анионов и катионов. Однако вычисление коэффициентов корреляции между всеми анионами и катионами дало следующие результаты (таблица 3).



Рисунок 2. Анионный, катионный состав и минерализация вод на штольневых порталах [5]

Таблица І. Матрица корреляций между данными сокращенного химического анализа проб воды

	Минерализация	Cl	SO4 ⁻²	HCO ₃	Na [⁺] +K [⁺]	Ca ^{+₂}	Mg ⁺²
Минерализация	1,00	-0,77	0,75	-0,69	0,11	-0,15	-0,04
CI		1,00	-0,80	0,69	-0,14	0,12	0,14
SO4 ⁻²			1,00	-0,99	0,19	-0,23	-0,10
HCO ₃ ⁻				1,00	-0,18	0,25	0,07
Na⁺+K⁺					1,00	-0,92	-0,89
Ca ⁺²						1,00	0,65
Mg ⁺²							1,00

Примечание - минерализация выражена в мг/л, содержание анионов и катионов – в %мг-экв

			кание анионо	ов, мг/кг	Содерж	ание катионо	ов, мг/кг
№ штольни	Оощая минерализация, мг/кг	CI	SO4-2	HCO ₃	Na⁺+K⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
A-1	911,60	30,40	450,80	314,59	101,86	123,41	57,86
A-8	199,80	14,20	91,00	67,10	18,40	28,10	14,60
V-2	460,60	23,05	211,50	161,65	46,00	67,10	28,55
11	273,25	17,75	127,75	87,68	27,03	38,85	18,10
104	557,05	24,04	282,23	167,62	50,13	82,94	36,19
143	383,90	15,97	182,67	137,23	32,97	56,10	27,57
151	285,50	17,70	115,00	128,10	20,70	46,10	21,95
152	180,00	13,00	60,67	95,57	19,93	26,07	12,57
156	482,46	17,03	249,44	140,60	50,37	64,21	31,43
165	504,32	24,65	226,03	190,56	70,80	57,48	39,54
176	300,75	16,58	121,08	133,71	34,21	43,19	18,70
177	610,42	32,02	310,42	153,88	103,90	82,00	36,09
184	355,60	14,20	178,00	109,80	34,50	52,10	21,90
187	268,80	14,20	115,00	109,80	27,60	40,10	17,00
195	516,40	31,90	240,00	170,80	52,90	72,10	34,10
196	221,90	14,20	96,00	85,40	18,40	36,10	14,60
203	703,45	24,35	390,00	161,65	66,70	96,70	45,30
214	499,15	18,63	260,25	141,78	45,43	69,65	34,33
430	198,50	14,20	85,25	76,25	16,65	29,10	15,20
503	776,48	24,45	425,38	189,48	70,11	108,24	50,66
504	1431,96	32,17	823,64	257,07	153,43	179,64	89,30
506	296,35	16,83	124,75	126,58	20,18	49,10	22,20
511	524,04	22,38	275,15	139,79	48,10	73,09	35,32
609	338,41	16,36	138,38	145,59	35,50	47,23	23,43
701	434,60	21,30	221,00	122,00	46,00	56,10	29,20
707	237,50	14,20	101,00	97,60	18,40	38,10	17,00
802	570,54	26,28	301,38	142,57	63,13	71,32	37,09
156-T	460,90	18,60	228,75	148,68	37,58	60,35	31,93

Таблица 2. Усредненные данные сокращенного химического анализа воды штолен площадки Дегелен

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между значениями минерализации и содержаниями анионов и катионов воды штолен Дегелена в мг/кг

	Общая минерализация	CI	SO4-2	HCO ₃	Na⁺+K⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
Общая минерализация	1						
Cl	0,805	1					
SO4 ⁻²	0,995	0,773	1				
HCO ₃ ⁻	0,856	0,780	0,805	1			
Na⁺+K⁺	0,948	0,860	0,934	0,830	1		
Ca ⁺²	0,992	0,798	0,987	0,861	0,924	1	
Mg ⁺²	0,994	0,798	0,987	0,866	0,934	0,982	1

Как видно из таблицы 3, наблюдается высокая положительная корреляция между изучаемыми величинами. Тесная взаимосвязь между общей минерализацией и отдельными анионами и катионами вполне обоснованна (поскольку общая минерализация – это сумма всех анионов и катионов). Но высокие коэффициенты корреляции между всеми анионами и катионами позволяют сделать только один вывод – химический состав всех штольневых вод Дегелена достаточно однороден и основную роль играют не соотношения анионов и катионов между собой, а их концентрация. Этот вывод подтверждают результаты разбиения штольневых вод Дегелена по типам, произведенное согласно таблицам химанализа (таблица 4).

Из таблицы 4 следует, что в водах штолен Дегелена встречается четыре типа анионов: сульфатный (20 штолен), гидрокарбонатный (1 штольня), сульфатногидрокарбонатный (3 штольни) и гидрокарбонатносульфатный (4 штольни). Анионный состав нельзя назвать разнообразным, поскольку гидрокарбонатносульфатный и сульфатно-гидрокарбонатный типы анионов являются переходными между сульфатным и гидрокарбонатным. Типов катионов всего три: натрийкальциевый (23 штольни), кальций-натриевый (1 штольня) и кальциевый (4 штольни).

По анионам и катионам все штольневые воды Дегелена можно разбить на 8 типов: 18 штолен из 28 имеют сульфатный натрий-кальциевый тип вод, по 2 штольни - гидрокарбонатно-сульфатный натрийкальциевый и сульфатно-гидрокарбонатный натрийкальциевый, каждая из оставшихся шести штолен имеет свой тип вод. Такое разнообразие вод является кажущимся, так как перечисленные шесть типов – переходные между основными типами вод.

На рисунке 3 показано распределение штолен по минерализации, анионам и катионам, а также по типам вод.

Из рисунка 3 видно, что воды большинства штолен являются пресными, с минерализацией 200-1000 мг/кг. По типу анионов преобладают сульфатные воды. Это означает, что вода при прохождении по системам трещин, растворяет большое количество сульфидных минералов, например, пирита. По типу катионов преобладают натрий-кальциевые воды.

Однородный состав штольневых вод Дегелена можно считать закономерным: все потоки питаются дождевыми водами одного состава и проходят через одинаковые вмещающие породы, поскольку все водоносные штольни пройдены в одном и том же гранитном массиве, расположенном в центральной части гор Дегелен. Различие в минерализации может быть обусловлена тем, что воды, до своего выхода на поверхность, проделывают разный путь. Небольшие различия химического состава вызваны прохождением потоков подземных вод через разные системы трещин, заполненные материалом различного минерального состава.

Заключение

Дешифрирование и анализ аэрофотоснимков, обобщение данных химического анализа штольневых вод испытательной площадки Дегелен позволили построить схему расположения зон дезинтеграции (воронок) и карты минерализации, анионного и катионного состава и типов штольневых вод.

Установлено, что водоносность штолен не зависит от мощности проведенных в них ядерных испытаний и от наличия над их концевыми боксами зон дезинтеграции. Вода поступает на порталы штолен не только из камер взрывов, но и из других геологических структур. Химический состав штольневых вод массива Дегелен достаточно однороден. Преобладают пресные воды сульфатного натрий-кальциевого типа.

№ штольни	Тип аниона	Тип катиона
11	Сульфатный	Натрий-кальциевый
104	Сульфатный	Натрий-кальциевый
143	Сульфатный	Натрий-кальциевый
151	Сульфатно- гидрокарбонатный	Кальциевый
152	Гидрокарбонатный	Натрий-кальциевый
156	Сульфатный	Натрий-кальциевый
165	Сульфатный	Кальций-натриевый
176	Сульфатно- гидрокарбонатный	Натрий-кальциевый
177	Сульфатный	Натрий-кальциевый
184	Сульфатный	Натрий-кальциевый
187	Гидрокарбонатно- сульфатный	Натрий-кальциевый
195	Сульфатный	Натрий-кальциевый
196	Гидрокарбонатно- сульфатный	Кальциевый
203	Сульфатный	Натрий-кальциевый
214	Сульфатный	Натрий-кальциевый
430	Гидрокарбонатно- сульфатный	Натрий-кальциевый
503	Сульфатный	Натрий-кальциевый
504	Сульфатный	Натрий-кальциевый
506	Сульфатный	Кальциевый
511	Сульфатный	Натрий-кальциевый
609	Сульфатно- гидрокарбонатный	Натрий-кальциевый
701	Сульфатный	Натрий-кальциевый
707	Гидрокарбонатно- сульфатный	Кальциевый
802	Сульфатный	Натрий-кальциевый
156-T	Сульфатный	Натрий-кальциевый
A-1	Сульфатный	Натрий-кальциевый
A-8	Сульфатный	Натрий-кальциевый
V-2	Сульфатный	Натрий-кальциевый





Рисунок 3. Общая минерализация, анионный и катионный состав и типы вод на порталах штолен площадки Дегелен

Литература

- 1. Гидрология горного комплекса Дегелен/Отчет по контракту DNA001-95-C-0179. Курчатов, 1996.
- Водный мониторинг горного комплекса Дегелен/ Итоговый отчет по контракту DTRA-0023/2. Этап 4. Курчатов: ИГИ НЯЦ РК, 1999.
- 3. Водный мониторинг горного комплекса Дегелен/Информационный отчет за 2000 г. Курчатов: ИГИ НЯЦ РК, 2000.
- 4. Водный мониторинг горного комплекса Дегелен/Информационный отчет за 2001 г. Курчатов: ИГИ НЯЦ РК, 2001.
- Казакова Ю.И., Эдомин В.И. Уточнение представлений о гидродинамике горного массива Дегелен на основе анализа данных водного мониторинга//Труды II конференции-конкурса НИОКР молодых ученых и специалистов НЯЦ РК, 13 – 15 мая 2002 г., Алматы, Казахстан. – Алматы: ИЯФ НЯЦ РК, 2002. – С.468 - 483.
- 6. Ядерные испытания СССР/Кол. авторов под рук. В.Н. Михайлова. Саров: РФЯЦ ВНИИЭФ, 1997.

ДЕГЕЛЕН ТАУ МАССИВІНДЕГІ СҮЗІЛУ БЕЛДЕМІНІҢ ТЕХНОГЕНДІК ЖАРЫҚШАҚТЫҒЫ ЖӘНЕ СУЛАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ

Казакова Ю.И.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Казахстан

Техногенді жарықшақтық белдемдері және Дегелен тау массивінің штольняларынан су ағындары зерттелген. Аэрофотосүреттерін бажайлау деректері бойынша Дегелен алаңында ыдырау белдемдері орналасуының сұлбасы құрастырылған, қысқартылған химиялық талдау және Дегелен сулары химиялық құрамы бойынша таралу нәтижелері қорытылған, сулардың аниондық, катиондық құрамының және түрлерінің жалпы минералдану карталары жасалған.

MAN-CAUSED FRACTURING AND CHEMICAL CONTENT OF WATER FROM TUNNELS OF THE MOUNTAIN MASSIVE "DEGELEN"

Yu. I. Kazakova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Курчатов, Казахстан

The object of investigation is man-caused fracturing areas and water streams from tunnels of the mountain massive Degelen. As a result of the activities, scheme of disintegration areas location was created at Degelen site according to deciphering data of aerophotos carried out by the author. Chemical analysis data interpretation was carried out; regularities of Degelen water distribution were defined according to chemical content; maps of common mineralization (anion and cation content and water types of Degelen site) were drawn.

УДК 550.34.064

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Смирнов А.А., Жумагазыулы Э.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Разработан методический подход к составлению автоматического бюллетеня инфразвуковых событий, регистрируемых станцией международной системы мониторинга IS31-Актюбинск на основе метода прогрессивной мультиканальной корреляции (РМСС). Обеспечено детектирование и оценка инфразвуковых сигналов в автоматическом режиме, построен автоматический бюллетень и разработаны методы визуализации инфразвуковых событий. Начато изучение естественных и антропогенных источников инфразвука в районе станции IS31-Актюбинск.

Введение

В системе станций наблюдения Национального ядерного центра РК с 2001 г. действует инфразвуковая группа IS31-Актюбинск, которая является частью Международной системы мониторинга (Протокол № 1 Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний). Станция расположена на северо-западе Казахстана вблизи г. Актобе. Информация, регистрируемая станцией, передается в режиме реального времени в Международный центр данных в г. Вену и оттуда, также в режиме реального времени, - в Центр данных ИГИ НЯЦ РК в г. Алматы. Каждые сутки с восьми инфразвуковых элементов и четырех метеорологических датчиков группы IS31-Актюбинск в Центр данных поступают данные в объеме около 60 Мбайт. Очевидно, что в интерактивном режиме обрабатывать такой огромный объем информации не представляется возможным. Поэтому перед аналитиками Центра данных остро стоял вопрос об автоматизации процесса детектирования и оценки инфразвуковых сигналов в режиме, близком к реальному времени.

В 2003 г. Французский национальный центр данных передал Центру данных ИГИ НЯЦ РК пакет программ РМСС (Progressive Multi-Chennel Correlation), который реализует алгоритм Прогрессивной многоканальной корреляции [1,2], применяемый для обработки данных, получаемых группами наблюдений - инфразвуковыми и сейсмическими. Программа стала активно применяться для обработки данных в интерактивном режиме с использованием ретроспективных данных [3-6]. В настоящей работе приведены первые результаты использования пакета программ РМСС для автоматического обнаружения инфразвуковых сигналов и их обработки в автоматическом режиме на примере данных инфразвуковой станции IS31-Актюбинск.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ INFRA_AUTO

С учетом требований к автоматизированной обработке поступающего потока данных мониторинга проведена доработка и адаптация РМСС. Так, для описания входного потока данных и задания необходимых параметров обработки на языке С Shell написана программа «infra_auto». Программа автоматически запускается один раз в сутки и обрабатывает все данные, поступившие за предыдущие сутки. При этом обеспечивается выполнение следующих операций:

- подготовка входного файла ртсс.ini для работы исполняемого модуля программы РМСС, содержащего информацию о местонахождении файлов с данными, их параметрах, информацию о параметрах, выбранных для обработки;
- запуск счета по программе ртсс в задаваемое время суток;
- создание и заполнение суточного бюллетеня инфразвуковых событий по данным выходных файлов программы РМСС.

Бюллетень инфразвуковых событий

На рисунке 1 показан принцип алгоритма РМСС. Изображена группа из трех регистрирующих элементов *i,j,k*, к которым подходит плоская волна и показана Δt_{ik} - разность времени прихода волны на разные элементы группы. Начиная с некоторой стартовой тройки элементов РМСС определяет взаимосогласованность $r_{ijk} = \Delta t_{ij} + \Delta t_{jk} + \Delta t_{kj}$. При детектировании сигналов в отсутствии фонового шума она должна быть нулевой. В присутствии шума возникает некоторое ненулевое значение. Если эта величина не превышает некоторое заданное пороговое значение, детектирование распространяется на новый элемент группы, заново считается среднеквадратическая невязка. Процесс повторяется до тех пор, пока не будет превышено пороговое значение, или не будут перебраны все заданные тройки элементов.



Рисунок 1. К пояснению принципа работы детектора РМСС

В бюллетень попадают все события, для которых выполнены следующие условия:

- не превышено заданное значение взаимосогласованности;
- количество элементов в финальной подсети не меньше заданного значения.

Кроме того, задаются такие параметры как полоса частот, количество вырезаемых внутри нее полос, параметры режекторных фильтров, длина временного окна, шаг движения окна и другие. Выполняются расчеты, в результате которых для бюллетеня формируется набор строк, расположенных в хронологическом порядке. Каждая строка соответствует одному событию, обнаруженному программой, и имеющей нижеприведенную структуру

14:56:59 - 14:57:14 - 1.07500 - 1.46500 - 461.43013 -- 269.3 - 0.437 - 0.0581 - 0.0008 - 8 - 0.05 - 0.45 - 1.27 - |1|1|1|1

В строке даны в порядке следования следующие характеристики события:

- время в 24 часовом формате первого элементарного детектирования в семействе;
- время в 24 часовом формате последнего элементарного детектирования в семействе;
- минимальная частота в Гц;
- максимальная частота в Гц;

- средняя амплитуда;
- средний азимут в градусах;
- средняя скорость в км/с;
- стандартное отклонение азимута в градусах;
- стандартное отклонение скорости в км/с;
- количество элементарных детектирований в семействе;
- средняя взаимосогласованность;
- средняя корреляция;
- средняя частота в Гц;
- использованные каналы, разделенные знаком |. (логическая переменная: 0 – ложь, 1 – истина, указывает, был ли использован канал при детектировании данного семейства).

Анализ данных

На рисунке 2 приведен пример бюллетеней за 12 суток: с 26 марта по 3 апреля 2005 г. Для визуализации данных бюллетеня построены графики частота – время. Каждый «прямоугольник» на рисунке 2, соответствующий суткам, ограничен по оси абсцисс временами первого и последнего элементарного детектирования, по оси ординат – нижней и верхней частотами в семействе, соответственно. Цветом показан азимут прихода события.



Рисунок 2 Частота, время и азимут прихода инфразвуковых событий за 12 дней наблюдения

Как видно из рисунка 2, несмотря на то, что наблюдается широкий спектр азимутов прихода сигналов, превалируют детектирования с азимутами в пределах 185 – 190 градусов. Они встречаются, за некоторыми исключениями, в любое время суток по всей длине записи и занимают практически весь частотный диапазон. По результатам детектирования проведен анализ для выяснения вопроса: существуют ли периоды времени, когда сигнал с азимутом 185 – 190 градусов не детектируется? Анализ показал, что имеются периоды времени, когда эти сигналы с такими азимутами отсутствуют. Для идентификации сигналов рассмотрена зависимость уровня минимального сигнала от скорости ветра. На рисунке 3 по экспериментальным данным CEA/DASE (Франция) показано, что такая зависимость существует.



Ось абецисс – скорость ветра в м/с; ось ординат – амплитуда минимального сигнала в Па

Рисунок 3 Экспериментальная зависимость уровня минимального сигнала от скорости ветра для станций французской сети мониторинга (по данным CEA/DASE, Франция)

Таким образом, исчезновение сигнала, приходящего по азимуту 185 – 190 градусов, может быть вызвано местными ветровыми помехами. Для проверки этого факта сопоставлены данные бюллетеней и записи метеостанции, круглосуточно регистрирующей атмосферные условия в районе станции IS31-Актюбинск (рисунок 4).

Как видно из рисунка, предположение полностью подтвердилось: в периоды времени, когда скорость ветра превышала 8 – 10 м/с, сигнал с азимутом прихода 185 - 190 градусов пропадал. Таким образом, можно сделать вывод, что сигнал с азимутом прихода 185 – 190 градусов генерируется практически непрерывно, а перерывы в его регистрации вызваны погодными условиями. Наличие постоянно регистрируемого сигнала не позволяло изучить распределение азимутов прихода событий. Поэтому данные бюллетени были визуализированы иным способом – в виде полярных диаграмм. Для каждого из 12 дней наблюдений были построены полярные диаграммы скорость - азимут (рисунок 5). Цветом на полярных диаграммах показаны периоды дня, в течение которых регистрировалось событие.

Из приведенных рисунков 5 видно, что наблюдается большое разнообразие азимутов прихода инфразвуковых сигналов. Однако существуют некоторые преобладающие направления. В первую очередь, это довольно узкий сектор азимута - от 185 до 190 градусов. В некоторые дни в другом секторе 280 – 340 градусов наблюдается концентрация событий. Интересны события с азимута 45 градусов, поскольку входящие в него события имеют довольно большой диапазон скорости, свидетельствующий о том, что источник, вероятно, находится на большом удалении от станции, преломленные на больших высотах.

Для более детального изучения зависимость количества регистрируемых событий от азимута построены полярные гистограммы (рисунок 6 а, б).



Рисунок 4. Сопоставление данных об инфразвуковых событиях с данными о направлении (красная линия) и скорости (синяя линия) ветра в районе станции IS31-Актюбинск

ДЕТКТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ИНФРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ



Рисунок 5. Полярные диаграммы скорость – азимут за 12 дней наблюдения инфразвуковых событий (26.03-03.04.2005)



Рисунок 7. Сопоставление гистограмм распределения событий по азимутам (а, б) с географическими данными (в)

На рисунке 6 а приведена гистограмма по азимутам, построенная для всей совокупности событий, включенных в бюллетень: события с азимутом 185 – 190 градусов являются здесь преобладающими. На рисунке 6 б построена гистограмма по ограниченной выборке событий, полученной путем исключения из общей совокупности событий с азимутами прихода 185 – 190 градусов. На рисунке 6 в гистограммы наложены на топографическую карту территории, окружающей станцию IS31-Актюбинск (в условном масштабе, не учитывающем размер воборок). Всего можно выделить три преобладающих направления прихода инфразвуковых сигналов:

- подавляющее количество событий имеет азимут 185°. Это - направление на поселок Новороссийское и, очевидно, события имеют антропогенное происхождение;
- отмечены события в направлении от поселка Ботамшинский (азимут около 45°). В районе поселка также генерируется большое количество антропогенных помех;
- в секторе 300° 330° находится Каргалинское водохранилище. Известно, что зеркала открытых водоемов являются источником естественных инфразвуковых помех – микробаром.

Отмечено ряд событий в направлении других населенных пунктов – Никельтау, Хромтау, являющимися пригородами Актюбинска.

Заключение

С использованием метода и программ прогрессивной мультиканальной корреляции (РМСС) разработан и реализован методический подход к составлению автоматического бюллетеня инфразвуковых событий, круглосуточно регистрируемых станцией Международной системы мониторинга IS31-Актюбинск, которая находится под управлением Института геофизических исследований НЯЦ РК.

Автоматическая обработка и составление бюллетеня инфразвуковых событий в режиме, близком к реальному времени, проводится с марта 2005 г. Несмотря на небольшой период применения разработанной технологии, данные бюллетеня позволили получить некоторые интересные результаты. Всего за 12 дней обнаружено и включено в бюллетень 6 489 событий. Очевидно, что в интерактивном режиме провести обнаружение событий за столь короткий срок невозможно. Многие события, например, с азимута 185° - 190° трудно локализовать вручную, так как они имеют небольшие амплитуды и трудно выделяются на фоне шума. Таким образом, использование автоматизированной обработки обеспечило возможность существенно расширить диапазон изучаемых инфразвуковых явлений.

Разработанные методы визуализации данных бюллетеня позволили приступить к решению различных задач, связанные с обеспечением эффективности использования данных инфразвукового мониторинга.

Впервые получены результаты, свидетельствующие об естественных и антропогенных источниках инфразвуковых волн в районе станции IS31-Актюбинск. Данные упрощают поиск источников, перспективных для решения таких задач, как наблюдение за сезонными изменениями в атмосфере, распознавание взрывов и землетрясений и др. Полученные результаты можно будет использовать для экспериментальной оценки эффективности подавления ветровых помех.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам Commissariat a l'Energie Atomique, Bruyeres-le-Chatel, France за предоставленную программу РМСС и помощь в ее использовании, а также лично Алекси Лепишону за полезные консультации по программе.

Литература

- 1. Cansi Y. An automatic seismic event processing for detection and location: The P.M.C.C. method//Geophysical research letters, 1995. Vol. 22, No. 9, May 1. Pp.1021-1024.
- 2. Cansi and Y. Klinger Y., An automated data processing method for mini-arrays, European-Mediterranean Seismological Centre//Newsletter, 1997. No. 11, July.
- 3. Михайлова Н.Н., Смирнов А.А., Анализ записей Алтайского землетрясения 27 сентября 2003 года, полученных на сейсмических данных и инфразвуковых станциях сети ядерного мониторинга Казахстана//Тезисы докладов Казахстанско-Российской международной конференции «Геодинамические, сейсмические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска», 22-24 июня 2004 г. Алматы: ИС МОН РК, 2004. С.161.
- Mikchailova N.N., Smirnov A.A. Source mechanism reconstruction of the Altay earthquake on September 27, 2003 using the results of seismic arrays data processing by PMCC method//5-th General Assembly "Asian seismological commission (ASC). Abstracts. October, 2004. Yerevan, Armenia.
- Михайлова Н.Н., Смирнов А.А. Явление «дрейфа» азимута на источник по записи S-коды//Тезисы докладов Седьмых геофизических чтений им. Федынского В.В., 2005. М.:ГЕОН. - С.-62.
- Михайлова Н.Н., Смирнов А.А. Анализ сейсмических и инфразвуковых данных станций Казахстана по Алтайскому землетрясению 2003 г.//Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2003 г./Материалы предварительного изучения, 2004. – М.: ИФЗ РАН. - С. 92.

ИНФРАДЫБЫСТЫ БЕЛГІЛЕРІН АВТОМАТТЫ РЕЖІМІНДЕ ДЕТЕКТОРЛАУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ

Смирнов А.А., Жұмағазыулы Э.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Казахстан

Халықаралық мониторинг жүйесінің IS31-Ақтөбе станциясымен ілгерішті мультиарналық корреляция әдісі (РМСС) негізінде тіркелетін инфрадыбысты оқиғаларының автоматталған бюллетенін құрастыруына әдістемелік көзқарас әзірленген. Автоматты режімінде инфрадыбысты белгілердің детекторлауы және бағалауы қамтамасыз етілген, автоматталған бюллетень құрылған және инфрадыбысты оқиғаларын көрсету әдістері әзірленген. IS31-Ақтөбе станциясы ауданындағы инфрадыбыстың табиғи және антропогенді қөздерін зерделеуі басталған.

DETECTION AND ASSESSMENT OF INFRASOUND SIGNALS IN AUTOMATIC REGIME

A.A Smirnov., E.Zhumagazuly

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Methodical approach to create automatic bulletin of infrasound events, registered by IS31- Aktyubinsk station of international monitoring system on the basis progressive multi-channel correlation methodic (PMSS) has been developed. Detection and assessment of infrasound signals in automatic regime have been provided, automatic bulletin has been composed and infrasound events visualization methods have been developed. The study of natural and anthropogenic source of infrasound in the area of IS31-Aktyubinsk station was started.

УДК 504.53:539.16:546.36

МИГРАЦИЯ ТЕХНОГЕННОГО РАДИОНУКЛИДА ¹³⁷Cs В ДОЛИНЕ РУЧЬЯ ТАХТАКУШУК НИЗКОГОРНОГО МАССИВА ДЕГЕЛЕН

Паницкий А.В.

Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты изучения горизонтального и вертикального распределения техногенных радионуклидов в долине р. Тахтакушук низкогорного массива Дегелен, выполненного в рамках экологобиологических исследований почвенно-растительного покрова радиационно-загрязненных территорий и миграции радионуклидов по пищевой цепи. К изучению почв долины р. Тахтакушук от верховьев до области конечного стока впервые применен бассейновый подход, позволивший проследить миграцию твердых и жидких веществ путем поверхностного и грунтового стока. Приведены некоторые физико-химические свойства почв ландшафта, содержание радионуклидов в почвенных генетических горизонтах долины. Показано, что основная масса радионуклида ¹³⁷Сs сорбируется в пределах долины почвенным гумусом и мелкодисперсными глинистыми частицами луговых почв.

Введение

Ядерные испытания, в том числе проведенные на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП), обусловили поступление в природную среду большого количества радиоактивных веществ, которые впоследствии аккумулировались в почвенном покрове и включились в геохимический процесс. Низкогорный массив Дегелен является одним из наиболее радиационно-загрязненных объектов СИП, так как в пределах полостей ликвидированных штолен сосредоточены радиоактивные продукты подземных ядерных испытаний. Из ряда штолен вытекают ручьи, вынося техногенные радионуклиды, часть которых оседает на припортальных площадках, а другая - переносится на значительные расстояния. В этой связи актуальна проблема выявления закономерностей миграции радионуклидов, их распределения, а также биологических аспектов воздействия техногенных радионуклидов на различные компоненты биогеоценоза, в том числе в цепочке "почва – растение" на территории СИП.

Исследования, основанные на изучении степени радиоактивного загрязнения почвеннорастительного покрова СИП, позволяют оценить изменения в современной радиоэкологической ситуации и прогнозировать тенденции ее развития вторичное загрязнение, перераспределение радионуклидов и т.д.

Миграция техногенного радионуклида ¹³⁷Cs в долине р. Тахтакушук низкогорного массива "Дегелен*"*

Низкогорный массив Дегелен расположен в подзоне светло-каштановых почв, но наличие изрезанности рельефа с участием низких гряд с абсолютными отметками до 1000 м создают многообразие почвенного покрова. Непосредственно зональные светло-каштановые почвы встречаются по выровненным пологим склонам горных гряд в широких долинах ручьев. Каштановые почвы развиты незначительно, их можно встретить лишь на высоких плакорных участках. Среди зональных почв наибольшее распространение имеют такие разновидности, как малоразвитые, неполноразвитые, щебнистые почвы. В нижней части склонов развиты почвы интразональные лугово-каштановые или луговые различной степени остепнения или обсыхания. В русле многочисленных ручьев развиты, в основном, луговые почвы, и очень редко - лугово-болотные. Луговые почвы являются самыми распространенными, они же подвергаются наибольшему радиационному загрязнению.

Растительность долин ручьев представлена, в основном, болотистыми (Phragmites australis, Ligularia macrophilla), настоящими (Calamagrostis epigeios, Glycyrrhiza uralensis), остепненными (Poa trivialis, Galatella biflora), галофитными (Achnatherum splendens, Liminium gmelinii) вариантами лугов; фрагментарно распространены кустарниковые заросли из Salix cinerea, Rosa glabrifolia.

Радиационная обстановка на территории горного массива Дегелен формировалась под воздействием подземных ядерных взрывов, произведенных в течение 1961-1989 гг. Однако устойчивая обстановки не закончила формирование до сих пор. Наиболее значительное загрязнение территории, прилегающей к испытательным штольням как по уровню, так и по площадям, связано с выносом из штолен продуктов взрыва с грунтовыми водами.

распределения Объектом изучения гаммаизлучающего радионуклида¹³⁷Cs, выполненного в данной работы, явилась рамках лопина р. Тахтакушук, расположенная в южной части низкогорного массива Дегелен (рисунок 1). Источниками радиоактивного загрязнения долины являются припортальные площадки штолен № 165, 8, 11, 169, 610, 809, 169/2, 136, 170, расположенные в верхней части долины р. Тахтакушук.



Рисунок 1. Схема расположения исследовательских площадок вдоль русла ручья Тахтакушук

Основным источником радиоактивного загрязнения является штольня № 165, имеющая постоянный водоизлив с содержанием в воде ¹³⁷Cs до 495 Бк/л. Необходимо отметить, что припортальные площадки, где отмечается максимальное радионуклидное загрязнение, представлены техногенным субстратом, как привезенным с других участков, так и собранным с данного места, и смешанным с почвами. Можно считать, что здесь имеет место начальная ступень почвообразования, и это подтверждается наличием очень незначительного по мощности гумусового горизонта. Содержание техногенных радионуклидов в поверхностном слое смешанного техногенного субстрата на припортальных участках различно - от нескольких единиц до десятков тысяч Бк/кг.

Дно долины р. Тахтакушук занято почвами лугового ряда, среди которых наибольшее распространение имеют луговые почвы. Для них характерно наличие среднемощного или мощного гумусового горизонта с высоким содержанием гумуса с поверхности и резким падением его с глубиной (от 25 до 9 см). Описание почвенных разрезов показало, как изменяются физико-химические показатели почв в зависимости от местоположения. От верховьев к низовьям долины р. Тахтакушук заметно уменьшение содержания гумуса в поверхностных горизонтах (от 15 до 5 %), снижение величины подвижного калия (от 86 до 33 мг-экв на 100 г почвы в верхнем слое) и суммы поглощенных оснований (от 39 до 15 мг-экв на 100 г почвы в слое 0 - 3 см).

Для изучения миграции техногенных радионуклидов с поверхностным и геохимическим стоком, играющей немаловажную роль в экосистеме, был заложен продольный профиль вдоль современного русла р. Тахтакушук, состоящий из 5-ти экспериментальных площадок: № 18, № 19, № 20, № 21, № 27 (рисунок 1). Последняя из перечисленных площадок находится в 7 км от низкогорного массива Дегелен в зоне рассеивания конечного стока ручья. На каждой из площадок был заложен почвенный разрез и произведены измерения плотности потока α , β -частиц и МЭД (таблица 1).

	Плотнос	ть потока	М	ЭД,	Начина на разника																							
№ исследовательской	α	β	мкЗв/ч		паименование	Глубина, см	¹³⁷ Cs, Бк/кг																					
площадки (разреза)	част/(м	ин*см ²)	h=1 м	h=3 см	торизонта	-																						
					A _g	0-5	969 <u>+</u> 29																					
18	<0,2	1000	1,20	4,80	A ₁	5-25	347 <u>+</u> 24																					
					В	25-50	191 <u>+</u> 17																					
					A _g	0-3	120 <u>+</u> 14																					
				0,16 0,15	A ₂	3-9	<0,9																					
19	<0,2	<10	0,16		A/B	9-15	<0,9																					
					B ₁	15-50	4 <u>+</u> 2																					
					С	50-70	<0,9																					
					A _g	0-3	813 <u>+</u> 57																					
		<10 (0,14	A ₂	3-10	<u>22+</u> 3																					
20	<0,2		0,13		B ₁	10-30	<0,9																					
					B ₂	30-65	3 <u>+</u> 1																					
					С	65-80	<0,9																					
					A _g	0-2	96 <u>+</u> 18																					
21	<0.2	<10	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0.17	0.17	0.17	0.17 0.15	A ₂	2-20	13 <u>+</u> 2
21	~0,Z	510																				0,15	В	20-40	7 <u>+</u> 1			
					С	40-60	<0,9																					
Отдельная проба	<0,2	<10	0,14	0,11	-	0-12	18 <u>+</u> 2																					
					A ₁	0-3	8 <u>+</u> 2																					
					A ₂	3-12	20 <u>+</u> 2																					
27	<0.2	<10	0.14	0.13	B ₁	12-22	17 <u>+</u> 2																					
21	<0,Z	<10	0,14	0,15	B ₂	22-44	<0,9																					
					BC	44-60	6 <u>+</u> 1																					
					С	60-70	<u>3+</u> 1																					

Таблица 1. Радиационная характеристика площадок исследования

Результаты измерений показали, что по всему продольному профилю вдоль русла р. Тахтакушук плотность потока α -частиц <0,2 част/(мин·см²), β -частиц <10 част/(мин·см²), лишь на исследовательской площадке № 18 плотность потока β -частиц составила 1000 част/(мин·см²). МЭД на высоте 1 м от поверхности земли находится в пределах от 0,17 до 0,13 мкЗв/ч, на поверхности земли - от 0,15 до 0,13 мкЗв/ч, на поверхности земли - от 0,15 до 0,13 мкЗв/ч, на высоте 1 м и 4,80 мкЗв/ч на поверхности земли. Содержание ¹³⁷Сѕ в почвах вдоль продольного профиля изменяется в широких пределах, от нескольких сотен Бк/кг в верхней части до нескольких единиц в нижней части профиля (рисунок 2).

В почвенном разрезе площадки № 18, расположенной в начале русла, в 3 м от штольни №169/2, концентрация 137 Cs в верхнем горизонте (0 - 3 см) достигает 969 Бк/кг. В следующих по профилю разрезах содержание цезия падает до нескольких десятков Бк/кг, и в районе конечного стока концентрация ¹³⁷Сѕ в верхнем горизонте снижается до 8 Бк/кг. На выходе из низкогорного массива Дегелен в центральной части поперечного профиля была взята отдельная проба почвы (0 - 12 см), удельная активность ¹³⁷Сs в которой составила 18 Бк/кг (таблица 1). Из полученных данных следует, что вынос радионуклидов с поверхностным и геохимическим стоками за пределы низкогорного массива Дегелен по долине р. Тахтакушук не отмечен. Можно предположить, что основная масса радионуклида ¹³⁷Сs сорбируется луговыми почвами в пределах долины. К этому выводу

можно прийти, исходя из следующего сравнительного анализа содержания ¹³⁷Cs в воде ручья и в почве близлежащих разрезов. В воде содержание ¹³⁷Cs -292 Бк/л, в почве – 969 Бк/кг (верховья ручья); в воде - <2 Бк/л, в почве – 18 Бк/кг (на выходе из Дегелена). Концентрация ¹³⁷Сѕ в воде на 1-2 порядка меньше, чем в почве. При этом содержание ¹³⁷Сѕ в воде в начале долины в 200 раз больше, чем на выходе. В таблице 2 показано, что почвы исследованных площадок по всему профилю представлены суглинками, богатыми гумусом, и физической глиной, представляющей сумму частиц илистых (фракция <0,001 мм), пылеватых (фракция 0,01-0,005 мм) и мелкопылеватых (фракция 0,005-0,001 мм). Состав почв свидетельствует в пользу того, что имеет место, по-видимому, сорбция радионуклидов ¹³⁷Сѕ почвенным гумусом и мелкодисперсными глинистыми частицами почвы, если учесть, что почвы с высоким содержанием органического вещества и глинистых минералов, как правило, обладают большей сорбционной емкостью, чем почвы легкие с малым содержанием гумуса [1-3].

Одновременно с изучением характера распределения радионуклида ¹³⁷Сѕ в долине р. Тахтакушук от верховья до низовья, начато изучение их вертикального распределения по генетическим почвенным горизонтам. Радиационному и почвеннохимическому анализу был подвергнут полный почвенный разрез от дневной поверхности до почвообразующих пород, глубина залегания которых колеблется от 50 до 80 см (рисунок 3).



Рисунок 2. Продольный почвенный профиль с механическим составом и содержанием ¹³⁷Cs в верхнем почвенном горизонте

№ исследовательской площадки (разреза)	Наименование горизонта	Глубина, см	Содержание гумуса, %	Физическая глина, % на абсолютно сухую почву
	Ад	0-3	14,56	39,97
	A2	3-9	9,93	28,11
19	A/B	9-15	8,97	22,84
	B1	15-50	8,84	25,91
	С	50-70	-	19,23
	Ад	0-3	12,90	49,87
	A2	3-10	8,68	42,03
20	B1	10-30	8,11	31,83
	B2	30-65	5,14	24,98
	С	35-80	-	10,31
	Ад	0-2	15,28	41,12
21	A2	2-20	11,23	41,47
21	В	20-40	8,97	24,71
	С	40-60	-	34,19
	A1	0-3	4,96	33,28
	A2	3-12	3,53	24,97
27	B1	12-22	2,16	20,65
21	B2	22-44	1,56	17,11
	BC	44-60	_	19,55
	С	60-70	-	_

Таблица 2. Содержание гумуса и физической глины в почвах исследуемых площадок



Рисунок 3. Распределение техногенного радионуклида¹³⁷Cs по генетическим горизонтам почвенных разрезов площадок

Из вышеприведенного рисунка и радиологического анализа генетических горизонтов почвенных разрезов луговых типов почв долины р. Тахтакушук следует, что в среднем более 70 % ¹³⁷Cs сосредоточено в верхних 3 см почвы, т.е. практически весь наблюдаемый запас ¹³⁷Cs зафиксирован в гумусовом горизонте почвы. Средняя удельная активность радионуклида ¹³⁷Cs в поверхностном слое (0-3 см) исследованных площадок равняется 401 Бк/кг при вариациях от 8 до 969 Бк/кг для разных экспериментальных площадок (рисунок 4).

Содержание ¹³⁷Сѕ в нижележащих горизонтах почв резко сокращается. Так, в разрезе площадки № 18 на глубине 25–50 см содержание ¹³⁷Сѕ равно 191 Бк/кг, а в верхнем слое – 969 Бк/кг. В разрезе площадки № 21 на глубине 40-60 см содержание ¹³⁷Сѕ <0,9 Бк/кг, а в верхнем слое - 96 Бк/кг.



Рисунок 4. Вертикальное распределение ¹³⁷Cs по генетическим горизонтам разрезов на площадках

Механический состав верхнего горизонта A (как поверхностной корочки, так и всего гумусового горизонта) (рисунок 2) на исследованных площадках представлен суглинистыми отложениями. Возможно, поэтому нет заметных различий в вертикальном распределении радионуклида ¹³⁷Cs в различных почвенных разрезах. Остальные показатели физикохимических свойств – CO₂ карбонатов, подвижного калия, суммы поглощенных оснований, мало различимы на разных площадках и их влияние на вертикальную миграцию в пределах исследуемого ландшафта выявить не удалось.

Заключение

В проведенных исследованиях впервые в условиях полигона применен бассейновый подход, позволяющий проследить миграцию твердых и жидких веществ путем поверхностного и геохимического стока, к изучению почв долины р. Тахтакушук от верховья до района конечного стока. Выявлено снижение содержания радионуклида 137 Cs от верховья долины р. Тахтакушук к низовью. Установлено, что вынос техногенного радионуклида 137 Cs с поверхностным геохимическим и внутрипочвенным стоком за пределы низкогорного массива Дегелен по долине р. Тахтакушук отсутствует. Сделано предположение, что основная масса радионуклида 137 Cs сорбируется почвенным гумусом и мелкодисперсными глинистыми частицами луговых почв в пределах долины. Показано, что практически весь наблюдаемый запас 137 Cs (в среднем более 70 %) зафиксирован в гумусовом горизонте почвы.

Выводы, сделанные по начатым работам, являются предварительными. Необходимо пополнение данных и изучение распределения других радионуклидов.

Благодарности

Автор выражает благодарность Магашевой Р.Ю. за помощь в проведении исследований и анализе результатов.

Литература

- 1. Клечковский В.М., Гулякин И.В. Поведение в почвах и растениях микроколичеств стронция, цезия, рутения и циркония //Почвоведение, 958. Т. 18.
- 2. Evans E.J., Dekker A.J. Fixation and release of ¹³⁷Cs and soil separates//Canad. J. Soil Sci., 1966. V. 46, N 3.
- 3. Юдинцева Е.В., Гулякин И.В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. М.: Атомиздат, 1968.

ДЕГЕЛЕҢ ТӨМЕН ТАУЛЫ МАССИВІНІҢ ТАХТАКҮШІК ЖЫЛҒАСЫ АҢҒАРЫНДАҒЫ ¹³⁷Сs техногендік радионуклидінің жылыстауы

Паницкий А. В.

Радиациялық қауіпсіздік және экология институты, Курчатов., Қазақстан

Радиациямен ластанған аумақтардағы топырақты-өсімдікті жамылғысын экология-биологиялық және "топырақ - өсімдік - жануар" азықтық тізбегімен радионуклидтердің жылыстауы бойынша зертеулер шегінде орындалған Дегелең төмен таулы массивінің Тақтакүшік жылғасы аңғарындағы техногендік радионуклидтердің тік және жазық таралуын зерделеуінің нәтижелері келтірілген. Тақтакүшік ж. аңғарының бас жағынан соңғы ағынды аймағына дейінгі топырақтарын зерделеуіне, жер беті және жер асты ағындылар арқылы қатты және сұйық заттардың жылыстауын бақылап шығуына мүмкіндік берген алап әдісі алғашқы рет қолданылған. Зерделеніп жатқан ландшафт топырақтарының кейбір физика-химиялық қасиеттері, аңғардың генетикалық топырақ қабаттарында радионуклидтердің мөлшері келтірілген. ¹³⁷Сs радионуклидтердің негізгі бөлігі аңғар шегіндегі топырақтағы қарашірінділермен және шалғынды топырақтардың ұсақ дисперстік балшықты бөлшектерімен сіңірілетіні көрсетілген.

MIGRATION OF ¹³⁷Cs ARTIFICIAL RADIONUCLIDE IN THE VALLEY OF THE TAKHTAKUSHUK RIVER OF THE DEGELEN MASSIF

A.V Panitskiy

RK NNC Institute of Radiation Safety and Ecology, Kurchatov, Kazakhstan

Study of horizontal and vertical radionuclide distribution in the valley of the Takhtakushuk River of the "Degelen" Massif is carried out in the framework of ecological and biological investigations of soil and plant cover within radioactive contaminated areas, and radionuclide migration in biological chain "soil – plant – animal". For the first time, the pool-type method was used in the studies of soil of the valley that allows tracing solid and liquid substances migrating by means of surface and soil drainage from its head to final part. This paper presents some physical and chemical properties of the study landscape's soils, radionuclide content in soil genetic horizons of the valley. The study results showed that major mass of ¹³⁷Cs radionuclide is sorbed by soil humus and fine-dyspersated clay particles of grass soils within the valley.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОГО НАТРИЯ НА ПЛАТФОРМЕ WINDOWS

Колокольцов М.В.

Институт атомной энергии НЯЦ РК, Курчатов

Приводится описание процесса создания программного обеспечения сбора данных с системы измерений параметров жидкого натрия, обработку и отображение информации в режиме реального времени, а так же поиск, визуализацию и документирование информации в послепусковой период. Реализовано нестандартное решение: построение достаточно высокоскоростной системы сбора данных, базирующейся на платформе Windows и относительно недорогой аппаратной части. Дается техническое описание разработанных и внедренных приложений (классы предметной области, элементы интерфейса) для сбора данных и послепусковой визуализации информации.

Введение

Одной из важных задач программы реакторных и внереакторных экспериментов, проводимых в обоснование безопасности атомной энергетики, является определение параметров жидкого натрия, таких как скорость нарастания пустотной фракции в жидком натрии, изменение или колебание его уровня, давления, расхода и др.

Особенностью задачи является сложность регистрации быстропротекающих процессов, проходящих в жидком натрии. Высокие температуры, агрессивность среды, невозможность визуализации процесса – все это требует выбора специальной конструкции датчиков и разработки измерительных каналов, состоящих не только из измерительного преобразователя сигнала (усилителя), но и стабилизированного управляемого источника тока для датчиков пустот, выбора и настройки параметров схемы.

Система измерений параметров жидкого натрия (рисунок 1) состоит из серии датчиков (пустотомеров, динамического давления, расходомеров), модулей аналогового вывода ADAM, используемых для управления источниками токов, и платы сбора данных PCI-1712 фирмы Advantech.

Предполагалось использовать данную систему в реакторном эксперименте WF, а так же во внереакторных экспериментах PIDO, IDO и др. Ввиду того, что экспериментам на стенде EAGLE и объекте 100 должно было предшествовать большое количество работ, связанных с наладкой и тестированием системы на других стендах, а также, учитывая специфику настройки системы, было решено разработать отдельное программное обеспечение (ПО), создав законченную информационно-измерительную систему (ИИС).

Целью настоящей работы являлось создание программного обеспечения, позволяющего осуществлять сбор данных с системы измерений параметров жидкого натрия, обработку и визуализацию информации в режиме реального времени, а так же поиск, визуализацию и документирование информации в послепусковой период.



Рисунок 1. Структура системы измерений параметров жидкого натрия

Основным требованием к разрабатываемому ПО для системы являлось обеспечение сбора данных с 16-и канальной АЦП с частотой 2 кГц по каналу в течении 3-х минут с последующей визуализацией данных и возможностью управления источниками токов с помощью устройств ADAM (рисунок 1). Кроме того, ПО ИИС должно обеспечивать режим "медленной" регистрации (1-15 Гц) с визуализацией данных в режиме реального времени, используемого для настройки системы.

Известно, что традиционным способом организации ИИС с подобными характеристиками является либо использование для сбора данных дорогостоящей аппаратной части, либо программного обеспечения, выполняемого под операционной системой,

работающей в режиме реального времени. Возможно также построение распределенной многоуровневой системы, нижний уровень которой, отвечающий непосредственно за сбор данных, располагается на отдельном компьютере и работает под операционной системой реального времени. Верхние уровни, отвечающие за визуализацию информации, могут функционировать на платформе Windows. В данной работе было решено пойти на определенного рода риск и объединить нижние уровни системы, отвечающие за сбор и визуализацию данных в реальном времени, физически на одном компьютере, программно в одном приложении, а в качестве операционной системы использовать Windows 98, так как по сравнению с более поздними версиями она является менее "тяжеловесной". Windows, являясь операционной системой с вытесняющей многозадачностью, создавала большие трудности при разработке ПО сбора данных с требуемыми частотами выборки при отсутствии у АЦП достаточно большого буфера. Однако ее использование давало в тоже время множество преимуществ. Сокращалось до одного число используемых компьютеров; использовались привычные для пользователей элементы управления, что могло сократить время обучения и количество ошибок при работе с системой; сохранялась многозадачность компьютера: появлялась возможность разместить на нем верхний уровень ИИС, отвечающий за работу с данными в послепусковой период (оператор системы получал возможность анализа результатов работы системы, сравнения их с уже имеющимися данными.); а так же работать с иными видами информации, необходимой при настройке системы.

Структура программного обеспечения

Структура ПО ИИС измерения параметров жидкого натрия приведена на рисунке 2. На нижнем уровне располагается приложение VoidReg. Приложение выполняет функции сбора, обработки и визуализации данных в режиме реального времени. Дальнейшая обработка данных производится с помощью набора специально созданных утилит, после чего информация выкладывается на сервер и может быть просмотрена любым заинтересованным пользователем с помощью приложения Charter. Последнее является клиентской программой и реализует функции поиска, визуализации и документирования данных.

В качестве средства создания первого уровня ПО ИИС, отвечающего за сбор данных, первоначально была выбрана популярная среда программирования LabView, однако, уже на первых этапах азработки выяснилось, что приложение, созданное в LabView и выполняемое под операционный системой Windows в соединении с используемой аппаратной частью, не обеспечивает выполнение требования по скорости сбора данных. Дальнейшая разработка велась в среде Delphi, что позволило применить к разрабатываемому ПО объектно-ориентированный подход.



Рисунок 2. Структура ПО ИИС параметров жидкого натрия

Приложение VoidReg

Приложение VoidReg отвечает за сбор данных с системы измерений параметров жидкого натрия. Главными объектами предметной области приложения являются датчики. Основные функции по обработке поступающих данных возложены на объектыпотомки суперкласса TSensor, в который вынесена базовая функциональность (рисунок 3).



Рисунок3. Наследование классами датчиков базовой функциональности

Суперкласс содержит виртуальные методы, которые реализуются в потомках (то есть используется полиморфизм [1]). Основные поля и методы класса TSensor позволяют экземплярам класса обрабатывать сигналы, поступающие с датчиков, и отображать их на экране. Каждый датчик "знает" с какого канала АЦП он должен получать данные, каким образом их обрабатывать, какую информацию необходимо записывать в файл, а какую – отображать на графике. Опрос АЦП реализуется методами другого класса, TSensor лишь обращается к соответствующим элементам массива, в котором хранятся оцифрованные сигналы. Заслуживает упоминания класс TVoidMeter, реализующий функции датчика пустот. В его задачи входит обработка сигналов, поступающих от датчиков пустот, а так же управление при помощи устройств ADAM источниками тока и контроль возвращаемых ими значений. Работа с ADAMами происходит стандартно при помощи поставляемого фирмой Advantech драйвера.

Приложение VoidReg может работать в двух режимах регистрации: "медленно" и "быстро". Медленная регистрация используется при настройке системы и проводится в режиме мягкого реального времени. На рисунке 4 приведена последовательность событий.



Рисунок 4. Последовательность событий в режиме медленной регистрации

Объект-таймер генерирует события с настраиваемой частотой, и они инициируют с помощью функций драйвера АЦП опрос АЦП и обновление данных в массиве значений каналов. Далее происходит опрос всех включенных датчиков – вызываются методы датчиков (то есть экземпляров потомков класса TSensor), отвечающие за обработку поступающих с АЦП данных, отображение их на панели датчика и на графике. Операции, связанные с формированием файла данных, вынесены в отдельный класс (TDataFileController), поскольку выполнение их самими датчиками потребовало бы подключения поддержки различных форматов, и другой функциональности, не связанной непосредственно с обработкой измерений данных, поступающих от системы.

Режим быстрой регистрации предусматривает выборку данных в режиме жесткого реального времени. В системе Windows подобный режим работы невозможен, моделью PCI-1712, входящей в приобретенную комплектацию, не реализуются также и функции прямого доступа к памяти (DMA) [2,3]. Однако, наличие у АЦП небольшого буфера FIFO, в который поступают оцифрованные данные, позволило получить задержку, необходимую для выборки и сохранения данных. Функции проверки состояния буфера и выборки из него данных реализована с помощью отдельно написанных низкоуровневых методов, что позволило повысить скорость работы. В результате при переходе в режим быстрой регистрации создается отельный поток команд, который осуществляет сбор данных с АЦП. Поток чтения данных осуществляет циклическую проверку регистра присутствия данных в буфере АЦП. Если в регистре присутствует единица, осуществляется выборка данных из буфера и запись их в специально

созданный для этого поток данных. Потоку присваивается наивысший приоритет, позволяющий корректно работать в системе Windows, а для предупреждения инициации различного рода сообщений блокируется клавиатура и мышь. Блок снимается по завершении быстрой регистрации, которая заканчиваются по окончании определенного времени, задаваемого пользователем.

После быстрой регистрации проводится обработка полученных данных. Запускается цикл, в котором происходит чтение данных из потока данных, перемещение их в массив данных и вызов методов обработки датчиков. По желанию пользователя эта обработка может производиться из приложения VoidReg, либо позже, с помощью утилит обработки. Подобная организация работы позволяет по завершении быстрой регистрации мгновенно запустить еще один ее сеанс. Эксперименты показали корректную и устойчивую работу приложения при сборе данных с 16-и каналов с частотой 2 кГц по каналу в течение 25 минут. ПО функционировало на Р IV-1.7 ГГц, 256 МБ Ram.

Интерфейс приложения VoidReg

Основное внимание при разработке VoidReg уделено созданию интерфейса оператора системы. Разработчики столкнулись с определенными трудностями, пытаясь соеденить стандарты офисного ПО с требованиями к системе сбора данных.

Так как основой системы являются различного рода датчики, в приложении VoidReg, реализующем интерфейс системы, использована метафора датчиков. При этом метафора датчиков не доведена до внешнего соответствия элементов управления физическому облику датчиков, поскольку это увеличило бы время разработки, усложнило бы интерфейс приложения, увеличило бы время обучения и количество ошибок пользователями, привыкшими к стандартным элементам управления Windows. К интерфейсу приложения VoidReg предъявлялись следующие требования:

- Понятность и информативность оператор должен иметь возможность оценивать всю поступающую информацию и при этом не должен излишне напрягать внимание, разыскивая нужные ему данные.
- Возможность быстрого изменения настроек и параметров системы, мгновенного перехода из одного режима регистрации в другой.

• Стандартность – оператор должен думать о работе системы измерений, а не об элементах управления ею.

В процессе разработки и использования системы, интерфейс претерпел изменения, вызванные более оптимальным подбором элементов управления, их количества, места расположения. На рисунке 5 приведен вид основного окна приложения VoidReg в версии, соответствующей времени подготовки данной статьи.

VeilReg 2 12 1.12 Tessayae names: Experiment12.04.05		
10 100 300 # Stra @17rs # 2000rs #2	N-201 00.0028	
Province and a later province	الدلمية 19	× ici.e.
	400	
NATE		
-12.67 FF - 4		
0 査 <u>12 43</u> 福田 11 5- 12 43 福田 11		
		1000 16 19 10 16 1000 16 21
H002 -42.40		
H601 4,107 (stretc) 2	isterit . Pieles	
H6031 -24 06-0 - 0	1	
H645-2 24/55-4 -		
10 ⁴⁰⁷ 0.000 Frie 1		
HP22 0.000 Fris - 0 10		1120-11
10.1500 16.18.00 16.17.00 10.1	000 16.18.00 16.20.00 16.21.00 16.15.00 16.16.00 16.17.00 1	10 00 10 10 01 10 20 00 10 21 0

Рисунок 5. Главное окно приложения VoidReg

Как видно из рисунка 5, внешне VoidReg выглядит как обычное Windows-приложение с довольно небольшим количество элементов управления. На панели инструментов распложены кнопки управления устройствами ADAM, позволяющие одновременно управлять всеми включенными источниками тока. Здесь же находятся кнопки переключения режимов регистрации данных. Последние снабжены изменяющимися в процессе выполнения приложения подписями, определяющими частоты выборки данных - оператор видит установленные на текущий момент частоты сбора данных и это позволяет уменьшить количество ошибок при переключении режимов регистрации. На панель инструментов вынесена также информация о текущем времени, времени работы системы и количестве собранных данных. Подобное решение нельзя назвать стандартным (для отображения информации используются информационные панели), однако оно позволило сгруппировать основную информацию в одной области экрана.

В левой части экрана распложено окно элементов управления объектами-датчиками. Это динамически создаваемые фреймы, количество и тип датчиков определяется при старте приложения. Каждый потомок TSensor имеет свой фрейм, имеющий общего предка, в который вынесены общие элементы управления и базовая функциональность. Общего предка имеют также окна свойств и настроек датчиков (рисунок 6).

Поалисы	1-12 (8)	2002	
Кориткая подпись	ДЛ2		
Канал АЦП источни	атока	12 💌	
Канал АШП исилите:	IS SOÉRHETDS	1 *	

Рисунок 6. Окно свойств датчика пустоты

Класс окна свойств, необходимого в данный момент, определяется динамически в режиме выполнения приложения. Метки текущих значений сигналов датчиков расположены друг над другом в одной области экрана (рисунок 5), что упрощает процесс чтения информации с датчиков. По желанию пользователя возможно отображение значений сигналов датчиков на графиках. Набор датчиков для каждого графика определяется динамически и доступен для настройки. Все окна, присутствующие на экране, могут изменять размеры, местоположение, закрываться и вновь открываться. Настройки сохраняются в Ini-файл.

Использование Windows для всех уровней ПО ИИС позволило использовать похожие инструменты как при работе в режиме реального времени, так и в процессе послепускового анализа информации (рисунок 7).



Рисунок 7. Сходные элементы управления программ

На рисунке 7 показаны две панели инструментов, всплывающие при нажатии на скрол мыши: VoidReg и Charter. Панель VoidReg снабжена кнопками несколько большего размера, так как они используются в режиме реального времени и это позволяет работать значительно быстрее.

ФОРМАТЫ ДАННЫХ И УТИЛИТЫ ОБРАБОТКИ

Собранные приложением VoidReg данные могут размещаться в нескольких файлах, что зависит от настроек программы, в четырех различных форматах. Обычно сохраняются коды АЦП, вольты АЦП и физические значения датчиков. Специально для работы с системой регистрации параметров жидкого натрия разработано несколько форматов хранения данных. Основными из них являются rg2 и rg3.

Файл в формате rg2 представляет собой поток данных, который разделен на заголовок переменной длинны (информация о количестве, названии и настройках датчиков, используемых в эксперименте) и сами данные. Формат используется для хранения данных, собранных в режиме быстрой регистрации (жесткого реального времени). В отличие от текстовых данных, информация в формате rg2 занимает меньшей объем и не нуждается в предварительной конвертации в формат с плавающей точкой.

Формат rg3 отличается тем, что в нем кроме непосредственно данных хранится информация о моменте времени, в который данные были получены. Формат используется для хранения данных в режиме медленной регистрации (мягкого реального времени). Для обработки данных разработан ряд вспомогательных утилит, позволяющих производить обработку, синхронизацию и конвертацию данных из одного формата в другой. Проекты этих утилит используют разработанную иерархию классов датчиков.

ПРИЛОЖЕНИЕ ПОСЛЕПУСКОВОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ данных CHARTER

По завершении послепусковой обработки данные попадают на сервер (рисунок 2), откуда они могут быть просмотрены любым пользователем. Проблема послепусковой визуализации информации и формирования отчетов в процессе автоматизации эксперимента является отдельной задачей.

Собранные измерительными системами данные подвергаются обработке, визуализации и тщательному анализу, целью которого является интерпретация полученной информации, оценка качества работы систем и выявление сбоев. Поскольку в выполнении этой части работы принимает участие достаточно большое число специалистов, качество их работы в значительной мере зависит от качества инструментов визуализации. Если для визуализации данных, полученных в режиме медленной регистрации, возможно использование достаточно обычных средств, например MS EXCEL (универсального, хотя и не самого удобного инструмента для визуализации данных измерительных систем), то в режиме быстрой регистрации данных эти средства, как и MS EXCEL, бессильны. Количество подлежащих визуализации отсчетов в 180 секундном файле с частотой выборки 2кГц составляет 360 000. MS EXCEL 2000 способен отобразить только 65 536, поэтому необходимо либо разбить файл на части, либо использовать другие, более подходящие для этих целей инструменты визуализации. К таким средствам следует отнести пакет DIAdem компании National Instruments, хотя отношение к нему пользователей весьма неоднозначно. DIAdem является мощным средством, обладающим большим набором инструментов, необходимых для обработки и визуализации экспериментальных данных, однако из-за ориентированности на универсальность, пакет функционально перегружен, что требует затрат времени на освоение и изучение. Идеологически программный пакет рассчитан на пользователейэлектронщиков, тогда как с полученной информацией работает широкий круг специалистов, от программистов и техников до конструкторов и физиков. Кроме того, DIAdem является продуктом, недоступным для адаптации к данным, собираемым в результате экспериментов на стенде EAGLE. Поэтому с учетом результатов проведенного анализа был выбран вариант разработки собственных инструментов визуализации данных, удобных, максимально учитывающих специфику проводимых работ, простых в использовании и интуитивно понятных кругу специалистов, участвующих в экспериментах.

В качестве инструмента визуализации для системы измерений параметров жидкого натрия взят комплекс программного обеспечения, разработанный специалистами Отдела испытаний реакторных средств диагностики ИАЭ НЯЦ РК. Основное приложение этого комплекса - Charter, интегрировано с базой данных результатов измерений температуры кориума, в которой хранится информация об экспериментах, проведенных на стендах Ангара и EAGLE. Работа над приложением Charter велась постоянно и к моменту тестирования системы измерения оно обладало набором инструментов, позволяющим обеспечивать интерактивность работы - осуществлять визуализацию экспериментальных данных, производить сравнительный анализ полученный данных, создавать отчеты. С технической точки зрения Charter представляет собой достаточно большую систему, в состав которой имеются целый ряд специально разработанных классов предметной области и оконные объекты. Charter позволяет работать с экспериментальными данными как в разработанных форматах rg2 и rg3, так и в широко применяющихся текстовых форматах csv и dat. С его помощью можно визуализировать как информацию системы измерений параметров жидкого натрия, так и экспериментальные данные других аналогичных систем.

В момент появления на экране приложения Charter происходит подключение к базе данных, хранящейся на сервере (по типу файл-сервер), составляется список экспериментов, доступных в текущее время, с отображением на экране (рисунок 8).

Пользователь выбирает интересующую его информацию и просматривает данные. Информация, характеризующая эксперимент, представляется в виде древовидной структуры, каждому конечному узлу которой соответствует определенное окно, отвечающее за некоторую область данных и открывающееся после щелчка по узлу. Предусмотрена работа с программой и без связи с базой данных. В этом случае пользователь самостоятельно разыскивает интересующие его файлы и просматривает их. Для пользователя реализована возможность щечками мыши строить диаграммы, изменять их масштаб и диапазон отображаемых значений, производить нормировку и синхронизацию полученной информации, сравнивать данные различных экспериментов, отправлять полученные диаграммы на печать, копировать их в буфер обмена и сохранять в различных форматах (рисунок 9).

Предусмотрена возможность сохранения пользователем образов диаграмм, т. е., небольших текстовых файлов с описанием открытых файлов и текущих настроек диаграмм. Тем самым обеспечивается возможность многократной работы с построенными диаграммами, без сохранения на рабочем компьютер большеобъемных файлов данных.

Как и для приложения VoidReg, интерфейсу приложения Charter было уделено особое внимание. При его разработке использованы некоторые идеи интерфейса доступа к данным Китайского токамака HT-7.



Рисунок 8. Окно приложения Charter (1)



Рисунок 9. Окно приложения Charter (2)

МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

При создании ПО использованы идеи, лежащие в основе широко применяемой унифицированной технологии разработки ПО [4], а так же некоторые методы экстремального программирования. На более поздних этапах применены шаблоны проектирования и язык UML.

ПО ИИС разрабатывалось итеративным способом, при котором на каждой итерации определялись подлежащие реализации требования, осуществлялось проектирование и кодирование. Длительность одной итерации определялась требованиями и варьировалась в пределах от одного дня, до двух-трех недель. По окончании итерации производилась финальная сборка проектов. Исходные тексты проектов копировались в отдельную папку, что позволяло сохранить исходные тексты версии, полученной и протестированной на предыдущей итерации, Версии нумеровались стандартным для Delphi способом: "Старшая версия. Младшая версия. Релиз. Билд." По завершении тестирования и исправления "багов" производилась еще одна сборка, исходные тексты помещались в папку рабочей версии проектов, а откомпилированные приложения рассылались всем заинтересованным пользователям. Предыдущие версии архивировались и сохранялись. Все изменения, внесенные в проекты, фиксировались в журнале с пометками о времени их внесения, фамилии разработчика и номера версии приложения. В другом журнале отмечались найденные "баги". Над ПО работало одновременно несколько сотрудников - каждый над своей частью. Периодически проводился рефакторинг кода, оптимизировались методы и алгоритмы, переписывались классы.

Заключение

Выполненные работы позволили получить следующие результаты.

 Разработана структура недорогой, и в тоже время в достаточной степени надежной и высокоскоростной системы сбора данных, базирующейся на персональном компьютере с платформой Windows и аппаратной части Advantech.

- Создан комплекс программного обеспечения, позволяющий производить сбор, обработку и отображение в режиме реального времени данных, получаемых с системы регистрации параметров жидкого натрия.
- Разработаны форматы хранения получаемых данных.
- Разработаны утилиты послеэкспериментальной обработки собранных данных.
- Разработано программное обеспечение визуализации и документирования экспериментальных данных системы регистрации параметров жидкого натрия, а также аналогичных систем.
- Отлажено, протестировано и внедрено программное обеспечение автоматизации системы измерений параметров жидкого натрия.
- Получены формы визуализации и инструменты для работы с экспериментальными данными измерительных систем, по объему сравнимыми с физическими диагностиками токамака КТМ.

Разработанное ПО ИИС использовалось в экспериментах WF и PIDO и показало высокую надежность и корректность работы. Программное обеспечение послепусковой визуализации данных используется длительное время в отделе 280 при работе системы измерений температуры кориума и системы регистрации параметров жидкого натрия. Работы с системой измерений параметров жидкого натрия продолжаются. Предполагается, что система будет использована в дальнейших экспериментах по программе EAGLE (IDO, ID) с увеличенным количеством датчиков, что потребует, разумеется, некоторой доработки созданного ПО. Предполагается также создать клиентсерверную базу данных для хранения всей информации по проведенным экспериментам. Инструменты визуализации экспериментальных данных, созданные при разработке данного ПО, в последующем могут быть использованы при работе с информацией физической диагностики токамака КТМ.
Литература

- 1. Кэнту М. Delphi 6 для профессионалов. СПб.: Питер, 2002. 1088 с.
- 2. PCI-1712/1732 User's Manual.
- 3. Advantech DLL Drivers User's Manual and Programmer's Reference.
- 4. Ларман, Крэг. Применение UML и шаблонов проектирования: Вильямс, 2004. 624 с.

WINDOWS ПЛАТФОРМАСЫНДАҒЫ СҰЙЫҚ НАТРИЙДІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ӨЛШЕУ ТЕЗӘРЕКЕТТЕГІ ЖҮЙЕСІН АВТОМАТТАНДЫРУЫНА ПРОГРАММАЛЫҚ ЖАСАУЫН ӘЗІРЛЕУ

Колокольцов М.В.

ҚР ҰЯО Атом энергиясы институты, Курчатов, Қазаұстан

Сұйық натрийдің параметрлерін өлшеу жүйесінен деректер жинауын, нақты уақыт режімінде ақпаратын өңдеуін және бейнелеуін, сондай-ақ іске қосуынан кейінгі кезеңінде ақпаратын іздеуін, көрсетуін және құжаттамалауын қамтамасыз ететін программалық жасауын құру процессінің сипаттамасы келтіріледі. Стандартты емес шешім іске асырылған: Windows платформамы және біршама қымбат емес аппаратты бөлшектер негізінде жетерліктей жоғары жылдамдылығындағы деректер жинау жүйесін құру. Деректер жинау және іске қосуынан кейін ақпаратын көрсету үшін әзірленген және өндірілген қосымшаларының (заттық аймағының сыныбы, интерфейс элементтері) техникалық сипаттамасы берілген.

WINDOWS BASE SODIUM LIQUID HIGH-SPEED MEASURING SYSTEM SOFTWARE DEVELOPMENT

M.V. Kolokoltsov

Institute of atomic energy NNC, Kurchatov, Kazakhstan

This work describes software creation process, that allows to realize data capture from the sodium liquid parameter measuring system, information processing and imaging in the real-time operation mode, retrieval, visualization and documentation of the information in post-startup period as well. Nonstandard decision is described: creation of high-speed data capture system, based on Windows and relatively inexpensive hardware component. Technical description (enterprise classes, interface elements) of the developed and introduced enclosures, realizing data capture and post-startup information visualization are given.

УДК 53:001.89

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, СОЗДАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Гусев М.Н.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Проанализирована возможность создания интеллектуального продукта на основе полученных научных результатов. Показано, что для малой группы или молодого специалиста научные результаты могут иметь дополнительную ценность, если использовать их как основу для создания коммерческого программного обеспечения. Рассмотрен ряд примеров.

Введение

Данная конференция-конкурс является пятой, проводимой Национальным ядерным центром РК. Ранее, после окончания очередной конференции и подведения итогов, ее участники возвращались в свои лаборатории и продолжали повседневную деятельность. Столь неординарное мероприятие оставалось в прошлом и забывалось. Это неправильно. Есть возможность получить больший результат, если программа работы конференции будет включать также обмен опытом по продвижению собственных научных результатов. Это позволит участникам конференции посмотреть на собственную работу под другим углом – с точки зрения потенциальной полезности полученных результатов.

Цель данной работы – показать, что научные результаты могут иметь дополнительную ценность, если рассматривать их как основу для создания интеллектуального продукта, реализация которого является одним из способов расширения научной деятельности молодого специалиста или рабочей группы. Несомненно, что данный подход является перспективным не только для самих участников, но и для Национального ядерного центра РК в целом.

ПРЕДЕЛЫ РАЗВИТИЯ

Принято считать, что западная экономика своим успехом и продолжающимся активным развитием во многом обязана особому подходу к поддержке научных исследований, в основе которого лежит выявление и поддержка «точек роста» [1] - активно работающих групп ученых, формирующихся, как правило, вокруг профессионалов, обладающих опытом в том или ином научном направлении (например, [2]). Такие активные группы формируют внутри себя «питательную среду», способствующую быстрому научному росту молодых сотрудников. Активная деятельность молодого ученого и рост его профессиональной квалификации неизбежно ведет к расширению его кругозора, в поле зрения попадают те или иные задачи или проблемы, решение которых заманчиво с научной точки зрения.

В большинстве случаев решение таких задач требует, в частности, определенной доработки существующих экспериментальных методик, реже закупок нового оборудования. Так, например, в лаборатории, где работает автор, для перехода к деформационно-калориметрическим экспериментам [3, 4] с материалами, облученными на БН-350, необходимы новые узлы крепления миниатюрных образцов - сборки, изготовление которых требует ювелирной точности. С технической точки зрения изготовить их достаточно просто, но практически, в существующих условиях, это неосуществимо. Комплекс мешающих причин - самый широкий, начиная, например, с отсутствия материалов, инструменквалифицированных рабочих И кончая та отсутствием средств на эту работу.

Можно с уверенностью полагать, что любой экспериментатор, работающий в условиях СНГ, без труда перечислит с десяток подобных примеров. Возможно, он также согласится с тем, что познавательный интерес к проблеме при отсутствии продвижения сохраняется в общем случае недолго вряд ли более месяца. И если причины задержки не будут устранены, исследователь перейдет к работе над другой задачей. Попытки форсировать продвижение решения задачи превращают ученого в полуменеджера - полуснабженца, который знает, где и что можно купить, но начинает забывать, для чего. Существующие финансовая и хозяйственная системы большинства НИИ на постсоветском пространстве, безусловно, являются очень эффективными для определенных задач, но они совершенно неспособны помочь в решении текущих проблем рядовой рабочей группы.

Одной из безусловных причин является недостаток финансирования, по уровню которого казахстанская наука существенно уступает многим странам, в том числе, России (таблица, [5]).

Страна	Расходы на НИОКР		Число ученых и инженеров, занятых в
	млрд. долл.	% ВВП	ниокр, на 10 тыс. чел. работоспособного населения
США	246,2	2,8	82
Япония	94,2	2,9	96
Германия	45,8	2,7	60
Россия	9,2	1,06	57
Казахстан (1999 г)	0,04	0,24	10
Турция	0,9	0,5	6

Таблица. Показатели научного потенциала по отдельным странам мира за 2002 г.

Другая причина – ориентация государства, его политики и финансовых источников на поддержку, прежде всего, институтов в целом, а не отдельных, активно работающих групп. Инерционность крупных структур очень велика, получить от них помощь достаточно сложно и всегда - очень долго. В то же время, в условиях, существенно изменившихся после распада СССР, эффективность крупной, жестко централизованной структуры по сравнению с несколькими инициативными рабочими группами является крайне спорной. В пользу большей эффективности малых групп может свидетельствовать тот факт, что подавляющее большинство проектов создаются ядром из 1-5 человек, которые обеспечивают выполнение научной программы проекта, привлекая по мере необходимости требуемых специалистов. В этой связи достаточно обоснованным выглядит следующий шаг - выявление, оценка и адресная поддержка молодежных инициатив. Актуальность этого шага несомненна, поскольку в условиях отсутствие свободы в распоряжении материальными ресурсами и, нередко, само отсутствие таковых приводят к подавлению активности типичного молодого исследователя и к его последующему уходу из науки.

Здесь следует подчеркнуть, что автор ни в малейшей мере не пытается преувеличить роль молодого ученого или отдать ему предпочтение перед его более опытными коллегами. Невозможно отрицать как важность опыта, так и то, в какое количество ошибок обходится его получение. Автор также считает, что в случае создания системы «минигрантов» или системы, подобной им, предоставление требуемой свободы в распоряжении ресурсами должно сопровождаться предельно строгой ответственностью и критическим подходом к оценке результатов. Однако нельзя не согласиться и с тем, что исключительно показательны примеры того, насколько эффективна работа талантливого молодого ученого, когда рассмотренные выше материальные ограничения несущественны. Так, среди физиков-теоретиков, у которых потребность в «тяжелом» оборудовании достаточно мала, нередки кандидатские работы в 25 лет, а докторские – в районе 30 лет. Можно по-разному относиться к «докторам в 30», но их квалификация подтверждена наличием публикаций, авторитетом принявшего защиту Совета и решением ВАК, что оспорить уже сложно.

После защиты кандидатской диссертации перед автором встал вопрос о дальнейшей деятельности. Научная литература позволяет без особого труда выявить наиболее актуальные и перспективные направления и, образно говоря, «увидеть себя» в них. Но новые замыслы требуют расширения экспериментальной базы, и для оценки имеющихся возможностей была собрана и проанализирована информация примерно о 30 возможных финансовых источниках, в том числе, зарубежных фондах. К сожалению, уже первичный анализ и первые контакты показали, что ни один из них не нацелен на реальную и решительную поддержку небольшой инициативной команды. Не обладая авторитетом возраста, административным весом получить определенную финансовую поддержку практически невозможно. Следует отметить существование зарубежных молодежных программ для СНГ, например, при фонде INTAS, но они ориентированы, как можно полагать, прежде всего на выявление и рекрутирование потенциально выгодных кандидатов. Особо необходимо подчеркнуть такой досадный факт, как крайне слабая заинтересованность национальных промышленности и бизнеса в сотрудничестве с собственной наукой.

Таким образом, ограничения доступа к материальным ресурсам приводят к резкому снижению научной активности и накладывают *предел развития*.

Поиск «точки приложения сил»

Как было отмечено выше, в сложившейся системе социальных отношений свобода деятельности молодого специалиста или активной группы достаточно мала. При этом в рамках существующей системы поддержки науки заметное расширение этой свободы нереально. Однако, поскольку поле зрения активно работающей команды или отдельного специалиста постоянно расширяется, в него попадают такие задачи, решение которых интересно не только с научной точки зрения, но и может быть потенциально выгодно определенной группе заинтересованных лиц (целевой аудитории). Например, специалист владеет оригинальным методом обработки экспериментальных данных, либо программой, удачно реализующей уже существующие методы¹. Здесь возникает ряд принципиальных трудностей: как правило, специалист является сотрудником организации, вовлеченной в выполнение одного или нескольких крупных проектов; организация не может себе позволить отвлекать ресурсы на интересную, но

¹ Насколько известно автору, близкая ситуация имеет место в Лаборатории ядерной гамма-резонансной спектроскопии ИЯФ (заведующий – Жубаев А.К.), где для обработки данных применяется оригинальная программа.

все же побочную задачу и нередко не располагает избытком таковых. Для решения задачи специалисту требуется опыт и результаты, полученные в ходе его профессиональной деятельности. Как правило, эти результаты являются интеллектуальной собственностью организации, что, например, в Институте ядерной физики НЯЦ РК отражено в трудовом договоре. Соответственно, являясь автором, специалист ограничен в применении результатов своей работы.

В первом случае проблема может быть обойдена отбором таких потенциальных задач, решение которых не требует сколько-нибудь значительных материальных затрат (приборной, экспериментальной базы и т.п.). В идеальном случае потребности должны свестись к компьютеру плюс собственное время и способности специалиста. Корректное решение второй проблемы автору неизвестно. В ряде случаев, видимо, возможен компромисс с организацией, но «на старте» не следует придавать большого значения данному вопросу.

Здесь необходимо сделать важное отступление. Не имея свободы деятельности в рамках организации, сотрудник одновременно не несет ответственности за получение результата и, строго говоря, не зависит от него. Приступая к самостоятельному решению той или иной задачи, он действует на свой страх и риск, поскольку в случае неудачи никто не возместит ему потраченного времени и сил.

Понимая и чувствуя ситуацию в своей профессиональной области, осознавая сложившиеся потребности и коньюктуры, а также давая трезвую оценку своим возможностям, специалист может определить точку приложения сил. Она определиться по результатам поиска целевой аудитории, проблему которой специалист может решить. Величина приложенной силы будет задана потенциалом специалиста и условием непротиворечия главным задачам организации.

Интернет как единое информационное пространство

Вероятно, бесспорен тот факт, что изобретение персонального компьютера открыло новую эру в развитии человечества - эру информационных технологий. Персональный компьютер существенно облегчает накопление информации и работу с большими объемами экспериментальных данных, позволяет экономить время при выполнении громоздких рутинных расчетов (В то же время существует мнение [7], что в повседневной деятельности применение компьютера не приводит к существенной экономии времени и сил). Широкое распространение сети Интернет и существенное снижение стоимости работы с этой сетью подняли информационные технологии на качественно новый уровень. По сути, в конце 90-х гг. прошлого века было сформировано единое информационное пространство, позволяющее обмениваться информацией без учета географии, расстояний и национальных границ. Возникновение единого информационного пространства является частью более общего явления – глобализации экономических отношений. Глобализация имеет как положительные, так и крайне отрицательные последствия, в частности, подавление и растворение национальных культур, резкое расслоение государств и обществ на группы «включившихся в процесс» и «отставших», обреченных на исчезновение [6].

С точки зрения ученого, преимущество глобализации и единого информационного пространства заключается в свободном движении идей, мнений, научной информации. Иными словами, поле возможностей качественно расширяется. Однако существует и крайне опасный отрицательный момент: исключительное усиление конкуренции, риск появления более сильных и компетентных соперников, которые могут лишить главного - материальной выгоды от конечной стадии реализации научной идеи. Так, например, мы все являемся свидетелями абсолютного доминирования западных научных и технических идей, выраженных в соответствующих товарах и устройствах. При этом крайне неприятным является общепринятое отношение к данному факту как к должному и неизбежному. Отметим, однако, что угроза конкуренции существенно снижается для исследователей, объект деятельности которых является географически или технически уникальным. Тем не менее, доступ к средствам Интернета существенно расширяет область поиска приложения своих сил. Становится возможен поиск партнеров практически по всему миру, ускоряется обмен информацией, что особенно ценно в том случае, когда общее количество специалистов в той или иной области науки невелико.

ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ: МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ЛАБОРАТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ (ИФМСМ)

Эксперименты с применением компьютера для записи и обработки данных, а также для управления испытательным комплексом, начаты в лаборатории примерно с 1985 г. Сменилось несколько поколений компьютеров – от СМ ЭВМ с громоздким крейтконтроллером КАМАК до Pentium-4 с предельно компактным и быстродействующим АЦП на 32 канала. Разработан ряд программ, реализующих алгоритмы обработки экспериментальных данных, в частности, диаграмм растяжения, термограмм идр. [3, 8, 9]. Программы постоянно совершенствовались [4], внедрялись новые приемы получения и обработки данных. С 1998 г. существует единая программа, включающая модуль расчета механических свойств (около 20 тысяч строк кода) и модуль обработки калориметрических экспериментов (более 50 тысяч строк). Модули реализуют множество процедур и методов расчета механических свойств, восстановления термограмм [4, 8], фильтрации шумов, расчета термоэластических эффектов и калибровочных констант для деформационно-калориметрических экспериментов. В разработку программы вложены существенные ресурсы, время и силы сотрудников лаборатории, достаточно хорошо владеющих вычислительными методами и алгоритмами (Астафьев И.В. - до 1993 г., Сакбаев М.Ж. - с 1993 по 1995 г., Гусев М.Н. - с 1995 г. по настоящее время). Близкое по назначению программное обеспечение таких фирм как "Instron" "Leica", "Setaram" стоит не менее нескольких тысяч евро, нередко превосходя в цене приобретаемый прибор. С учетом этих позиций разработанное и используемое в лабораториях программное обеспечение и алгоритмы можно рассматривать как потенциальный интеллектуальный продукт.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ, СОЗДАННЫХ В ЛАБОРАТОРИИ ИФМСМ, С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ КОММЕРЧЕСКОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ

Известно, что качество работы исследователя и полученные им результаты непосредственно связаны с качеством (и, в частности, с возрастом) используемого оборудования. В этом плане перевес однозначно на стороне западных специалистов и конкурировать с ними «на аппаратном поле», по меньшей мере, наивно. Ситуация качественно улучшается, если конкуренция переходит в сферу интеллектуальной деятельности, поддерживаемой западной же научной информацией (источниками данных) и требующей лишь компьютер и ряд специализированных программных инструментов. Ситуация становится выигрышной, если удастся использовать такой фактор, как соотношение стоимости труда. С учетом вышесказанного проведен анализ имеющихся разработок и оценен их потенциал как вероятных коммерческих продуктов.

Основная разработка, в которую вложено наибольшее количество сил и времени – программа для расчетов по деформационной калориметрии [4]. Сравнение с разработками фирм-производителей калориметров показало, что функциональные возможности программ достаточно близки, однако потенциальные конкуренты имеют большую универлучшее качество сальность, поддержки И документации. Кроме того, круг потенциальных пользователей данного программного обеспечения очень узок (в мире продаются лишь сотни изделий в год), а производитель предельно жестко контролирует, а часто и прямо запрещает использование стороннего программного обеспечения. Аналогичная ситуация имела место с программой для расчета механических свойств - при сравнимой функциональности она существенно уступала в качестве интерфейса и документации. С учетом крайне узкой целевой аудитории, необходимости заметной доработки программ, малых временных и трудовых ресурсов, а также наличия сильных прямых конкурентов. оба направления были оставлены. Перспективной была признана лишь одна разработка - вспомогательная утилита для поиска текстовой и численной информации в массивах документов и

экспериментальных данных. Написанная в 1999 г. программа локального поиска текстовой информации, действовала по принципу индексаторапрепроцессора, существенно ускоряя поиск по ключевым словам или диапазону численных значений. В то время это была одна из первых программ такого рода, работающих на локальном компьютере. В конце 2001 г. - начале 2002 г. конкурентов в данной области было немного, и программа в течение года была доведена до минимально необходимого уровня для коммерческого продукта.

Этап продвижения программного продукта был сложным и обернулся рядом непредвиденных трудностей и проблем, никак не связанных собственно с программой и заложенными в нее алгоритмами. Тем не менее, несмотря на слабую маркетинговую поддержку, полное отсутствие рекламы, проект полностью окупил вложенное время (суммарно около 4-5 человеко-месяцев). В связи с появлением новых, более интересных задач, а также в связи с ростом конкуренции проект был прекращен. Основным его результатом является демонстрация того факта, что, имея минимум материальных ресурсов, но, располагая определенным запасом времени и опытом, накопленным в ходе научно-исследовательской деятельности, малая команда или даже отдельный специалист в состоянии создать достаточно конкурентоспособный интеллектуальный продукт.

ПРИМЕРЫ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, СОЗДАННОГО УЧЕНЫМИ СНГ

С учетом уроков, полученных в связи с задачей локального поиска текстовой информации, был выполнен поиск и анализ программного обеспечения, предлагаемого в сети Интернет. Анализ показал, что достаточно заметное количество разработок выполнено учеными и для решения научных задач. Выяснилось, что, к сожалению, среди разработчиков ПМО практически полностью отсутствуют казахстанцы и поэтому анализ был вынужденно ограничен рассмотрением продуктов российских разработчиков.

Наиболее близка к материаловедению, в частности, к задачам металловедения, система Image Expert. Продукт разработан ООО "Новые Экспертные Системы" (НЭКСИС), объединяющей специалистов в области материаловедения, программирования, компьютерной графики, web-дизайна и электроники. Основной костяк команды - выпускники кафедры Металловедения и физики прочности Московского государственного института стали и сплавов. Основным направлением деятельности компании является создание и продвижение программ анализа изображений серии ImageExperttm. Использование этих программ решает практически все возникающие перед пользователем проблемы, будь это задачи металлографического контроля, медико-биологических или экологических исследований, научных исследований в области твёрдого тела, жидкостей или плазмы, и многое другое.



Решаемые задачи:

- анализ неметаллических включений
 - анализ графитовых включений
- анализ зеренной структуры
- определение количества альфа-фазы
- анализ микроструктуры сталей
- анализ дендритной структуры сталей
- анализ морфологии трёхмерных изломов металлов

Стоимость:

до нескольких тысяч евро

http://www.nexsys.ru/ru

Рисунок 1. ImageExpert Pro 3.x - Универсальное программное обеспечение для количественного анализа изображений в науке и на производстве

При обработке научных материалов, при анализе литературы, может быть исключительно полезна система Text Analyst (http://www.megaputer.com/ /products/tm.php3). Система разработана исследовательской группой из Московского государственного университета (теперь - коммерческой компанией Megaputer Intelligence Ltd). Позволяет выполнять выделение ключевых понятий в естественных текстах, выявлять ключевые слова и связи между ними, эффективно работать с большими текстовыми базами данных Особенно интересна возможность подготовки автореферата текста, а также рубрикация и кластеризация текстов для обеспечения быстрого доступа к хранимой информации. Стоимость определяется, исходя их конкретных условий.



Рисунок 2. Система Text Analist

Две указанные программы - разработки исключительно высокого уровня, выполненные командами квалифицированных ученых, работающих в рамках своего направления. Имеются примеры разработки специализированных инструментов, предназначенных для решения частных задач в рамках собственной специальности, например:

• ZooBase (рисунок 3) - «...инструмент для профессиональных таксономистов и систематики...Позволяет установить, кто и где описал эту разновидность животных как действительную, кто и где включил эту разновидность в синонимию других разновидностей...» (цена 500 долл. США).

• DipTrace (рисунок 4) - «...новый программный продукт отечественной разработки для проектирования печатных плат (PCB)... Программа обладает наиболее удобным среди САПР для проектирования печатных плат интерфейсом... Логическая структура принципиальной схемы или платы формируется сразу при построении и изменение одного элемента... В редакторах корпусов и компонентов применена послойная система рисования...» (цена для России и стран СНГ - от 800 до 2400 рос. руб., для иностранцев - от 145 до 495 долл.).

• Scientific Letter (рисунок 5) – « ...оригинальная почтовая программа, позволяющая создавать письма со сложными математическими выражениями. Использованный в программе редактор обеспечивает скорость написания обычного текста и представляет формулы в их привычном виде...» (цена – 900 рос. руб.).

Значительная часть не менее интересных продуктов не может быть рассмотрена в рамках данного обзора.



Рисунок 3. ZooBase (http://www.lithopssoft.com/zoo)





Рисунок 4. DipTrace (http://www.diptrace.com)



Другие почтовые программы

Рисунок 5. Scientific Letter (http://www.scinetsoftware.ru

В целом выявленные программные продукты можно разделить на две категории:

- результат реализации профессиональных знаний;
- результат необходимости иметь дополнительный заработок.

Обе категории возникли и существуют вследствие методичного и целеустремленного создания объекта интеллектуальной собственности и его последовательного доведения до целевой аудитории. И всегда первым этапом был поиск точки приложения своих сил. Обобщенный портрет авторов этих других подобных проектов выглядит так:

- высшее образование обязательно, наличие ученой степени имеет место сравнительно редко;
- все разработчики имеют неудачный проект, почти всегда - это первый проект;
- софтвер (разработка программного обеспечения) дает доход, сравнимый или превосходящий доход от научной деятельности. При этом большая часть времени расходуется на науку.

Реализация проектов во многих случаях принесла знакомства и связи, выгодные в области профессиональной деятельности.

Заключение

Рассмотрены примеры успеха. Их много. Но следует подчеркнуть, что неудавшихся проектов существенно (в десятки раз) больше. Самостоятельность и свобода творчества обходятся порой дорого, как минимум, – в безвозвратно потраченное время. Открытое профессиональное сообщество, как и рынок, жестко отсеивает слабых. Однако, поскольку любые попытки расширить поле деятельности требуют материальных ресурсов, один из путей их получения – реализация объектов интеллектуальной собственности, в частности, в виде программного обеспечения. Автор ни в малейшей степени не призывает к замене научной карьеры стезей программиста-разработчика. Этот вариант следует рассматривать как последний шаг в случае какой-либо необратимой неудачи в науке.

Основная цель этой работы, как было отмечено изначально, во-первых, показать перспективность для малой группы в области создания и реализации объектов интеллектуальной собственности и, во-вторых, побудить к поискам. Среди собственных научных результатов можно не найти ничего, напоминающего вышеописанные примеры, но будет предельно горько, если хороший шанс будет упущен.

Литература

- 1. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Наука, 1997.
- Капица П.Л. Основные факторы организации науки и их осуществление в СССР//Эксперимент. Теория. Практика. М., 1987. – 496 с.
- 3. Максимкин О.П. Автоматизированный комплекс установок и экспериментальные методики для исследования физикомеханических свойств облученных материалов//Препринт ФТИ НАН РК 94-02. – Алматы: НАН РК, 1994. - 32 с.
- Максимкин О.П., Гусев М.Н. Методика и установка для изучения тепловыделения и накопления энергии в процессе деформации облученных металлических материалов//Вестник НЯЦ/Ядерная физика и радиационное материловедение. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып.4. – С. 69 - 75.
- 5. Кембаев Б.А., Комлев Ю.В.Развитие науки и техники в Казахстане. Алматы, 2004. 326 с.
- 6. Панарин А.С. Глобализация как вызов жизненному миру//Вестник РАН. Т.74, № 7 С.619 632.
- 7. В мире науки, 2005. № 2.
- 8. Астафьев И.В., Максимкин О.П. Восстановление калориметрических термограмм в экспериментах по изучению тепловыделения и запасания энергии при деформировании//Заводская лаборатория, 1994. № 1. С. 44 46.
- Максимкин О.П., Ботвин К.В. Автоматическое определение прочностных характеристик материалов//Заводская лаборатория/Диагностика материалов, 1998. № 8. С. 40 41.

ҚАЗІРГІ ЗАМАН ШАРТТАРЫНДА ҒЫЛЫМИ ҚЫЗМЕТІНІҢ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫҚ МЕНШІГІН ЖАСАУЫ МЕН ІСКЕ АСЫРУЫНДА КЕЙБІР ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Гусев М.Н.

ҚР ҰЯО Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан

Алынған ғылыми нәтижелері негізінде зияттық өнімін жасау мүмкіншілігі талдаудан өткізілген. Кіші-гірім тобына немесе жас маманына ғылыми нәтижелерінде, егерде олар коммерциялық программалық жасауын құру үшін негізі ретінде қолданылса, қосымша құндылығы болу мүмкіншілігі көрсетілген. Бір қатар үлгілер қаралған.

SOME PECULIARITIES OF SCIENTIFIC EFFORT, INTELLECTUAL PROPERTY CREATION AND REALIZATION IN MODERN CONDITIONS

M.N. Gusev

Institute of Nuclear Physics NNC RK, Almaty. Kazakhstan

The possibility of intellectual product creation on the base of scientific results received. It is shown, that for small group or young expert the results can have additional value, if consider them as the basis for creation of commercial software. There are number of examples considered.

Алейников Ю.В., 34 Аргынов А.Б., 28 Беляшов А.В., 76 Брянцева Н.В., 71 Володин В.Н., 49 Городисский Д.М., 9 Гусев М.Н., 110 Жаканбаев Е.А., 49 Жолдыбаев А.К., 66 Жолдыбаев Т.К., 23 Жубаев А.К., 5, 28

СПИСОК АВТОРОВ

Жумагазыулы Э., 90 Зверев В.В., 55 Кадыржанов К.К., 5, 28 Казакова Ю.И., 84 Колокольцов М.В., 102 Красовицкий П.М., 18 Лазурина Ю.В., 34 Мигунова А.А., 41 Нугуманов Д.К., 55 Паницкий А.В., 96 Прозоров А.А., 34 Прозорова И.В., 34 Русаков В.С., 28 Смирнов А.А., 90 Суслов Е.Е., 5 Тиванова О.В., 59 Тулеушев А.Ж., 49 Тулеушев Ю.Ж., 49 Туркебаев Т.Э., 5, 28

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи предоставляются в виде электронной (на гибком диске или по электронной почте присоединенным (attachment) файлом) в формате MS WORD и печатной копии.

Текст печатается на листах формата A4 (210×297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 25 мм; справа 15 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi).

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков. Текст печатается через один интервал, между абзацами 2 интервала.

В левом верхнем углу должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами. Через 3 интервала после названия, печатаются фамилии, имена, отчества авторов и полное наименование, город и страна местонахождения организации, которую они представляют. После этого, отступив 3 интервала, печатается основной текст.

При написании статей необходимо придерживаться следующих требований:

- статья должна содержать аннотации на казахском, английском и русском языках (130-150 слов) с указанием названия статьи, фамилии, имени, отчества авторов и полного названия, города и страны местонахождения организации, которую они представляют;
- ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных [1] скобках по мере упоминания. Список литературы следует привести по ГОСТу;
- иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере или в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата А4. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка;
- математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation. Химические формулы и символы должны быть набраны при помощи инструментов Microsoft Word. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

К статье прилагаются следующие документы:

- рецензия высококвалифицированного специалиста (доктора наук) в соответствующей отрасли науки;
- выписка из протокола заседания кафедры или методического совета с рекомендацией к печати;
- на отдельном листе автор сообщает сведения о себе: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность, кафедра и указывает служебный и домашний телефоны, адрес электронной почты.

Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован. В конце статья должна быть подписана автором с указанием домашнего адреса и номеров служебного и домашнего телефонов, адрес электронной почты.

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

Ответственный секретарь к.ф.-м.н. М.К. Мукушева тел. (095) 745-54-04, (322-51) 2-33-35, E-mail: MUKUSHEVA@NNC.KZ

> **Технический редактор** А.Г. Кислухин тел. (322-51) 2-33-33, E-mail: KISLUHIN@NNC.KZ

Адрес редакции: 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.

© Редакция сборника «Вестник НЯЦ РК», 2001.

Регистрационное свидетельство №1203-Ж от 15.04.2000г. Выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Тираж 300 экз.

Выпуск набран и отпечатан в типографии Национального ядерного центра Республики Казахстан 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.

