

УДК 550.348

ИСТОРИЧЕСКИЕ СЕЙСМОГРАММЫ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ПОДХОДОВ В РАСПОЗНАВАНИИ

Узбеков А.Н., Соколова И.Н.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты работ по переводу исторических аналоговых сейсмограмм с записями ядерных взрывов в цифровую форму. Разработана технология оцифровки, собраны данные об источниках ядерных взрывов и станциях регистрации за период с 1961 г. по 1985 г., оцифровано более 2000 архивных сейсмограмм.

ВВЕДЕНИЕ

В 1996 году Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) был открыт для подписания, и с этого времени начала создаваться международная система мониторинга, в задачи которой входит обнаружение и распознавание ядерных взрывов, произведенных в разных средах: атмосфере, под водой и под землей [1, 2]. После 1996 г. было произведено только 7 ядерных взрывов, что, безусловно, недостаточно с точки зрения отработки методик их распознавания. Поэтому необходимо привлекать исторические сейсмограммы ядерных испытаний, накопленные в архивах различных организаций, начиная с середины прошлого столетия. Это могут быть как цифровые, так и аналоговые записи.

В Советском Союзе первые испытания ядерного оружия начались в 1949 году. В этот период на территории Казахстана непрерывные сейсмические наблюдения проводились станциями, расположенными в основном на территории Северного Тянь-Шаня. На северотяньшаньских станциях была установлена аппаратура с усилением $V=20000-40000$ [3], задачей которых был мониторинг землетрясений юга и юго-востока Казахстана. Другие сейсмические станции входили в сейсмическую сеть Комплексной сейсмологической экспедиции (КСЭ), созданной Институтом физики Земли (ИФЗ) АН СССР в г. Талгар. В задачи этой сети входили не только мониторинг землетрясений и изучение строения литосферы, но и обнаружение, распознавание ядерных испытаний на региональных и телесейсмических расстояниях. КСЭ было открыто большое количество сейсмических станций на территории всего бывшего Советского Союза, как стационарных, так и временных. Все станции были оснащены чувствительными приборами типа СКМ-3, КСЭ и РВЗТ с усилением V от 40 000 до 120 000) [4]. Станции КСЭ регистрировали даже очень слабые ядерные взрывы с магнитудой $m_b=4.0$, произведенные на значительных расстояниях.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Особенностью сейсмических станций, расположенных на территории Казахстана и на прилегающих территориях, является то, что они расположены на региональных расстояниях относительно всех ядер-

ных испытательных полигонов Азии. Кроме того, большинство из этих станций расположены в местах с низким уровнем сейсмических шумов, что позволило регистрировать даже слабые подземные ядерные взрывы на телесейсмических расстояниях. Поэтому задача оцифровки аналоговых сейсмограмм и перевода оцифрованных данных в современный формат, удобный для хранения, использования и обмена данными в настоящее время очень актуальна. Оцифрованные сейсмограммы могут с успехом использоваться не только для разработки новых методов идентификации ядерных взрывов, но и для совершенствования и тестирования новых технологий мониторинга скрытых ядерных испытаний, для калибровки станций Международной сети мониторинга ОДВЗЯИ, для изучения строения литосферы и астеносферы в районах проведения ядерных испытаний, для изучения геодинамики и последствий воздействия подземных ядерных взрывов на среду.

На рисунке 1 показано расположение сейсмических станций, работавших в разные годы и регистрировавших сейсмические сигналы на фотобумагу. Сейсмограммы этих станций хранятся в основном в архивах СОМЭ МОН РК (Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция), ИГИ НЯЦ РК, КСЭ ИФЗ РАН (Комплексная сейсмологическая экспедиция Института физики Земли).

К сожалению, не все типы ядерных взрывов регистрируются сейсмическими приборами одинаково хорошо. Сейсмический эффект ($\eta=E_c/E_0$ – доля сейсмической энергии E_c от общей энергии E_0 взрыва) существенным образом различается при проведении взрывов в разных средах. При воздушных и контактных взрывах лишь небольшая часть энергии выделяется в виде сейсмических волн (таблица 1 из [5]).

В связи с этим для оцифровки были выбраны, в первую очередь, сейсмограммы самых сильных мультигегатонных воздушных ядерных взрывов и подземных ядерных взрывов. На рисунке 2 показано расположение ядерных взрывов, записи которых были использованы для оцифровки.

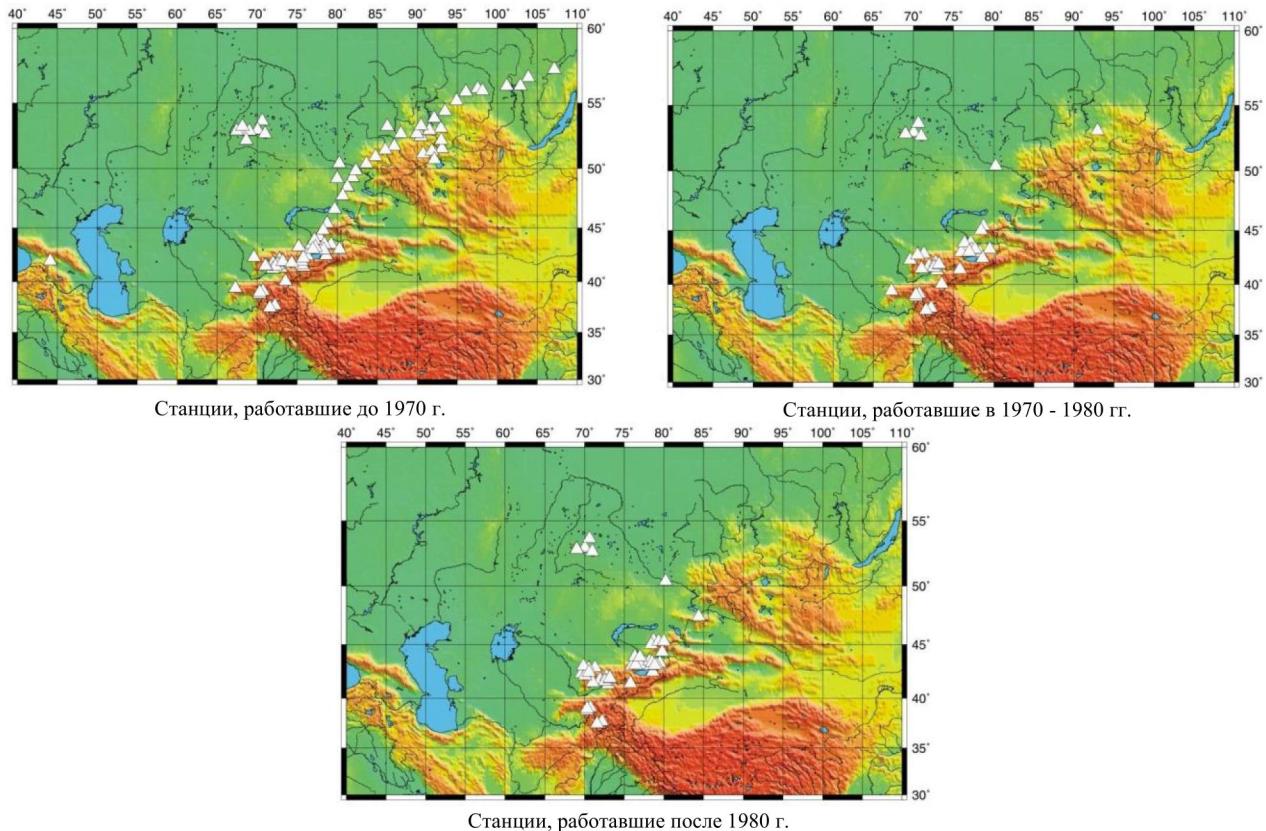


Рисунок 1. Расположение сейсмических станций с записью сейсмограмм на бумажные носители

Таблица 1. Оценка сейсмического эффекта по объемным волнам для ядерных взрывов, проводимых в различных условиях

Условия проведения	Высота или глубина, км	$\eta, \%$
Воздушный	в приземном слое атмосферы	$1.3 \cdot 10^{-5}$
Контактный	0	$1.3 \cdot 10^{-3}$
Подземный (туф, гранит)	0.3 - 0.7	$1.1 \cdot 10^{-1}$
Подводный	0.6	4

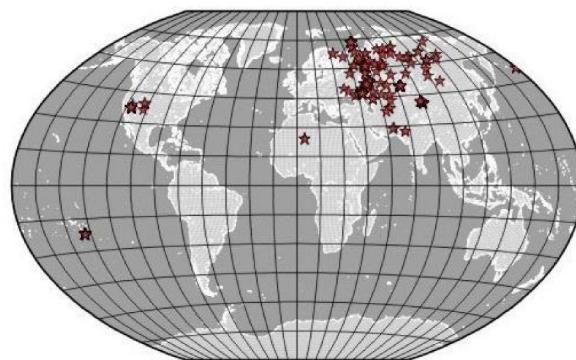


Рисунок 2. Расположение эпицентров ядерных взрывов, записи которых были выбраны для оцифровки

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В качестве программного обеспечения использован программный комплекс “NXSCAN” [6], который в полуавтоматическом режиме позволяет оцифровывать предварительно отсканированные сейсмограммы. Сканер обеспечивает разрешение 400 отсчетов/дюйм, или приблизительно 16 отсчетов/мм. Большинство использованных записей, зарегистрири-

рованных каналом СКМ-3 (на фотобумаге), имело развертку 120 мм/мин, редко 60 - мм/мин. Сейсмограммы оцифрованы с частотой 40 Гц. Полоса пропускания канала СКМ-3 – от 0.7 до 10 Гц. Можно считать, что реально удавалось использовать для анализа частоты до 6 Гц. Фрагменты аналоговых сейсмограмм, оцифрованные программой NXSCAN, сохранены в формате SAC (Seismic Analysis Code)

[7], после чего они преобразованы в формат CSS 3.0 (Center for Seismic Studies v.3.0) [8]. Из оцифрованного материала создана база данных, каждая запись в которой содержит следующие таблицы CSS 3.0: wfdisc, site, sitechan, assoc, origin. На рисунке 3 приведена структура технологической линии по сканированию и переформатированию архивных бумажных сейсмограмм.

Проведено тестирование результатов оцифровки. Оцифрованные сейсмограммы имеют хорошее согласование с оригиналом как визуально, так и по кинематическим и динамическим параметрам. В таблице 2 приведены результаты сопоставления времен

вступления Р волн, замеренных на аналоговых и оцифрованных сейсмограммах.

Точность снятия времен, зависящая от четкости вступлений фаз, скорости развертки сейсмограммы, в среднем составила $\pm 7\%$, точность оценок амплитуд для загруженного канала составила $\pm 10\%$, для чувствительного канала $\pm 5\%$.

В настоящее время оцифрованы сейсмограммы, записанные до 1985 г. На рисунке 4 приведен пример оригинала и результатов оцифровки сейсмограммы ядерного взрыва 02/01/1979, $t_0=04:13:00.2$, $\varphi=50.101^\circ$, $\lambda=78.863^\circ$, $mb=5.4$.

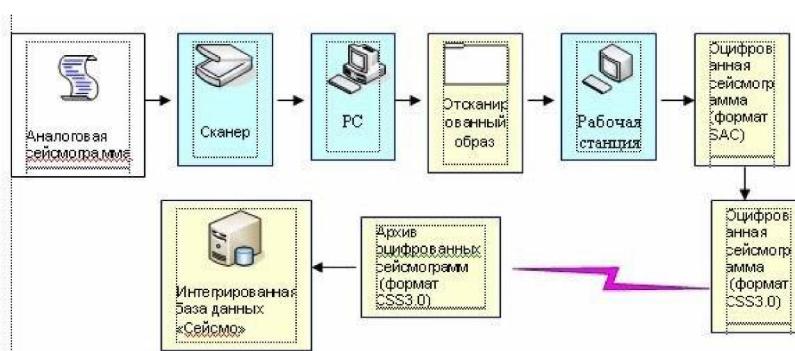
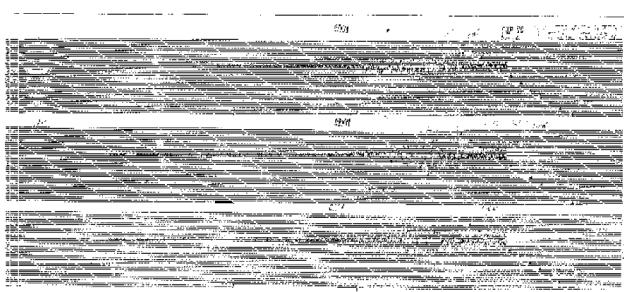


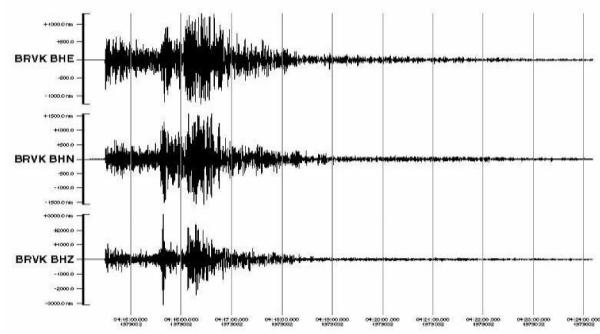
Рисунок 3. Структура технологической линии по сканированию и переформатированию архивных сейсмограмм

Таблица 2. Результаты сопоставления времен вступления Р-волн, замеренных на аналоговых и оцифрованных сейсмограммах

Станции	Развертка мм/с	iP	eP	eeP	После оцифровки
Все станции КСЭ, СОМЭ МОН РК	120	0.1 с	0.5 с	> 0.5 с	$\pm 2\%$
KURK, SEM (CKM), NVS (CKM)	60	0.2 с	1 с	> 1 с	$\pm 5\%$
SEM (CK)	30	0.4 с	2 с	> 2 с	$\pm 10\%$
NVS (ЧИСС)	15	0.8 с	4 с	> 4 с	$\pm 10\%$



а – аналоговая архивная запись на фотобумаге



б – результат оцифровки. Станция Боровое

Рисунок 4 Пример оцифровки сейсмограммы ядерного взрыва, произведенного на СИП (02/01/1979, $t_0=04:13:00.2$, $\varphi=50.101^\circ$, $\lambda=78.863^\circ$, $mb=5.4$)

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦИФРОВКИ ИСТОРИЧЕСКИХ СЕЙСМОГРАММ

База данных в формате CSS3.0 содержит более 2000 сейсмических записей ядерных взрывов, произведенных на различных испытательных полигонах мира. На рисунке 5 приведена диаграмма распределения количества оцифрованных сейсмограмм относительно 8 известных ядерных полигонов. Ядерные

полигоны находятся на разных эпицентральных расстояниях от станций, кроме того, геофизическая среда и условия проведения взрывов существенным образом отличаются. В связи с этим, для каждого полигона существует различный магнитудный порог регистрации, причем для каждой наблюдательной станции он различный.

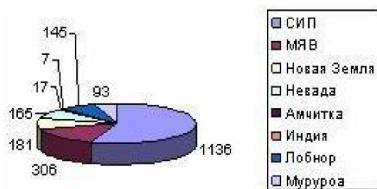


Рисунок 5. Диаграмма количества оцифрованных сейсмограмм по полигонам

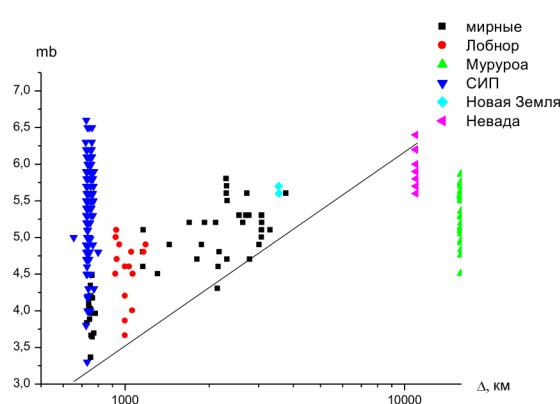


Рисунок 6. Распределение оцифрованных сейсмограмм, зарегистрированных станцией Талгар, по магнитудам событий и расстояниям

На рисунке 6 показано распределение оцифрованных сейсмограмм по магнитудам и расстояниям для станции Талгар, расположенной на Северном Тянь-Шане. Из рисунка следует, что станция Талгар регистрировала события на полигоне СИП, начиная с магнитуды $mb=3.3$, на полигоне Лобнор – начиная с магнитуды $mb=3.7$. Для мирных ядерных взрывов пороговая магнитуда $mb=3.4$, для полигона Невада - $mb=5.7$, для полигона Муруроа - $mb=4.8$.

Другие значения пороговых магнитуд определены для станции Боровое, расположенной в Северном Казахстане (рисунок 7). Так, при регистрации событий, происходивших на полигоне СИП, это значение $mb=3.3$, на полигоне Лобнор - $mb=4$. Для мирных ядерных взрывов пороговая магнитуда $mb=4.6$, для полигона Невада - $mb=5.5$, для полигона Муруроа - $mb=5.6$, для полигона Новая Земля - $mb=4.5$.

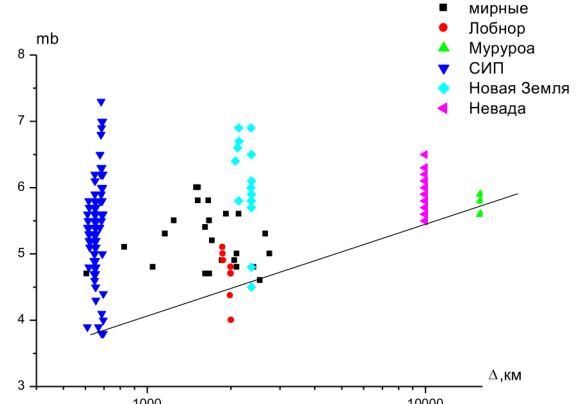


Рисунок 7. Распределение оцифрованных сейсмограмм, зарегистрированных станцией Боровое, по магнитудам событий и расстояниям

Видно, что в целом обе станции являются достаточно чувствительными, но относительно полигонов Новая Земля, Невада лучшея является станция Боровое, а для полигона Лобнор и промышленных взрывов лучшея является станция Талгар.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана и постоянно пополняется уникальная база данных сейсмограмм ядерных взрывов в формате CSS3.0 с использованием архивных записей. Уже в настоящее время эта база данных активно используется для решения различных исследовательских задач сейсмологии: для сейсмического распознавания ядерных взрывов и землетрясений; изучения пространственно-временных вариаций поля поглощения поперечных волн; изучения длиннопериодных вариаций скоростей сейсмических волн; построения региональных годографов сейсмических волн; изучения последствий влияния мощных взрывов на среду.

ЛИТЕРАТУРА

- Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). – Вена: Подготовительная комиссия Организации ДВЗЯИ. - 2001. – 165 с.
- Суарез, Ж. Международная система мониторинга – ее цели и состояние / Ж. Суарез // Вестник НЯЦ РК, 2003. – вып. 2. – С. 25 – 33.
- Mikhailova, N.N. Present Status of the Network for Seismic Observation in Kazakhstan. / N.N Mikhailova., A.K. Kurskeev // Journal of earthquake prediction research. - 1995. - v. 4, N 4, - P. 497 – 506.
- Аранович, З.И. Основные типы сейсмометрических приборов / З.И. Аранович [и др.] // Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. - М.: Наука, 1974. – С. 43 – 117.
- Кедров, О.К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний/ О.К. Кедров, - М.: ИФЗ РАН, 2005. 420 с.
- NXSCAN. Manual. IRIS, 1992.
- Anderson, J. Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manual./ J. Anderson, W.E. Farrell [et al.] // Technical Report C90-01, Arlington. - 1990.
- William, C. Seismic analysis cod / C. William, Tapley and Joseph E. Tull // LLNL. - Livermore - 1993.

**АЙЫРЫП ТАНУДЫҢ ЖАҢА ТӘСІЛДЕРІН ДАМЫТУ ҮШИН
ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ТАРИХИ СЕЙСМОГРАММАЛАРЫ**

Узбеков А.Н., Соколова И.Н.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Ядролық жарылыштардың жазбалары бар тарихи аналогты сейсмограммаларын цифрлық түріне көшіру бойынша жұмыстардың нәтижелері келтірілген. Цифрлау технологиясы әзірленген, 1961-1985 ж.ж. кезеңіне ядролық жарылыштардың көздері және тіркеу станциялары туралы деректері жиналған, 2000-нан артық мұрагаттық сейсмограммалары цифранған.

**THE HISTORICAL SEISMOGRAMMS OF NUCLEAR EXPLOSIONS
FOR THE DEVELOPE NEW APPROUCHES IN DESCRIIMINATION**

A.N. Uzbekov, I.N. Sokolova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

This work presents the results of conversion of historical analog seismograms containing records of nuclear explosions to digital ones. Transfer method was developed, data on sources of nuclear explosions and recording stations were collected. More than 2000 archive records were digitized since 1961 till 1985.

УДК 539.17; 539.143/.144

НЕСФЕРИЧНОСТЬ АТОМНЫХ ЯДЕР, ИЗМЕРЕННАЯ МЕТОДОМ ФРЕНЕЛЕВСКОЙ ДИФРАКЦИИ ИОНОВ

Дьячков В.В., Юшков А.В., Алексеенко Г.Г.

Институт ядерной физики НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

Недавно получено теоретическое обоснование для измерения несферичности указанных ядер методом френелевской дифракции по упругому каналу малоуглового рассеяния. В связи с большими сечениями упругого рассеяния в кулоновски освещенной области такой метод является чрезвычайно привлекательным и прецизионным для постановки экспериментов на пучках экзотических радиоактивных и тяжелых ионов.

В настоящей работе описана методика с позиционночувствительными твердотельно трековыми детекторами (ПТТД), направленная на измерения предсказанных френелевских сдвигов фаз на пучках ускорителей У-150М и ДС-60.

Проанализирована вся мировая база данных по упругому рассеянию экзотических тяжелых ионов, в которых проявляется френелевская дифракция ($1\text{--}45^\circ$). Полученные оптимальные параметры теории однозначно показывают, что френелевские сдвиги фаз существуют, а их знаки соответствуют знакам деформации известных ядер. Угловые распределения упругого рассеяния в диапазоне малых углов становятся чувствительными к «эффектам сплюснутости-вытянутости» ядерной поверхности. Таким образом, метод высших приближений по параметру ядерной несферичности является новым эффективным средством измерения ядерной несферичности. Выполнена экстраполяция значений ядерной деформации в области нейтронодефицитных, нейтроноизбыточных и супертяжелых ядер.

Свойства ядер в основном и в нижних возбужденных колективных состояниях, лежащих вдоль дорожки стабильности и вблизи нее, хорошо изучены. Наиболее ярким явлением для этой классической области ядер являются оболочечные эффекты геометрических и квантовых характеристик вблизи магических чисел. Однако свойства нейтроноизбыточных и нейтронодефицитных ядер, а также супертяжелых ядер в направлении к «Острову стабильности» практически неизвестны.

Недавно получено теоретическое обоснование для измерения несферичности указанных ядер методом френелевской дифракции по упругому каналу малоуглового рассеяния [1,2]. В связи с большими сечениями упругого рассеяния в кулоновски освещенной области такой метод является чрезвычайно привлекательным и прецизионным для постановки экспериментов на пучках экзотических радиоактивных и тяжелых ионов.

С помощью специального созданного программно-математического обеспечения проанализирована вся мировая база данных по упругому рассеянию экзотических тяжелых ионов, в которых проявляется френелевская дифракция ($1\text{--}45^\circ$). Полученные оптимальные параметры теории однозначно показывают, что френелевские сдвиги фаз существуют, а их знаки соответствуют знакам деформации известных ядер. Таким образом, метод высших приближений по параметру ядерной несферичности является новым эффективным средством измерения как абсолютной величины ядерной несферичности так и ее знака.

В данной работе развит метод с повышенным угловым разрешением измерений френелевской дифракции радиоактивных пучков на ядрах и использу-

зован для прецизионных измерений размеров ядер, величин и знаков квадрупольной ядерной деформации экзотических ядер. Путем экстраполяции в область нейтронного избытка и в область нейтронного дефицита изучены закономерности убывания периодов полураспада за счет катастрофического развития деформации формы ядер в изотопических цепочках. Путем экстраполяции в область сверхтяжелых ядер изучен феномен «конечности» таблицы Менделеева и его интерпретация за счет катастрофического развития деформации формы тяжелых и сверхтяжелых ядер либо осцилляции формы от сферической до сильно деформированной.

При взаимодействии радиоактивных пучков уско-ренных заряженных экзотических частиц с ядрами при больших параметрах Зоммерфельда по полученным дифференциальным сечениям упругого рассеяния в диапазоне малых углов френелевского типа позволяют с помощью современных теоретических моделей извлечь абсолютные значения квадрупольной ядерной деформации и такую уникальную характеристику как знаки деформации экзотических ядер, в том числе, например, долгоживущих изомеров.

Актуальность исследований обусловлена современной тенденцией в фундаментальной ядерной физике - изучение предельных и экзотических свойств в структуре ядер и механизмах ядерных реакций: открытие и изучение природы ядер с аномально большими радиусами (например, у лития-11); ядер с аномальной функциональной зависимостью энергии связи (например, у сверхтяжелых изотопов гелия); открытие необычных кластерных состояний; обнаружение аномально большой квадрупольной ядерной несферичности. Такие предельные свойства