

# ***Вестник НЯЦ РК***

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

*Издается с января 2000 г.*

**ВЫПУСК 2 «ГЕОФИЗИКА И ПРОБЛЕМЫ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ», ИЮНЬ 2001**

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

**НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ ВЫПУСКА** – д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р., БЕЛЯШОВА Н.Н.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:** д.т.н. АРЗУМАНОВ А.А., к.т.н. АХМЕТОВ М.А.,  
д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К., КОНОВАЛОВ В.Е., д.ф.-м.н. КОСЯК Ю.Г., ПИВОВАРОВ О.С.,  
к.ф.-м.н. СИТНИКОВ А.В., д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Ж.С., д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Н.Ж.

## ***ҚР ҰЯО Жаршысы***

**«ГЕОФИЗИКА ЖӘНЕ ТАРАТПАУ ПРОБЛЕМАЛАРЫ»**

2 ШЫҒАРЫМ, МАУСЫМ, 2001 ЖЫЛ

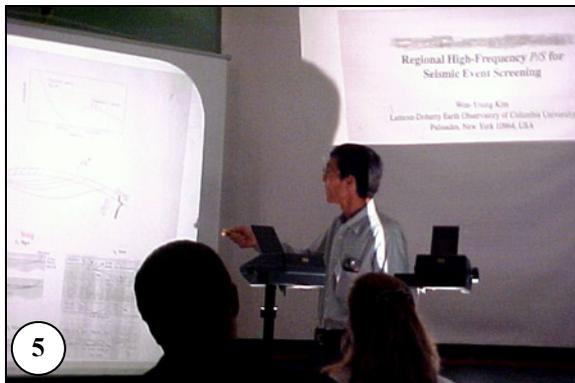
## ***NYC IRK Bulletin***

**«GEOPHYSICS AND NON-PROLIFERATION PROBLEMS»**

ISSUE 2, JUNE 2001



*Основное содержание сборника составляют доклады, представленные на Международной конференции "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий", организованной и проведенной НЯЦ РК 21-25 августа 2000 г. в пос. Боровом, Казахстан.*



1. Старовойт Ю.О., СТВТО  
 3. Михайлова Н.Н., НЯЦ РК  
 5. Won-Young Kim, LDEO, USA  
 7. Из презентации Краева Ю.А., AP WSC

2. Тухватулин Ш.Т., НЯЦ РК  
 4. Paul G. Richards, LDEO, USA  
 6. Овчинников В.М., ИДГ РАН  
 8. Колесников А.П., ССК МО РФ

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА В ПОДДЕРЖКУ ДОГОВОРА О ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕМ ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ</b> .....	5
Тухватулин Ш.Т., Беляшова Н.Н.	
<b>ПРОГРАММА STR В КАЗАХСТАНЕ. РЕЗУЛЬТАТЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ</b> .....	8
Школьник В.С., Тюпкина О.Г.	
<b>ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ «БОРОВОЕ» - ИЗ ПРОШЛОГО В БУДУЩЕЕ (К 40-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ)</b> .....	15
Адушкин В.В., P.Richards, Ан В.А., Ситников А.В.	
<b>КАЗАХСТАНСКИЙ ЦЕНТР СБОРА И ОБРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ: ФУНКЦИИ, ЗАДАЧИ, СИСТЕМА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, БАЗЫ ДАННЫХ</b> .....	21
Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И., Соколова И.Н.	
<b>МОЩНЫЕ ВИБРАТОРЫ В ПРОБЛЕМЕ КАЛИБРОВКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ СЕТИ ISMS</b> .....	27
Алексеев А.С., Глинский Б.М., Еманов А.Ф., Ковалевский В.В., Соловьев В.М., Хайретдинов М.С.	
<b>О РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИИ АППАРАТУРЫ С ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ В ПРАКТИКУ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И КОНТРОЛЯ ЗА ПРОВЕДЕНИЕМ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ</b> .....	33
Башилов И.П., Коновалов В.А.	
<b>МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАРЫХ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЙСМОМЕТРИИ</b> .....	39
Абрамович И.А., Агафонов В.М., Дараган С.К., Козлов В.А., Хараламов А.В.	
<b>ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫБОРУ ПЛОЩАДОК ДЛЯ НОВЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУПП НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА</b> .....	48
Неделков А.И.	
<b>ОБОСНОВАНИЕ АПЕРТУРЫ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ «БОРОВОЕ» НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ</b> .....	55
Синева З.И., Михайлова Н.Н.	
<b>ПЛАН РАЗМЕЩЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕТИ МОНИТОИНГА В КАЗАХСТАНЕ И НА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ</b> .....	60
Paul G. Richards, Won-Young Kim, Vitaly I. Khalturin	
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ, ПРОВЕДЕННЫХ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ, ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ</b> .....	69
Кириченко В.В., Краев Ю.А.	
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГОДОГРАФОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНОК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ В КАЗАХСТАНЕ</b> .....	77
Старовойт О.Е., Габсагарова И.П., Краев Ю.А.	
<b>О НАДЕЖНОСТИ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЯВЛЕНИЯ</b> .....	80
Овчинников В.М.	
<b>О СКАЧКЕ ПЛОТНОСТИ НА ГРАНИЦЕ ВНУТРЕННЕГО ЯДРА ЗЕМЛИ ПО ЗАПИСЯМ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ</b> .....	88
Краснощёков Д.Н., Овчинников В.М.	

---

<b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И МАГНИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ЗАПИСЯМ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ 1997 – 2000 гг. НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ.....</b>	<b>93</b>
Михайлова Н.Н., Германова Т.И., Аристова И.Л.	
<b>ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЕЙСМИЧЕСКОМУ РАСПОЗНАВАНИЮ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПОЛИГОНАХ ИНДИИ И ПАКИСТАНА.....</b>	<b>98</b>
Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н.	
<b>РАСПОЗНАВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА ПОЛИГОНЕ ЛОБНОР.....</b>	<b>104</b>
Антонова Л.В., Аптикаев Ф.Ф.	
<b>НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРУКТУРЕ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В РАЙОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА.....</b>	<b>108</b>
Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.	
<b>ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ОТ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ.....</b>	<b>117</b>
Дробжева Я.В., Краснов В.М., Соколова О.И.	
<b>РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПОДЪЕМА ИОНИЗИРОВАННОГО ОБЛАКА, ВОЗНИКАЮЩЕГО ПРИ ВЫБРОСЕ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА В АТМОСФЕРУ.....</b>	<b>122</b>
Краснов В.М., Николаевский Н.Ф., Ситников А.В., Ситников К.А.	
<b>МОНИТОРИНГ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ.....</b>	<b>129</b>
Григорьев В.А.	
<b>О ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩЕМ ВЛИЯНИИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ПРИ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВАХ.....</b>	<b>132</b>
Политиков М.И., Камберов И.М., <u>Кривченко В.Ф.</u> , Лукашенко С.Н., Солодухин В.П.	
<b>ОБ ОДНОЙ МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ХЛОРА В СУХИХ ЯДЕРНЫХ ПОЛОСТЯХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОСТАТОЧНОГО РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА.....</b>	<b>137</b>
Мурзадилов Т.Д., Беляшов Д.Н., <u>Мохов В.А.</u> , Моренко В.С., Глущенко В.Н.	
<b>ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА «КОШКАР-АТА».....</b>	<b>144</b>
Кадыржанов К.К., Кутербеков К.А., Лукашенко С.Н., Мелентьев М.И., Стромов В.М., Шайторов В.Н.	

---

УДК 623.454: 327.37(574)

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА В ПОДДЕРЖКУ  
ДОГОВОРА О ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕМ ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**<sup>1)</sup>Тухватулин Ш.Т., <sup>2)</sup>Беляшова Н.Н.<sup>1)</sup>Национальный ядерный центр РК<sup>2)</sup>Институт геофизических исследований НЯЦ РК

Дается обзор политических, правовых и технических аспектов деятельности НЯЦ РК по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Характеризуются национальные технические программы по контролю ДВЗЯИ и гражданскому применению технологий контроля.

24 сентября 1996 года открыт для подписания принятый на 50 сессии Генеральной Ассамблеи ООН Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). На 01 июня 2001 г. Договор подписан 160 странами, 76 из которых его ратифицировали. Республика Казахстан ДВЗЯИ подписала 30 сентября 1996 г. и с этого времени проводит работы по созданию и развитию политических, правовых и технических основ для осуществления международного сотрудничества в целях данного Договора.

Политические возможности международного сотрудничества Республики Казахстан к настоящему времени определены и весьма широки. Республика объявила себя безъядерным государством, первой в мире закрыла ядерный полигон, ратифицировала ДНЯО, стала членом МАГАТЭ и поставила свои ядерные объекты под гарантии МАГАТЭ. После подписания ДВЗЯИ подготовлены и переданы в Парламент Республики Казахстан документы, необходимые для ратификации Договора. Слушания по данному вопросу планируются во второй половине 2001 г. В целом к настоящему времени имеются все основные предпосылки для сотрудничества Республики Казахстана в рамках ДВЗЯИ на различных уровнях – национальном, региональном, глобальном.

Подписание ДВЗЯИ создало *правовую основу* для международного сотрудничества в целях ДВЗЯИ. На основе модели, предложенный Временным Техническим Секретариатом (ВТС) Организации ДВЗЯИ готовится проект Соглашения между ВТС и Республикой Казахстан, наиболее полно учитывающий законы РК. До его подписания Казахстан активно участвует в выполнении программ национального и регионального уровня на основе ведомственных контрактов с ВТС. Однако подписание Соглашения будет способствовать значительному улучшению правовых основ содействия Договору. В целях ДВЗЯИ в Казахстане развиваются также и двусторонние отношения с другими государствами и организациями. Так, с США подписано межправительственное соглашение об установке и эксплуатации в Казахстане сейсмических станций для наблюдения за ядерными взрывами. Установлено и успешно осуществляется тесное сотрудничество с

Центром данных НОРСАР (Норвегия), несмотря на отсутствие формального Соглашения между Казахстаном и Норвегией.

Практическое осуществление комплекса мер в рамках ДВЗЯИ поручено Национальному ядерному центру Республики Казахстан. Помимо участия в подготовке и обеспечении политических и правовых возможностей международного сотрудничества, в течение 1996-2001 гг. Национальный ядерный центр РК успешно осуществлял такие серьезные национальные технические программы в связи с ДВЗЯИ, как:

- восстановление, модернизация, строительство и эксплуатация геофизических станций казахстанской сети мониторинга в составе Международной системы мониторинга (МСМ);
- создание Центра сбора и обработки сейсмических данных, выполняющего функции Национального Центра данных по отношению к МСМ.

Казахстанские станции («Боровое», «Курчатов», «Маканчи») широко известны в мире уникальными условиями регистрации сигналов. Они были созданы в советское время специально для проведения контроля за ядерными испытаниями. Сейчас эти станции восстановлены, оснащены средствами цифровой регистрации и системами для передачи данных в Центр данных.

По предложению РК в 1996 г. казахстанские станции – четыре сейсмологические (среди других 170) и одна инфразвуковая (среди других 60), включены в состав Международной Системы Мониторинга, учрежденной для контроля ядерных испытаний в рамках ДВЗЯИ. При взаимодействии с ВТС и США была построена и в 2000 г. введена в эксплуатацию первая в Казахстане сейсмологическая группа Международной системы мониторинга ДВЗЯИ – PS023 «Маканчи». Завершены проекты и начато строительство в составе МСМ новой сейсмологической группы AS057 «Боровое» и инфразвуковой группы IS031 «Актюбинск». По Соглашению с США строится сейсмологическая группа в южном Казахстане – «Каратау». В настоящее время в составе казахстанской системы геофизического мониторинга функционируют 5 сейсмологических и 2 инфразвуковые группы. Кроме того, вблизи г. Алматы

установлены и ведут регистрацию две трехкомпонентные сейсмические станции «Талгар» и «Подгорное». Опыт казахстанских специалистов в создании новых станций значителен и включает разработку проекта, проведение геологического обследования площадок под строительство, изучение шумов и обоснование на основе их анализа оптимальной конфигурации сейсмической группы, участие в установке оборудования и эксплуатацию станции.

Центр сбора и обработки данных, создан в 1999 г. По проекту, согласованному с ВТС ОДВЗЯИ, здесь создается телекоммуникационная система, которая обеспечивает сбор информации, получаемой сейсмическими станциями на территории Казахстана, по спутниковым каналам и их передачу в Международные центры (IDC, IRIS/DMC, AFTAC). Созданы базы исходных сейсмических записей землетрясений, ядерных и химических взрывов, проведенных на территориях Казахстана и других стран мира, начиная с 1994 г., в форматах, унифицированных с форматами мировых Центров данных. Разработана технология создания и впервые начат выпуск казахстанского сейсмологического бюллетеня. Ведутся исследования по повышению достоверности выявления, идентификации и характеристики регистрируемых событий.

Все технические программы осуществляются с участием международных организаций и национальных ведомств других стран - обсерватории Ламонт Колумбийского Университета, консорциума IRIS, ВТС СТВО, AFTAC, МНТЦ, NORSAR и др. Участие зарубежных и отечественных исследователей позволяет сопровождать создание сети станций и Центра сбора и обработки данных проведением наиболее актуальных исследований для ДВЗЯИ. К ним относятся:

- совершенствование работы и прозрачности технической системы мониторинга на основе регистрации калибровочных взрывов, проведенных в 1997-2000 гг на территории Семипалатинского испытательного полигона;
- развитие плана экспериментов и методов проведения инспекции на месте (ИНМ);
- обучение специалистов методам ведения мониторинга.

Мощные химические взрывы для целей калибровки станций проведены на 2 участках Семипалатинского испытательного полигона – Балапан и Дегелен, в процессе выполнения пятилетней программы ликвидации ядерной инфраструктуры - СТР. В 1997 г. проведена серия разноглубинных 25-тонных взрывов в скважинах участка Балапан (серия экспериментов "DOB") и регистрация сейсмических полей стационарными и передвижными станциями. В 1998-2000 гг. проведены три 100-тонных взрыва в штольнях, ранее предназначенных для ядерных испытаний (серия экспериментов "Омега") и регистра-

ция полей стационарными станциями, локальной и региональной сетью передвижных станций.

Получены интересные результаты по скоростным характеристикам различных трасс распространения сейсмических волн, по затуханию сейсмических волн в геологической среде, прежде всего, в местах проведения взрывов. Опыт проведения калибровочных работ в Казахстане позволит разработать новые проекты для калибровки станций МСМ с одновременным проведением испытания новых технологий мониторинга, новых методических и программных средств, способствующих повышению эффективности ДВЗЯИ.

Республика Казахстан сотрудничает с ОДВЗЯИ в развитии плана экспериментов по ИНМ, приняв на себя исполнение роли инспектируемого государства и поддержку полевой группы инспекторов в начальный период деятельности ИНМ. По приглашению Республики Казахстан на Семипалатинском испытательном полигоне во время калибровочного взрыва «Омега-2» успешно проведены первые учения Инспекции на Месте с участием 12 представителей стран - Китая, Франции, Израиля, России, Великобритании, США, Казахстана и Временного Технического Секретариата (ОДВЗЯИ). Уроки, полученные во время проведения учения, стали основой для разработки Оперативного руководства по Инспекции на месте, а также для усовершенствования Программ тренировочных курсов, будущих полевых экспериментов и оперативных проверок.

Независимо от программ ОДВЗЯИ, в Казахстане в течение ряда лет выполнялись самостоятельные работы по изучению влияния ядерных взрывов на горные породы блоков земной коры: на Семипалатинском испытательном полигоне, на объектах проведения мирных ядерных взрывов (Лира, Азгир, Галит). Имеются материалы (геологические, сейсмические, магнитные, электрометрические), полученные до и после проведения ядерных взрывов на одних и тех же площадках, которые позволяют изучить характер и численно оценить изменение геофизических параметров геологической среды под воздействием ядерных взрывов. Если эти данные дополнить современными геофизическими и другими необходимыми измерениями, будет получена бесценная основа для развития методов Инспекции на месте.

В 1998 г. в Казахстане проведен вводный курс обучения специалистов 13 стран Центральной, Средней Азии и Ближнего Востока по методам мониторинга ядерных взрывов (сейсмического, радионуклидного, гидроакустического, инфразвукового). В течение 1998-2000 гг казахстанские специалисты прошли обучение на региональных курсах ОДВЗЯИ.

Создание в Казахстане технической основы для мониторинга ДВЗЯИ позволяет решать также ряд других важных национальных задач:

- обеспечение национальной безопасности;
- оценка сейсмической опасности и исследования в помощь прогнозу землетрясений;
- сейсмоакустический мониторинг сейсмогенных катастроф;
- изучение глубинного строения земной коры, верхней и нижней мантии и литосферы, а также решение других научно-исследовательских задач.

Территории Казахстана и других стран в пределах Тяньшаньского, Алтае-Саянского пояса в значительной своей части сейсмически активны. Сеть станций Национального ядерного центра, регистрирующая сейсмические события на всей территории Республики и за ее пределами, позволяет решать задачи мирной сейсмологии. В интересах Казахстана, как и в национальных интересах других, стран необходимо использовать станции МСМ при составлении сейсмологических бюллетеней своей территории. Однако здесь необходима помощь в получении данных из других стран со станций МСМ, получении результатов обработки данных - годовых, станционных поправок, другой дополнительной информации, которой располагает Международный центр данных.

Перспективной может быть организация мониторинга сейсмической ситуации на основе централизованной обработки данных пограничными странами, кооперативное создание сейсмологического бюллетеня Центральной Азии и прилегающих районов, развитие методов прогнозирования опасного состояния отдельных блоков земной коры. Совместные работы со странами одного региона по анализу регистрируемых событий послужат повышению достоверности прогноза сейсмической опасности и улучшению системы реагирования на изменяющиеся сейсмические условия.

Для реализации поставленных задач Казахстану потребуются дальнейшее улучшение технической и методической базы Национальной системы мониторинга (НСМ), повышение квалификации персонала Национального центра данных и станций Национальной системы мониторинга, что будет очень затруднительно без тесной кооперации и помощи Временного технического секретариата Подготовительной комиссии ОДВЗЯИ, Центров данных и организаций других стран, имеющих большой опыт в этих вопросах.

## ЯДРОЛЫҚ СЫНАУЛАРҒА БӘРІН СЫЙДЫРАТЫН ТЫЙМ САЛУ ТУРАЛЫ ШАРТТЫ ҚОЛДАУЫНА ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒНЫҢ ҚЫЗМЕТІ

<sup>1</sup>Ш.Т. Тухватулин, <sup>2</sup>Н.Н. Беляшова

<sup>1</sup>ҚР Ұлттық ядролық орталығы

<sup>2</sup>ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты

Ядролық сынауларға бәрін сыйдыратын тийім салу туралы Шарты (ЯСБТШ) бойынша Қазақстан қызметінің саяси, құқықтық және техникалық аспектілерінің шолуы берілген. ЯСБТШ бақылауы және бақылау технологияларының азаматтық қолдануы бойынша ұлттық техникалық бағдарламалары сипатталады.

## NATIONAL NUCLEAR CENTER ACTIVITY IN SUPPORT OF A COMPREHENSIVE NUCLEAR TEST BAN TREATY

<sup>1</sup>Sh.T. Tukhvatulin., <sup>2</sup>N.N. Belyashova

<sup>1</sup>National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>Institute of Geophysical Research NNC RK

This paper reviews political, legal, and technical aspects of Kazakhstan's activity under the Treaty. The paper characterizes national technical programs concerning Treaty verification and the civil application of verification techniques.

УДК 623.454:327.55(574/73)

**ПРОГРАММА СТР В КАЗАХСТАНЕ. РЕЗУЛЬТАТЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ**

Школьник В.С., Тюпкина О.Г.

*Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан*

В течение пятилетнего периода, с 1995 г. по 2000 г., в Казахстане выполнялась американо-казахстанская «Программа по снижению совместной угрозы (СТР)». История Программы, ее нормативно-правовые документы, механизмы сотрудничества, характеристика основных проектов Программы СТР, перспективы и проблемы СТР составляют содержание публикации.

**ВВЕДЕНИЕ**

После распада СССР политическая, социальная и экономическая нестабильность образовавшихся государств не позволяла должным образом обеспечить безопасность арсеналов ядерного и других видов оружия массового поражения. Кроме того, появилась опасность использования бывших военных технологий, опыта и знаний террористическими группировками и странами, стремящимися к обладанию оружием массового поражения.

В 1992 г. по инициативе сенаторов С. Нанна и Р. Лугара Соединенными Штатами Америки была принята программа, получившая первоначально название «Программы Нанна-Лугара» и переименованная впоследствии (1995 г.) в «Программу по снижению совместной угрозы (СТР)». Программа СТР направлена на развитие сотрудничества в области конверсии оборонных предприятий и поддержки режимов нераспространения в странах СНГ. По официальным данным с 1992 г. по 1995 г. конгресс США выделил Министерству обороны США 1,6 млрд. долл. на реализацию данной программы. В последующие годы программа СТР продолжает получать финансирование от конгресса США. По заявлению Заместителя Министра энергетики США Роуз Готтемюллер, сделанному в январе 2000 г., США, начиная с 1993 г, вкладывают в Казахстанские программы ежегодно около 50 млн. долларов. В ближайшие годы США намерены сохранить объем финансирования СТР по Казахстану.

**МЕХАНИЗМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА**

Конверсия как перевод оборонного производства, военной продукции и услуг на гражданские нужды подразумевает взаимодействие экономических, политических, военных, общественных и исторических факторов. Международное сотрудничество между США и странами СНГ в области конверсии явилось беспрецедентным, совершенно новым направлением развития взаимоотношений между этими странами. Ранее партнеры не имели опыта такого сотрудничества. В связи с этим реализация СТР потребовала разработки новых механизмов и структур, осуществляющих многоэтапные процедуры согласований и консультаций на правительственном уровне, заключения двусторонних соглашений и

контрактов, совместных усилий в сфере услуг, поставок оборудования и материалов, обучения.

Программа СТР состоит из отдельных проектов, основанных на двусторонних соглашениях. Для их реализации используется трехуровневая схема. Первым уровнем является достижение договоренностей на Правительственном уровне (договора, соглашения), регламентирующих общие вопросы сотрудничества и обязательства Сторон. На втором уровне заключаются исполнительные соглашения между ведомствами стран. Исполнительные соглашения, как правило, определяют область сотрудничества, взаимные обязательства участников по поставкам оборудования и другим материальным средствам, источники и механизмы финансирования. Реализация договоренностей, достигнутых на предыдущих стадиях, осуществляется в виде контрактов между организациями, назначенными исполнителями работ.

Большинство бывших военных объектов на территории Казахстана являются потенциально опасными для окружающей среды и населения с точки зрения радиационной, биохимической и технической безопасности и не подлежат использованию в народно-хозяйственных целях. В связи с этим, в рамках СТР принят ряд проектов, позволяющих снизить или ликвидировать опасности, вызванные наличием этих объектов в Республике Казахстан.

Однако конверсионные проекты составляют только часть общей Программы СТР. Под эгидой Программы и фондов СТР действуют Частная Зарубежная Инвестиционная Корпорация, Специальная американская программа делового международного обучения - SABIT, экспортно - импортный банк США - Eximbank, Американское Агентство торговли и развития, Корпус Мира, имеющие свои программы и проекты, не отраженные в настоящем докладе.

В соответствии с целями, определенными правительствами сотрудничающих стран в области конверсии, проекты СТР могут быть разделены на три категории:

- Разоружение и уничтожение оружия массового поражения. Проекты данной группы помогают уничтожить стратегические ядерные ракеты, пусковые установки, жидкое и твердое ракетное топливо, ликвидировать инфраструктуры, предна-

значавшиеся для ядерных испытаний и производства биологического оружия.

- Контроль использования ядерного оружия и ядерных материалов. Эта деятельность становится особенно актуальной в связи с Договором о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) и имеет хорошую перспективу для развития сотрудничества в рамках СТР.
- Конверсия оборонной промышленности и научно-технологических комплексов бывших военных предприятий. Проекты данного направления способствуют демилитаризации и развитию экономики, обеспечивают работой ученых и специалистов, ранее занятых в производстве вооружения.

В Казахстане выполняются проекты по тематике всех перечисленных категорий, при этом, деятельность СТР регламентируется соглашениями Правительственного и ведомственного уровней.

В сфере промышленных технологий сотрудничество между Казахстаном и США можно поставить на первое место по объемам совместно выполненных программ, уровню финансирования и перечню направлений сотрудничества. Среди многих перспективных и актуальных для Казахстана направлений сотрудничества особое место занимает внедрение новых технологий в индустрию, конверсионные проекты и программы. В настоящем докладе приведены лишь некоторые из них.

#### **РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЕ ДОКУМЕНТЫ (СОГЛАШЕНИЯ). СОВМЕСТНАЯ АМЕРИКАНО-КАЗАХСТАНСКАЯ КОМИССИЯ**

Перечень основных соглашений различного уровня, регламентирующих сотрудничество в рамках СТР, включает более десятка наименований - основополагающие и по различным видам деятельности. Основным органом, координирующим сотрудничество между Соединенными Штатами Америки и Республикой Казахстан в рамках СТР, является Совместная американо-казахстанская Комиссия. Президент Казахстана Назарбаев Н.А. и вице-Президент США А. Гор являются сопредседателями данной Комиссии. Заседания Комиссии проводятся попеременно в Казахстане и Соединенных Штатах. Первое заседание Комиссии состоялось в ноябре 1994 г. в г. Алматы. В декабре 1999 г. в Вашингтоне прошло очередное 6-ое заседание Комиссии. Комиссия выполняет функции контроля и корректировки хода реализации сотрудничества в целом и действующих проектов СТР, проводит качественные оценки возможности реализации новых проектов, рассматривает проблемы и перспективы развития сотрудничества; принимает решения по основополагающим вопросам сотрудничества, включая подписание соответствующих двусторонних соглашений. Совместная американо-казахстанская Комиссия имеет в своей структуре рабочие группы - по оборонному сотрудничеству и конверсии оборонных предприятий; экономике, тор-

говле и содействию; экологии, науке и технологиям. Рабочие группы Комиссии, выполняя функции, изложенные выше, осуществляют координацию сотрудничества между соответствующими структурами США и Казахстана.

#### **ПРОЕКТЫ СТР 1993 - 2000 гг.**

По конкретным направлениям деятельности проекты разбиты на 5 категорий: первые две включают проекты, подпадающие под ликвидацию инфраструктуры; третью составляют проекты ликвидации вооружений, в четвертую включены проекты, касающиеся обращения с ядерными материалами, пятая группа объединяет краткосрочные проекты, не подпадающие ни под одну из перечисленных выше категорий. Уровень сотрудничества сохраняется на более или менее постоянной основе. Если в первые годы превалирует решение чисто военных задач, то позднее все больший уклон приобретают задачи творческого (экспериментального) плана и новые направления деятельности в области биохимии. Такая переориентация совершенно логична. Она подчиняется принципу «избавиться от наибольшей опасности». Новые направления деятельности включаются в эту схему по мере готовности. Последнее подразумевает согласование вопросов обращения с «чувствительной» информацией и объектами, подписание соответствующих соглашений, разработку проектов, формирование совместных технических команд и другие рабочие аспекты совместной деятельности, необходимые для реализации проектов СТР. Поэтому в 1994-1997 гг. СТР занимается ликвидацией вооружений, 1996-1998 гг. - пик для проектов по ликвидации инфраструктуры вооружений и защиты ядерных материалов, с 1997г. года все большее значение приобретает контроль за ядерными материалами, калибровочные эксперименты, ликвидация последствий военной деятельности в области биотехнологий. Следует обратить внимание на небольшой, в масштабах приведенного графика, «всплеск» активности в области биологических проектов. Он обусловлен новыми проектами СТР по усилению систем защиты биологических материалов. Это прямое следствие решений, принятых на последнем заседании Совместной Комиссии об активизации деятельности СТР по учету, контролю и физической защите биологических материалов двойного назначения.

#### **КОНВЕРСИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА (СИП)**

Казахстан заинтересован в переориентации бывших военных комплексов на мирную деятельность. Сейчас СИП все больше становится международным мирным полигоном, «нейтральной полосой» решения «чувствительных» вопросов деятельности ядерных стран в области нераспространения, предлагая участие или присутствие наблюдателей от различных стран в экспериментах и программах,

проводимых на его территории. Проекты СТР, выполняемые на СИП, решают задачи закрытия туннелей Дегелена (181), ликвидации боевых скважин Балапана (13), развитие сейсмологических методов контроля за ядерными испытаниями.

#### **ЛИКВИДАЦИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИП**

На территорию Казахстана с 1949 по 1989 гг. приходится около 70 % ядерных испытаний, проведенных в бывшем СССР. Большая часть из них, включая 113 воздушных и наземных взрывов, была проведена на СИП. Здесь испытывались первая в СССР атомная (1949 г.) и первая в мире водородная (1953 г.) бомбы. В 1991 г. Указом Президента Республики Казахстан Семипалатинский полигон был закрыт. В 1993-1994 гг. при активном содействии МАГАТЭ и США проведено обследование территории СИП на радиационное загрязнение. В результате удалось получить достаточно ясную картину загрязненности Полигона в целом и выделить на его территории участки повышенной радиационной опасности. Начиная с марта 1994 г. ведется планомерная работа по ликвидации наиболее опасных участков СИП - мест, в которых проводились подземные испытания ядерного оружия. Российские специалисты принимают активное участие в проведении этих работ.

#### **ЛИКВИДАЦИЯ ШАХТНЫХ ПУСКОВЫХ УСТАНОВОК**

Начиная с 1994 г. в местах расположения шахтных пусковых установок межконтинентальных баллистических ракет (ШПУ) проводился комплекс работ, включающий химическую и аналитическую оценки типов и уровня загрязненности, ликвидацию инфраструктуры ШПУ, рекультивацию площадок до состояния, рекомендованного международными и национальными стандартами для земель хозяйственного использования. Весь комплекс работ завершен в 1998 г. Для ШПУ, расположенных на территории СИП, весь комплекс работ осуществлялся специалистами НЯЦ РК.

#### **КОНТРОЛЬ ЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ И ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Геосейсмический мониторинг.* Заключение ДВЗЯИ поставило вопрос о необходимости полного отказа от ядерного оружия. Это обуславливает интерес мирового сообщества к развитию методик контроля ДВЗЯИ, необходимости глобального мониторинга ядерных взрывов. Вместе с тем, проекты этого направления имеют не менее важную мирную значимость, поскольку создают инструментальную и технологическую базу для оценки сейсмической опасности; прогнозирования землетрясений и их последствий; предупреждения стихийных бедствий и ликвидации их последствий.

*Развитие и демонстрация методик контроля за проведением ядерных испытаний в рамках ДВЗЯИ.* Деятельность осуществлялась посредством проведения калибровочных взрывов химических ВВ мощностью от единиц до 100 тонн в скважинах на площадке Балапан и в штольнях горного массива «Дегелен» на Семипалатинском испытательном полигоне. Эти эксперименты были начаты в 1998 г. Мы являлись участниками и свидетелями очередного калибровочного эксперимента Омега-3, имеющего двуединую задачу. Его проведение завершает программу консервации штолен СИП и отработку методик контроля ДВЗЯИ. По своему историческому значению совместные верификационные эксперименты являются уникальным событием и стоят в одном ряду с основными событиями, позволившими обуздать гонку вооружений 80-х годов. Принятие Договора о нераспространении ядерного оружия, заключение Договора о запрещении испытаний в трех средах. Договоры СНВ1 и СНВ2 потребовали отработки методов контроля за проведением ядерных испытаний. Так называемые, «калибровочные» эксперименты, в которых участвовали ядерщики бывшего Советского Союза и США, проведенные в августе 1988 г. на территориях двух полигонов - Семипалатинском и Невадском, позволили отработать процедуры и меры контроля за ядерными подземными взрывами. Недавно исполнилось 10-лет со времени проведения первого совместного эксперимента по контролю за ядерными взрывами (СЭК) на Семипалатинском и Невадском полигонах в 1988 г. Проведение второго эксперимента подобного рода в 1998 г. на Семипалатинском полигоне, это не дань истории, а историческая неизбежность, обусловленная реалиями сегодняшнего дня.

*Совместная казахстанско - американская программа по демонтажу инфраструктуры,* предназначенной для производства биологического оружия, стартовала в 1996 г. К настоящему времени организована биохимическая лаборатория, обследованы помещения, оборудование и другие объекты демонтажа, завершен демонтаж основного оборудования. Обсужден и принят к реализации последующий этап программы по демонтажу вспомогательного оборудования.

В середине 2000 г. стартовал новый проект СТР по усилению биологической и физической защиты коллекций биологических материалов. Основные казахстанские участники данного проекта - Научно-исследовательский сельско - хозяйственный институт (п. Отар) и Казахский исследовательский противочумный институт (г. Алматы) прилагают значительные усилия, чтобы обеспечить успешную реализацию этого проекта.

*Миссия AMPS* - это миссия, демонстрирующая возможности американской технологии дистанционного зондирования поверхности Земли. Технология включает использование системы уникальных средств измерения, размещенных на борту самолета.

В 1996 г. Департамент энергетики США предложил Казахстану первое применение авиационной мультисенсорной системы (AMPS) для сбора данных за пределами США. Новые коммерческие технологии включают двустороннюю программу сбора и обработки информации.

Совместные технические команды в период 19 июня - 4 июля 1997 г. выполняли программу AMPS, включающую проведение полетов, измерения, предварительную обработку результатов, маркетинг, техническое сопровождение и др. Информация, полученная в ходе исполнения миссии, передана казахстанской стороне безвозмездно. Основными задачами миссии являлись:

- сбор, обработка и анализ информации, полученной с использованием многоканальной системы датчиков, установленных на борту самолета;
- оценка возможностей использования технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в различных отраслях хозяйства Республики Казахстан;
- проведение апробации американской технологии ДЗЗ в Казахстане;
- создание Центра компьютерной обработки данных ДЗЗ;
- обучение казахстанских специалистов компьютерным методикам обработки первичных данных ДЗЗ;

Правительство США затратило более 4 млн. долларов на демонстрацию возможностей технологии дистанционного зондирования в Республике Казахстан. Участники от США финансировали проведение экспериментов, включающих использование систем мультисенсорных датчиков, расположенных на борту самолетов; доставку и использование оборудования, включая обслуживание самолетов; 2-х компьютеров, поставленных для казахстанского Центра обработки данных ДЗЗ; поставку программного обеспечения.

В результате проведения миссии AMPS в Казахстане получены уникальные данные, позволяющие провести:

- анализ земельного покрова в районе р. Чарын Заилийской котловины и полигона Аксу;
- контроль за нераспространением в районе Дегелена (СИП);
- городское планирование г. Семипалатинска;
- проверку геологической концепции по прогнозируемым запасам полезных ископаемых на лицензионных территориях "Балхаш" в районах месторождений "Пустынное" и опорного профиля между месторождениями "Музбель" и "Шолкызал";
- поиск полезных ископаемых на территории СИП;
- проектирование железнодорожной ветки между месторождением угля "Каражыра" и станцией "Талды";

- проверку геологической концепции по прогнозируемым запасам полезных ископаемых на лицензионных территориях "Балхаш" в районе Маныральская площадь.

В течение 1998-1999 гг. продолжалось обучение казахстанских участников Миссии компьютерным методикам обработки результатов наблюдений. Специалисты казахстанских предприятий и Национальных лабораторий США проводили первичную обработку полученной информации. Мы надеемся на продолжение этих работ в области геологических изысканий и решения прикладных задач, связанных с поиском и добычей полезных ископаемых.

Активно развивалось *сотрудничество* между учеными Республики Казахстана и США в рамках *международных фондов*. В частности, в 1995 г. Республика Казахстан вступила в члены Международного научно - технического центра (МНТЦ) и открыла у себя его представительство. МНТЦ финансирует в Казахстане исследования по экологическим проблемам, повышению безопасности ядерных установок, созданию систем контроля за обращением с ядерными материалами, за проведением ядерных испытаний и другие. За время работы МНТЦ в Казахстане казахстанские организации получили финансирование на сумму превышающую 15 млн. долларов.

#### **КОНВЕРСИЯ ОБОРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ БЫВШИХ ВОЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Основной целью конверсионных проектов является демилитаризация промышленности, развитие национальной экономики, обеспечение занятости ученых и специалистов, задействованных ранее в производстве вооружения. Совместный проект по созданию конверсионных предприятий (1993 г.) был первым проектом Программы СТР. После подписания основополагающих документов, в марте 1994 г. состоялась открытая встреча казахстанского и американского комитетов по оборонной конверсии. На этой встрече Стороны договорились выделить по 15 млн. долларов на развитие промышленного сотрудничества. Далее был проведен конкурс по отбору партнеров с обеих Сторон, в результате которого 4 казахстанских предприятия - АО «Биомедпрепарат» Национального центра по биотехнологии, Национальный ядерный центр РК, завод «Гидромаш» и Казинформтелеком, - получили возможность организовать совместные предприятия при значительной финансовой поддержке США. Казахские участники в качестве учредительного взноса предоставили производственные помещения, рабочую силу, производственные мощности.

«Белкамит». В 1995 г. при финансовой поддержке США (около 6,2 млн. долларов) бывший оборонный завод «Гидромаш» преобразован в совместное казахстанско - американско - итальянское производство «Белкамит». Инвестиции США из

фонда Нанна - Лугара составили половину средств, внесенных американскими участниками. Теперь это предприятие входит в международную группу компаний «BSI-SUPCO», имеющую 50-тилетний опыт и высокий мировой рейтинг среди предприятий по строительству и организации производств в области нефтехимии, электроэнергетики, водоочистки, хранения и транспортировки криогенных жидкостей. В настоящее время «Белкамит» имеет сертификаты Европейских стандартов. Он является единственным в Казахстане предприятием, имеющим сертификат ISO 9001, свидетельствующий о конкурентной способности криогенного оборудования предприятия на мировом рынке. Завод выпускает широкий спектр сосудов для нефтяной и химической промышленности, включая реакторы, колонны и теплообменники. «Белкамит» производит вертикальные танки для хранения криогенных газов, криогенные вентили, предохранительные вентили и емкости для ядерных отходов. В 1998 - 1999 годах «Белкамит» осваивает производство специальных изо-контейнеров для транспортировки криогенных жидкостей, сжиженных и сжатых газов.

«Белкамит» является уникальным предприятием западного типа в Казахстане, производящим промышленную продукцию для любых отраслей, заинтересованных в услугах по машиностроительному проектированию, производству и строительству.

*Совместное казахстанско-американское предприятие «Нурсат»* (в уставной фонд которого вошли около 5 млн. долларов из фонда Нанна - Лугара) создано в 1995 г. на базе комплекса Казинформтелеком. Сегодня это предприятие является одним из крупнейших в Казахстане по спутниковой сети телекоммуникаций.

Предприятие имеет спутниковую сеть с собственным Центром Управления (HUB) в г. Алматы, работающую через геостационарный спутник Intelsat 703. Телекоммуникационные узлы сети расположены в городах Алматы, Актюбинск, Сары-Шаган, Шымкент, Тараз, Караганда, Павлодар, Ақмол, Ақтау, Уральск и областных центрах Казахстана. «Нурсат» предлагает:

- доступ к информационным сетям Internet, Infotel, Sprint;
- использование протоколов IP, IPX, X.25, Apple Talk, Frame Relay;
- спутниковые "прозрачные" каналы;
- международную спутниковую телефонную и телефаксную связь;
- междугородную транзитную телефонную связь с созданием корпоративных телефонных сетей;
- видеоконференции;
- передачу телевизионных программ.

Сеть «Нурсат» построена на основе собственных цифровых спутниковых каналов и реализует самые современные технологии.

*Казахстанско-американское предприятие «КК Интерконнект»*, получившее содействие из фонда Нанна - Лугара около 3,8 млн. долларов, организовано с целью создания производства печатных плат на базе инженерно - технического комплекса Семипалатинского испытательного полигона. Это предприятие быстро стало многофункциональным в области производства электронной продукции бытового назначения. Сейчас оно является одним из немногих казахстанских предприятий, занимающихся производством персональных ЭВМ, высокотехнологичным предприятием по выпуску печатных плат и сборке электронных компонент. Выполняя Программу Правительства Республики Казахстан по информатизации системы среднего образования РК, СП «КК Интерконнект» наладил производство компьютерных комплектующих, освоил выпуск видео- и звуковых карт, внутреннего модема для персональных компьютеров. Помимо этого, в СП «ККИнтерконнект» освоено производство печатных плат для телевизоров, установлены связи с компаниями DAEWOO Electronics и «Фотон» в Узбекистане и начато их производство. В соответствии с Законом Республики Казахстан «О языках» создано производство нового продукта - системы обеспечения синхронного перевода при проведении совещаний, конференций и деловых переговоров одновременно на трех языках, не требующей специально оборудованных помещений.

Есть и другие примеры, позволяющие утверждать, что ученые - оборонщики создали в Казахстане высокотехнологические производства, способные выпускать электронику, промышленное оборудование, медицинские препараты и многое другое.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ СТР

Для РК и США бесспорна взаимная полезность и экономическая выгода развития сотрудничества в рамках СТР. По словам бывшего Министра обороны США У. Перри, СТР является «обороной другими средствами». Во времена холодной войны США и СССР затратили триллионы долларов, чтобы обеспечить национальную безопасность посредством гонки вооружений. СТР работает с гораздо меньшими суммами, но с большим эффектом.

В силу исторически сложившихся экономических, геополитических, социальных и других условий, Казахстан обладает запасами ядерных материалов и материалов двойного назначения, предприятиями по их добыче и переработке, научно-техническими комплексами бывших оборонных предприятий. Их разумное использование является одним из путей выхода Республики Казахстан в «класс» высокоразвитых, экономически процветающих государств. Вместе с тем, решение такой задачи возможно, если приоритет отдается программам развития производственной и технологической базы, средств связи и коммуникаций, энергети-

ки и информационных систем, а не ограничивается использованием имеющихся дешевых человеческих ресурсов. Применительно к СТР это означает, что, чем больше «умов» будет задействовано в проекте СТР, тем более важен (выгоден) он для Республики. Программа СТР дала толчок и способствовала реализации многих проектов, жизненно важных для нашего Государства. Проанализируем ее еще раз с точки зрения использования «умов» и «рук. Первые проекты СТР - это проекты «рук». В 1995-1996 гг. появляется вклад «умов» в виде создания стационарных и передвижных лабораторий по проведению обследований, отработки методик контроля за ядерными испытаниями, создания новых производств, демонстрации новых технологий зондирования поверхности Земли и т.д. Именно такие многоцелевые проекты имеют хорошую перспективу развития. Эта перспектива, прежде всего, связана с Договором СТБТ и обсуждением мер превентивного контроля за его соблюдением. Принимая во внимание положительный опыт СТР, можно надеяться, что в будущем данная программа позволит модифицировать систему безопасности, учета и контроля биохимических материалов двойного назначения; решить ряд проблем по несанкционированному обращению с отходами военной деятельности, оставшимися в местах проведения ядерных испытаний и разработок биологического оружия. Принимая во внимание существующий мировой опыт, можно ожидать, что нелегальные пути и способы перемещения идентичны для различных опасных материалов. Это означает, что криминальные группировки вчера могли заниматься поставкой ядерных или биологических агентов для террористических целей, а завтра будут заниматься распространением наркотиков (или наоборот). С этой точки зрения, используя базу СТР, целесообразно создавать международные центры и лаборатории, имеющие целью выявить наиболее вероятные способы и пути распространения опасных материалов; разрабатывать методики мониторинга их нераспространения; способствовать повышению квалификации сотрудников служб контроля и оперативного реагирования.

Трансформация бывших военных городов может идти по пути создания национальных лабораторий, совместных производств и международных подразделений по реагированию на чрезвычайные ситуации и отработке новых методик контроля за нераспространением.

### ПРОБЛЕМЫ СТР

Основные проблемы СТР можно назвать проблемами роста:

- *Документальная база (регламентирующие документы).* Инициация новых направлений деятельности требует введения поправок в соответствующие исполнительные соглашения. Этот процесс предполагает определенные бюрократические процедуры, что, как правило, занимает

длительное время. Основным вопросом, который необходимо решить в ближайшее время, является продление срока действия рамочного соглашения СТР, принятого в 1993 г.

- *Информационная поддержка.* Большинство проектов СТР имеет дело с объектами и информацией, имеющими «чувствительный» характер с позиции обеспечения безопасности работ. Например, это относится к информации, касающейся мест хранения взрывчатых веществ, сроков и путей их доставки. При работе с особо опасными радиоактивными, биологическими и химическими материалами, нормативы и ГОСТы ограничивают круг лиц, имеющих доступ и право владеть информацией о таких материалах. Профессионалы, ведущие подобные работы, настолько привыкают к таким ограничениям, что стараются избежать любых контактов со средствами массовой информации. В то же время, информация о проектах СТР, решающих проблемы нераспространения оружия массового поражения, материалов и технологий двойного назначения, является «горячей» информацией для СМИ, так как интересует практически все слои населения. Поэтому время от времени, вместо реального освещения происходящих событий, возникают «легенды». Решить это кажущееся противоречие не представляет значительной сложности, если вести постоянную работу со СМИ и на профессиональном уровне разъяснять суть проводимых работ.
- *Координация СТР в связи с вовлечением новых партнеров.* Проекты СТР, реализуемые в странах СНГ, до сих пор являлись двухсторонними. Однако все чаще и чаще, третьи страны и международные организации выражают желание принять в них участие. В качестве примера можно привести такие проекты, как калибровочные эксперименты, обращение с отработанным реакторным топливом и другие. В этих случаях возникают трудности законодательного плана, поскольку СТР работает в рамках двусторонних правительственных договоренностей.
- *Организация бюрократических процедур.* Проблемы, которые возникают здесь, как правило, связаны с временными ограничениями на проведение определенных работ, требующих оформления специальных лицензий и разрешений.
- *Создание баз данных и информационных систем по проблемам нераспространения* является необходимым элементом для оценки и прогнозирования развития режимов нераспространения в Казахстане и Центральной Азии. К настоящему времени накоплен достаточно большой объем информации, который позволит разрабатывать стратегию дальнейшего развития СТР, выбирать приоритеты, находить новых партнеров и источники финансирования.

**ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ CTR БАҒДАРЛАМАСЫ.  
НӘТИЖЕЛЕРІ, КЕЛЕШЕГІ ЖӘНЕ ДАМУ ПРОБЛЕМАЛАРЫ**

**В.С. Школьник, О.Г. Тюпкина**

*Қазақстан Республикасы Энергетика және минералдық ресурстар министрлігі*

1995-2000 ж.ж. бесжылдық кезеңде Қазақстанда америка-қазақстандық «Ортақ қауіпті төмендету бойынша бағдарламасы (CTR)» орындалған. Жарияланым мазмұны болып табылатын Бағдарлама тарихы, оның нормативтік-құқықтық құжаттары, ынтымақтастық тетігі, CTR Бағдарламасының негізгі жобаларының сипаттамасы, CTR келешегі мен проблемалары.

**CTR PROGRAM IN KAZAKHSTAN. RESULTS, PERSPECTIVES, PROBLEMS OF DEVELOPMENT**

**V.S. Shkolnic, O.G. Tyupkina**

*Ministry of Energy and Mineral resources of the Republic of Kazakhstan*

This paper reviews Kazakhstani-American collaboration under the Combined Threat Reduction program from 1995 to 2000. It presents information on the program's history, its legal acts, collaboration mechanisms, main projects, perspectives and problems.

УДК 550.34(574.2):504.064.36(9)

## ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ «БОРОВОЕ» – ИЗ ПРОШЛОГО В БУДУЩЕЕ (К 40-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ)

<sup>1)</sup>Адушкин В.В., <sup>2)</sup>Richards P., <sup>1)</sup>Ан В.А., <sup>3)</sup>Ситников А.В.

<sup>1)</sup>Институт динамики геосфер Российской Академии наук, г. Москва

<sup>2)</sup>Ламонт-Дохертская Земная обсерватория, Колумбийский университет США

<sup>3)</sup>Институт геофизических исследований ИЯЦ РК, г. Курчатов

Приводится история создания в бывшем СССР одной из первых сейсмических станций дальнего обнаружения ядерных взрывов и формирования на ее основе геофизической обсерватории "Боровое". Дается хроника создания систем наблюдений, проведения экспериментов, формирования архивных материалов регистрации сейсмических событий, характеризуются основные результаты исследований.

### ШАГИ СТАНОВЛЕНИЯ

Первые изыскательские работы в Зерендинско-Боровской зоне гранитных массивов и первые эксперименты по регистрации ядерных взрывов относятся к летнему периоду 1951-1952 гг. По некоторым свидетельствам (Султанов Д.Д., 1999) при полевых испытаниях новых сейсмических приборов Пасечником И.П. и другими сотрудниками Геофизического института АН СССР в этих местах был отмечен чрезвычайно низкий уровень микросейсмического фона. Во время проведения воздушного ядерного взрыва на Семипалатинском испытательном полигоне 24 сентября 1951 г. приборы испытывались в естественной пещере внутри гранитного массива и счастливым образом зафиксировали сигнал от этого взрыва. К сожалению, сама запись не сохранилась, но вблизи места первой регистрации ядерного взрыва впоследствии была установлена сейсмическая станция «Боровое». Решение об ее открытии на территории тогдашнего химзавода заповедника «Боровое» было принято в 1960 г., а, начиная с 1963 г., сейсмостанция, возглавляемая Асей Рубинштейн, стала работать как стационарная. На рис.1 приведена сохранившаяся фотография здания сейсмостанции того времени.



Рис.1. 1963 г. Здание сейсмостанции «Боровое»

Интерес к станции особенно возрос после получения необычно сильных записей «полезных» сигналов из, так называемого, «7-го района» (Невадский испытательный полигон США). На рис. 2. приведены фрагменты сейсмограмм слабых невадских взрывов (мощностью от 6 до 10 килотонн), произведенных на удалении в 10 000 км и записанных в штольне станции «Боровое». Мало мест на Земле, где так далеко «слышны» невадские взрывы.

В 1965 г. организуется экспедиция № 4 Спецсектора Института физики Земли АН СССР (бывший Геофизический институт). Основное направление работ экспедиции заключалось в отработке комплекса геофизических методов контроля за проведением ядерных взрывов в различных средах и автоматизации геофизических исследований (Кевлишвилли П.В., Ан В.А., Башилов И.П. и др.). С этого времени начинается отсчет исторической деятельности геофизической обсерватории «Боровое».

Возглавил Спецсектор Института физики Земли АН СССР Кевлишвилли П.В., лауреат Ленинской и Государственных премий, отдавший много физических, душевных сил и организаторского таланта становлению обсерватории (рис.3).

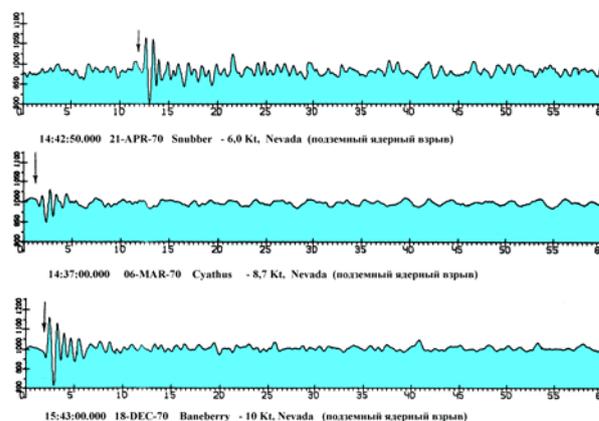


Рис.2. Записи на станции «Боровое» слабых подземных ядерных взрывов на полигоне Невада (США)

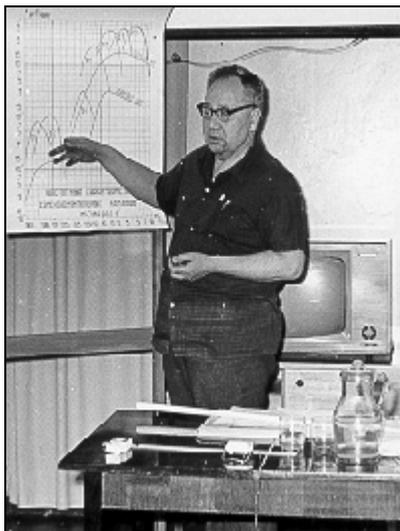


Рис.3. Начальник Спецсектора Института физики Земли АН СССР Кевливицки П.В.

### СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Начиная с 1965 г. проводится оснащение оборудованием для регистрации деформаций, электромагнитных полей, возмущений ионосферы и, наиболее интенсивно, – внедрение цифрового способа регистрации сигналов с записью на магнитную ленту для последующей обработки на специализированном вычислительном комплексе. На рис. 4. приведены фрагменты цифровых сейсмограмм китайских подземных ядерных взрывов, которые демонстрируют необычайное подобие волновой формы регистрируемых продольных сейсмических волн.

За время существования станции и обсерватории «Боровое» были испытаны, смонтированы, модернизированы десятки различных стационарных и передвижных, аналоговых и цифровых геофизических приборов и систем измерений. С их помощью были

произведены многочисленные эксперименты и многолетние непрерывные наблюдения - сейсмические, электромагнитного поля Земли, теллурических токов, атмосферного электричества, гравитационного поля, земных приливов, инфразвуковые, электромагнитного зондирования ионосферы, измерения с помощью наклономеров и лазерного деформографа, лунного сейсмографа, сейсмоакустических датчиков для подводной лодки и т.д.

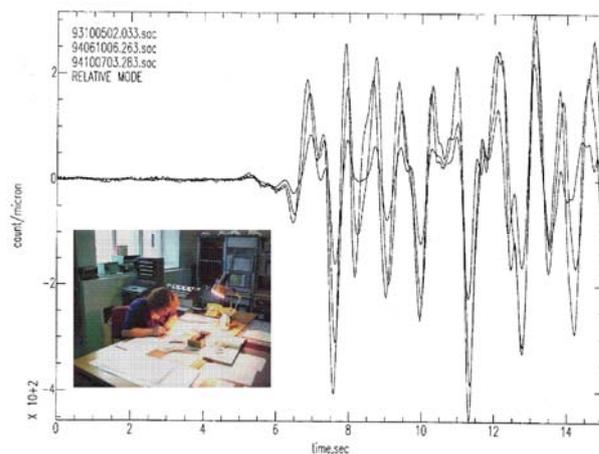


Рис.4. Фрагменты записей трех ядерных взрывов с полигона Лобнор (Китай)

Однако сейсмический метод занимал ведущие позиции в комплексе применяемых методов. На рис. 5 показаны монтаж в шахте сейсмоприемных каналов комплекса КОД в 1965 г. (рис. 5 а), наладка аппаратуры перезаписи комплекса КОД в 1965 г. (рис. 5б) и общий вид аппаратного зала сейсмического комплекса СЦР-ТСГ в 1973 г. (рис. 5 в).



а - монтаж сейсмоприемников комплекса КОД в шахте, 1965 г.; б - наладка аппаратуры перезаписи комплекса КОД, 1965 г.; в - аппаратный зал комплекса СЦР-ТСГ, 1973 г.

Рис.5. Подготовка сейсмических экспериментов

Большинство сейсмических экспериментов этого периода проводилось с целью изучения феномена повышенной магнитудной чувствительности сейсмической станции «Боровое» к сигналам отдаленного Невадского испытательного полигона, а также с

целью поиска новых пунктов с повышенной чувствительностью. Поиск «хороших» мест для установки новых станций учитывал пониженный сейсмический фон и повышенную магнитудную поправку. Были организованы временные наблюдения на вы-

носных пунктах: «Жукей» (26 км от станции «Боровое»), «Бармашино» (11км), «Зеренда» (86км), «Чкалово» (72км), «Восточное» (60км). По результатам этих экспериментов для развития наблюдательной сети ГО «Боровое» были отобраны три последних пункта.

В начале семидесятых годов для ГО «Боровое» проектируются системы группового приема сейсмических сигналов «Крест» и «Треугольник» (рис.6), основное назначение которых – повысить в большей мере эффективность регистрации ядерных взрывов с известных испытательных полигонов.

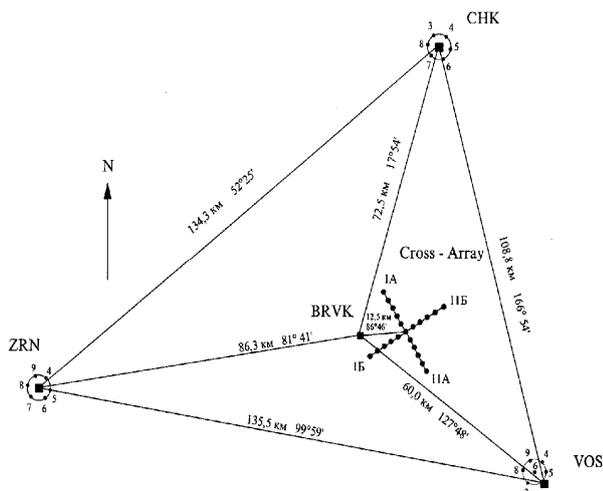


Рис.6. Конфигурация систем группового приема сейсмических сигналов «Крест» и «Треугольник» ГО «Боровое» с выносными пунктами «Чкалово» (CHK), «Зеренда» (ZRD) и «Восточное» (VOS)

Система группирования «Крест» была введена в эксплуатацию в октябре 1975 г. Система большебазового группирования «Треугольник» в 1976 – 1978 гг. действовала сначала на временных пунктах, а затем, с 1979 г., началась регистрация на основных пунктах. Применение оптимальных методов частотной, поляризационной и пространственно-временной фильтрации к материалам регистрации большебазовой системы группирования позволило обеспечить уверенное обнаружение и определение основных параметров взрывов на Невадском полигоне на уровне мощности порядка 1-5 Кт.

Развитие исследований в ГО «Боровое» в эти годы отражено в публикациях (Адушкин В.В., Ан В.А., 1990; Richards P.G., Kim W.-Y., Ekstrem G., 1992).

#### АРХИВЫ ДАННЫХ И МОДЕРНИЗАЦИИ

За прошедшие четыре десятилетия накоплены тысячи различных регистрограмм, составлены сотни журналов наблюдений, заархивировано более 7000 бобин с записями «полезных» сигналов на магнитной ленте, составлены многие десятки отчетов и статей. Архив ГО «Боровое» содержит десятки тысяч сейсмограмм (различных измерительных каналов) от подземных ядерных взрывов, проводившихся

в США, бывшем СССР, Францией и Китаем, а также Индией и Пакистаном. На рис.7. приведен пример записи Пакистанского ядерного взрыва 28 мая 1998 года, зарегистрированной станциями «Боровое», «Чкалово» и «Зеренда».

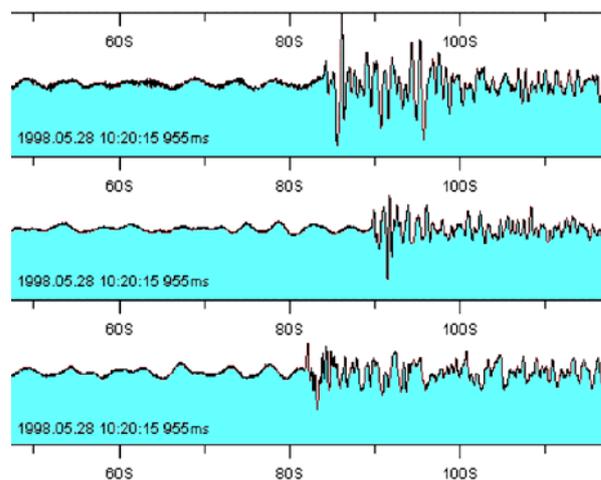


Рис.7. Фрагменты сейсмических записей пакистанского подземного ядерного взрыва 28 мая 1998 г., полученных на станциях (сверху-вниз): «Боровое», «Чкалово» и «Зеренда»

За период с 15 сентября 1961 г. по 23 сентября 1992 г. станция «Боровое» зарегистрировала 484 подземных ядерных взрыва, произведенных на территории США, из них 56 – ранее не объявленных. В 1997 г. Международный научно-технический центр (МНТЦ) принял решение осуществить перезапись архива цифровых сейсмограмм на современные магнитные носители и сделать их достоянием мировой научной общественности. Этим проектом предусматривалась также модернизация аппаратуры регистрации, сбора и обработки данных группирования, находившихся ранее в ведении Службы Специального Контроля МО РФ и переданных ГО «Боровое» для использования в Международной системе мониторинга в связи с Договором ВЗЯИ.

В период 1997 – 1999 гг. на периферийных пунктах «Треугольник» существовала автономная система регистрации и сбора данных «Pascal» на базе DAS RefTek. Основным недостатком этого оборудования являлось отсутствие системы первичной обработки и системы передачи данных в реальном режиме времени. Переход на новые сейсмические станции Quanterra (Q680) явился дальнейшим шагом углубленной модернизации станций ГО «Боровое». Цифровая сейсмостанция Quanterra, построенная на базе процессора Motorola MC68030, является одной из современных разработок в области цифровых систем сбора и обработки данных. Она имеет 12 широкополосных каналов с максимальной частотой дискретизации до 5 кГц, встроенный ленточный накопитель, SCSI-винчестер. Поддержка протокола TCP/IP дает возможность подключить станцию к сети Интернет. Были установлены

4 станции Quanterra - по одной на каждом выносном пункте и одной - на центральном пункте. Это обеспечило доступ к сейсмической информации, регистрируемой на каждом выносном пункте по 7 вертикальным скважинным каналам, от малой апертурной группы и от 3 установленных в шахте широкополосных датчиков STS-2. Каждый из комплексов Q680 имеет свой IP адрес, что позволило с помощью радиомодемов Long Ranger 2030 организовать централизованный сбор данных в реальном режиме времени. На каждый периферийный пункт выделен отдельный ка-

нал связи с последующим поступлением данных на маршрутизатор Cisco, а далее, через локальную сеть, на компьютер Sun Ultra Enterprise II, где установлено программное обеспечение сбора и обработки данных. На рис.8 приведены современные фотографии лабораторного корпуса, в котором установлены компьютерные системы регистрации и обработки телеметрической информации, выносного пункта «Восточное» (радиомачты, технического здания) и выносного пункта на вершине горы Синюха с мачтой радиоретранслятора на солнечной батарее.

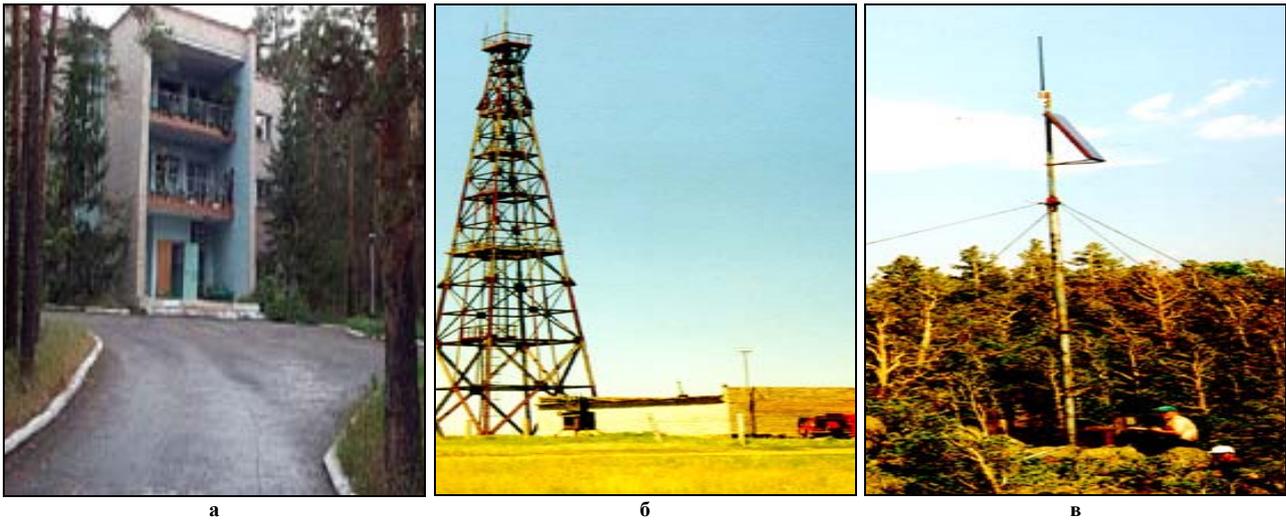


Рис.8. Лабораторный корпус ГО «Боровое» (а), техническое здание и сигнальная мачта выносного пункта «Восточное» (б), мачта радиоретранслятора на вершине горы Синюха (в)

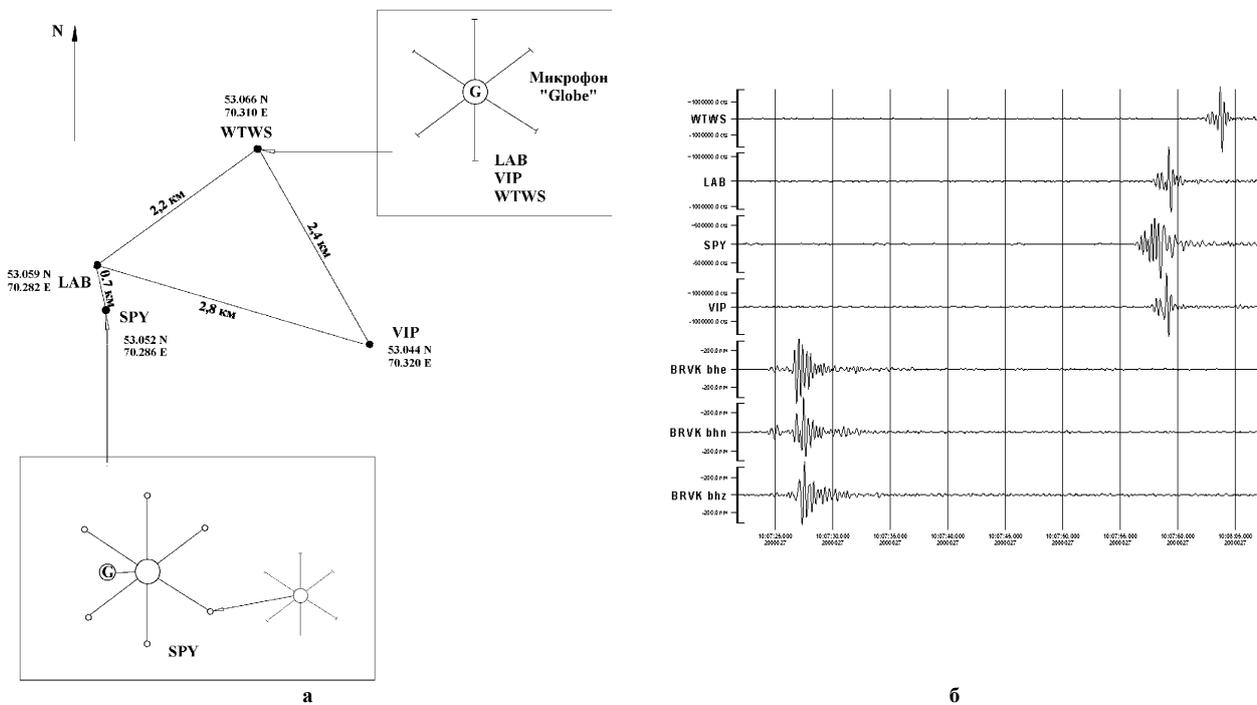


Рис. 9. К регистрации инфразвуковых акустических сигналов в ГО «Боровое»

Начиная с сентября 1999 г., в ГО «Боровое» возобновлена регистрация инфразвуковых акустических сигналов, порожденных многочисленными источниками естественного и искусственного происхождения. Основной целью является регистрация местных и региональных промышленных взрывов и их опознавание среди других источников. Регистрация событий ведется с помощью аппаратуры RefTek\_DAS в пунктах LAB, VIP, WTWS (Рис.9а) с использованием микрофонов типа “Globe” и собственной системы шумоподавления (пористые шланги).

Регистрация сигналов в пункте SPY велась с использованием станции Quanterra и созданной в советское время системы шумоподавления типа «Большой Паук», которая состоит из шести других, «Малых Пауков», расположенных в вершинах правильного шестиугольника диаметром 225 метров. На рис. 9б показаны сейсмоакустические записи подрыва льда накладным зарядом на озере «Щучье» вблизи г. Щучинска, сделанные этой системой. В процессе инфразвукового мониторинга группой в ГО «Боровое» зарегистрированы сигналы от микробаром, треска озерного льда, карьерных взрывов, запуска ракет с космодромов «Байконур», «Плисецк» и др. На рис.10 показаны проекции на земную поверхность траекторий полета космических кораблей «Союз» и «Протон» относительно месторасположения ГО «Боровое», а на рис.11 приведены при-

меры записей полета корабля «Протон» 12 февраля 2000 г. (а) и 27 октября 1999 г., завершившегося взрывом ракеты на 220 сек после старта (б).

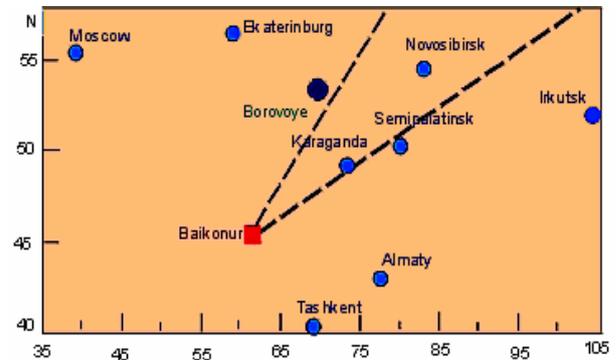


Рис.10. Проекция на земную поверхность траекторий полета космических кораблей «Протон» (слева) и «Союз» (справа)

Записи инфразвука, сделанные 12.02.2000 г., даны для пунктов регистрации в последовательности (сверху-вниз): WTWS, LAB, SPY и VIP. Записи отфильтрованы в полосе частот 0.9-3.2 Гц. Запуск корабля «Протон» 27.10.1999 г представлен фрагментом записи на пункте VIP, отфильтрованной в полосе частот 0.7-3.2 Гц.

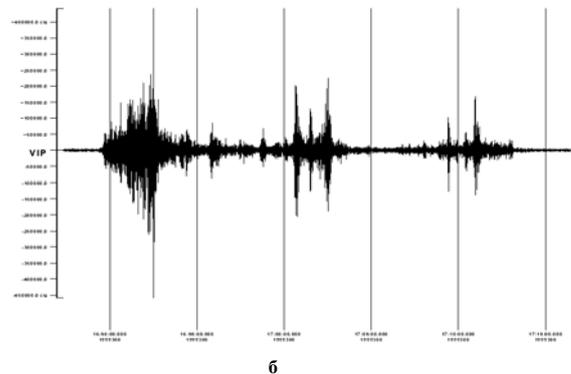
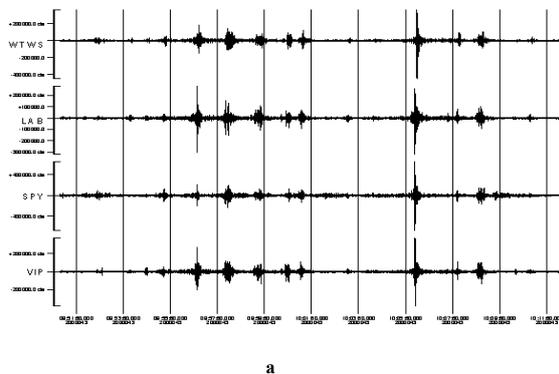


Рис.11. Примеры инфразвуковых записей полета космического корабля «Протон» 12 февраля 2000 года (а) и 27 октября 1999 года (б).

помимо восстановления и модернизации регистрирующих систем, в ГО «Боровое» проведен большой цикл научных исследований по оценке реальных характеристик чувствительности, избирательной способности систем, по изучению природы феномена высокой чувствительности боровской группы станций. Проанализированы десятки тысяч текущих и архивных записей сигналов от региональных и удаленных землетрясений, ядерных и химических взрывов, записи микросейсмических помех естественного и антропогенного происхождения. В результате исследований, в частности, удалось выявить локальную зону очагов относительно слабых землетрясений вблизи г. Щучинска. В пери-

од 1998-2001 гг в этой зоне произошло 22 землетрясения, большая часть которых имеет локальную магнитуду менее 2 и не ощущалась на поверхности. Однако землетрясения 27 июля 1998 г и 13 января 2001 г имели магнитуду 3,2 – 3,4 и ощущались в г.Щучинске и его окрестностях как землетрясения силой 3-4 балла.

#### РЕЗЮМЕ

В настоящее время обсерватория «Боровое» – это пространственно распределенная в радиусе 80 км система наблюдательных пунктов со сложными цифровыми комплексами радиотелеметрического сбора и компьютерной обработки сейсмической и

инфразвуковой информации, интегрированная с помощью спутниковой связи с Национальным и Международным центрами данных. Являясь составной частью казахстанской и Международной систем

мониторинга ядерных испытаний в рамках ДВЗЯИ, развиваясь и совершенствуясь, обсерватория «Боровое» призвана стать ядром системы геофизического мониторинга природных комплексов Казахстана.

**«БУРАБАЙ» ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ОБСЕРВАТОРИЯСЫ:  
ӨТКЕНДІКТЕН КЕЛЕШЕККЕ (ҚҰРЫЛҒАНЫНЫҢ 40-ЖЫЛДЫҒЫНА)**

<sup>1</sup>В.В. Адушкин, <sup>2</sup>P. Richards, <sup>1</sup>В.А. Ан, <sup>3</sup>А.В.Ситников

<sup>1</sup>*РФА Геосфера динамикасы институты, Москва*

<sup>2</sup>*Колумбия университетінің Ламонт-Дохерт жер обсерваториясы, АҚШ*

<sup>3</sup>*ҚР ҰҰО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов*

Бұрын болған ССРО ядролық жарылыстарды алыстан табу сейсмикалық станциялардың бірінші болғандардың біреуін құру және оның негізінде «Бурабай» геофизикалық обсерваториясын қалыптастыру тарихі келтіріледі. Бақылау жүйесін құру, эксперименттер өткізу, тіркеу материалдардың, сейсмикалық оқиғалардың, мұрағатын құру хроникасы беріледі, зерттеулердің негізгі нәтижелері сипатталады.

**BOROVUE GEOPHYSICAL OBSERVATORY – FROM PAST TO FUTURE**

<sup>1</sup>V.V. Adushkin, <sup>2</sup>P. Richards, <sup>1</sup>V.A. An, <sup>3</sup>A.V. Sitnikov

<sup>1</sup>*Institute of Geospheres Dynamics, RAS, Lenin Ave., Moscow*

<sup>2</sup>*Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, USA*

<sup>3</sup>*Institute of Geophysical Research NNC RK*

The paper describes the history of construction of one of the first seismic stations in the former USSR for long-range detection of nuclear explosions and the establishment, on its base, of a geophysical observatory - “Borovoye.” The paper describes the chronology of observation systems development, experiments, seismic events, and record archives, and characterizes the main research results.

УДК [550.34:681.324 ]:621.398(574)

**КАЗАХСТАНСКИЙ ЦЕНТР СБОРА И ОБРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ: ФУНКЦИИ, ЗАДАЧИ, СИСТЕМА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, БАЗЫ ДАННЫХ**

Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И., Соколова И.Н.

*Институт геофизических исследований НЯЦ РК*

В работе приводятся сведения об основных функциях созданного в 1999 г. Центра сейсмических данных Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан. Описана технология сбора, обработки и хранения данных. Перечислены основные создаваемые базы данных.

Казахстанский Центр сейсмических данных создан в 1999г. как представительство ИГИ НЯЦ РК в г. Алматы. Официальное название Центра – "Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации".

Необходимость организации такого Центра была предопределена несколькими факторами.

- В 1994 г. Казахстану были переданы станции Актюбинск, Боровое, Курчатова и Маканчи, входившие ранее в службу специального сейсмического контроля бывшего СССР. Для централизованного сбора и обработки данных был необходим Центр данных, которого в Казахстане не было. Исходные записи сигналов хранились на станциях наблюдения, копии отсылались в сотрудничающие организации: Ламонт-Дохертскую земную обсерваторию Колумбийского университета США (LDEO), в Калифорнийский университет в Сан-Диего США (UCSD), в Лабораторию Альбукерке Геологической службы США (ASU USGS). Республика Казахстан заинтересована в информации о происходящих на её территории землетрясениях, о проводимых ядерных испытаниях вблизи её территории, в оперативном оповещении республиканских органов об этих событиях. Этой цели должен отвечать Казахстанский Центр сейсмических данных.
- В течение 1994-1996г.г. с помощью консорциума IRIS (США) было проведено техническое переоснащение сейсмических групп Боровое и Курчатова, трехкомпонентных станций Актюбинск и Маканчи, что обеспечило включение их в Глобальную сеть сейсмических наблюдений (GSN), проведение экспериментов совместно с Ламонт-Дохертской земной обсерваторией Колумбийского Университета (США). В мае 1997г. в Вашингтоне был подписан Протокол совещания представителей Министерства наук – Академии наук Республики Казахстан и Консорциума IRIS (США), в котором отражена принципиальная договоренность сторон о создании в Алматы совместного казахстанско - американского Центра сейсмических данных JSDC (со стороны США – LDEO, UCSD, USGS, IRIS, со стороны Казахстана – НЯЦ РК).
- В 1996г., согласно Протоколу к Договору о Всеобъемлющем Запрещении Испытаний Ядерного

оружия (СТВТ), четыре станции НЯЦ РК включены в Международную Систему Мониторинга (IMS СТВТО). Согласно выбранной топологии, кроме строительства станций, в Казахстане должен быть организован Центр данных, выполняющий функции Национального Центра данных в системе IMS с задачами - обмен данными с Международным Центром данных IDC PTS и работа в тесной взаимосвязи с ним.

Таким образом, созданный Казахстанский Центр сейсмических данных одновременно должен осуществлять функции Совместного казахстанско-американского Центра, а также Казахстанского Национального Центра данных. Основными задачами Центра является сбор, обработка и хранение данных сейсмической сети НЯЦ РК, а также обмен данными с другими Международными и Национальными центрами данных, исследовательскими лабораториями.

**СБОР ДАННЫХ**

Сбор данных, получаемых казахстанскими станциями наблюдения, в Центре данных в г. Алматы происходит по следующей схеме, приведенной на рис.1.

*Сейсмическая группа Боровое.* На четырех пунктах - Боровое, Восточное, Зеренда, Чкалово, - в 1999г. в рамках проекта МНТЦ К-063-97 с помощью зарубежных коллабораторов проекта - сотрудников LDEO, установлены станции Quanterra Q680 для сбора данных с локальных сейсмических подгрупп "ожерелье" в центры подгрупп. По телеметрическим каналам все данные с центров подгрупп "ожерелье" передаются в центр сейсмической группы Боровое. Затем из Борового по спутниковому каналу данные передаются в Центр сейсмических данных в г. Алматы. Из Центра по каналам Internet данные доставляются в LDEO, IRIS-DMC.

*Сейсмическая группа Курчатова.* Данные сейсмической группы Курчатова – "Крест" должны по радиотелеметрическим каналам собираться в центре группы, затем по спутниковому каналу передаваться в Центр сейсмических данных в г.Алматы. В настоящее время в Центр поступают только данные трехкомпонентной станции IRIS/IDA. По каналу Internet они передаются в LDEO, IRIS.

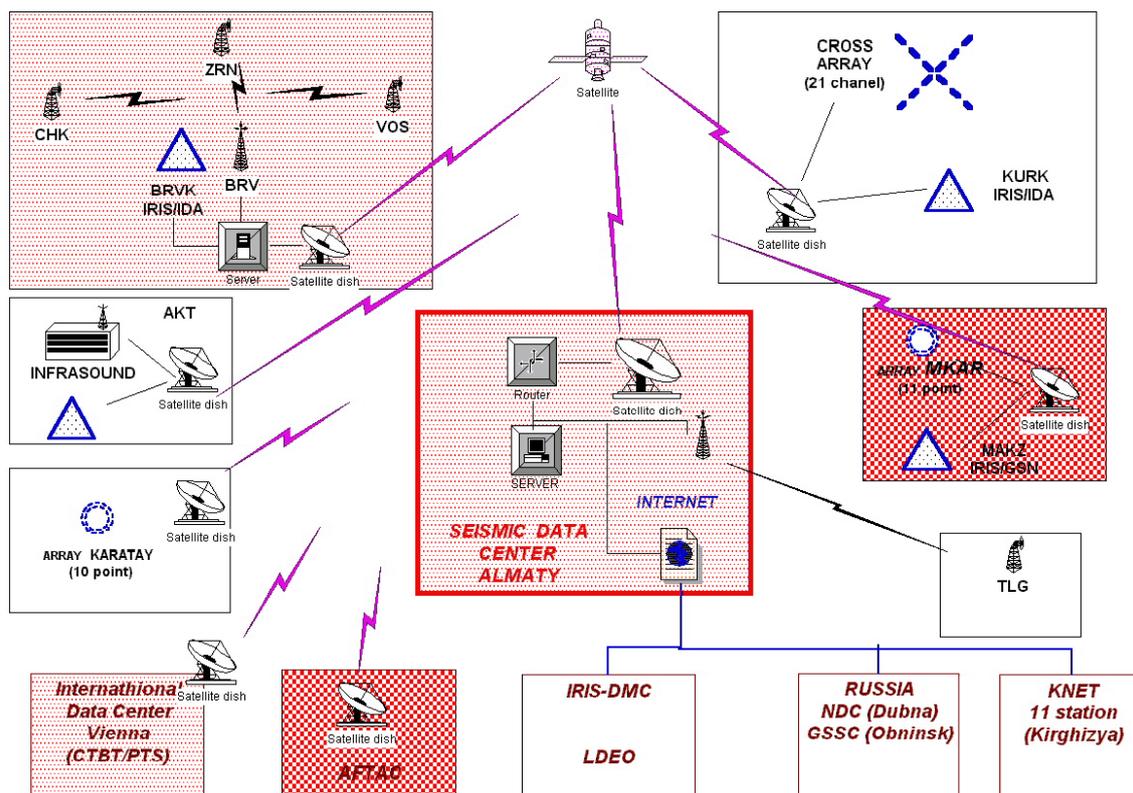


Рис.1. Схема телекоммуникационной структуры сбора данных казахстанских станций наблюдения

*Сейсмическая группа Маканчи.* Введенная в строй в июне 2000г. сейсмическая группа Маканчи осуществляет непрерывную регистрацию сейсмических колебаний на десяти пунктах. Данные по спутниковому и радиорелейному каналу передаются в Центр сейсмических данных в г. Алматы. Из г. Алматы по спутниковому каналу данные уходят в AFTAC (США), в IDC (Вена, Австрия).

*Станция Актюбинск.* Планируется по спутниковому каналу передавать данные сейсмической и инфразвуковой станций в Центр сейсмических данных в г.Алматы.

*Строящаяся новая сейсмическая группа Каратау.* Эта станция будет аналогом станции Маканчи. Ее данные, также как данные сейсмической группы Маканчи, планируется передавать в Центр, в г. Алматы, по спутниковому и радиорелейному каналу связи, а затем – в AFTAC (США).

*Станция Талгар.* По радиомодему будет осуществляться передача данных в Центр со станции Талгар, где LDEO установлена цифровая сейсмическая станция PASSCAL.

После ввода в действие всей системы телекоммуникаций в Центр сейсмических данных в г. Алматы будут поступать данные с четырех сейсмических групп и двух трехкомпонентных станций в режиме реального времени. По состоянию на 2001 г. в Центр сейсмических данных в режиме реального времени поступают данные сейсмических групп Маканчи, Боровое, станции Курчатова. Данные сейсмической станции Актюбинск поступают по мере накопления

сейсмической информации на диске. Дополнительно поступают данные с сейсмических станций Талгар и Подгорное на магнитных лентах.

#### ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Для того, чтобы обрабатывать данные, поступающие с сейсмических групп и отдельных станций в режиме реального времени, в октябре 2000 г. в Центре сейсмических данных специалистами Норвежского сейсмического центра НОРСАР было установлено специальное программное обеспечение. В автоматическом режиме ведется обнаружение сейсмических сигналов и локализация источников, результаты обработки, также автоматически, заносятся на веб-сайт Центра. Далее, на основе критериев, разработанных в Центре, автоматически выбираются наиболее сильные события. При появлении такого события звучит звуковой сигнал, извещающий оператора о необходимости проведения дополнительной интерактивной обработки, в результате чего формируются и рассылаются сводки срочных донесений. В настоящее время в этом этапе обработки участвуют данные сейсмических групп Маканчи, Боровое, станции IRIS/IDA – Курчатова.

После сбора данных всех станций по ретроспективным данным проводится двухэтапная рутинная обработка. На первом этапе проводится контроль качества данных, выявляются и исправляются ошибки. Все потоки откорректированных сейсмических данных с отдельных станций интегрируются в единый формат, удобный для хранения и обмена.

Таким форматом в мировой практике является SEED-формат. Генерация SEED-архивов проводится в Центре данных по технологии, обучение которой сотрудники Центра прошли в LDEO и успешно используют в практической работе.

На втором этапе происходит совместная обработка данных всех станций с целью составления бюллетеня сейсмических событий. В 2000г. начал выпускаться бюллетень казахстанского Центра на ретроспективных данных 1999г. Формат бюллетеня соответствует форматам аналогичных бюллетеней других Центров. В него включены параметры источников, полученные в результате локализации событий, а также станционные данные по всем станциям, зарегистрировавшим данное событие. В отличие от бюллетеней, например, Института сейсмологии МОН РК, в бюллетень Центра включаются как данные о землетрясениях, так и данные о химических, ядерных взрывах. Это необходимо для проведения будущих научных исследований, в частности, для разработки более совершенных методик идентификации сейсмических событий.

Обработка данных осуществляется программным комплексом DATASCOPE.

#### ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ

Все исходные записи, а также результаты их обработки подлежат долговременному хранению. В Центре создаются различные базы данных. Создан WEB-сервер, через который доступ к данным Центра имеют заинтересованные пользователи. На рис.2 показаны основные созданные базы данных казахстанского Центра сейсмических данных.

*Базы данных исходных записей.* Это SEED-архивы, создаваемые на CD. В Центре генерируются SEED-архивы по трем группам данных: стационарной сети НЯЦ РК (только трехкомпонентные станции), Тянь-Шаньской группы станций (установлены на территории Казахстана и Киргизии по проекту «Тянь-Шань» Ренселлеровским политехническим институтом США в 1997-2000г.г.), по сейсмической группе Курчатов - "Крест".

Состояние SEED-архивов исходных записей на 1.06.2001г. показано в табл. 1.

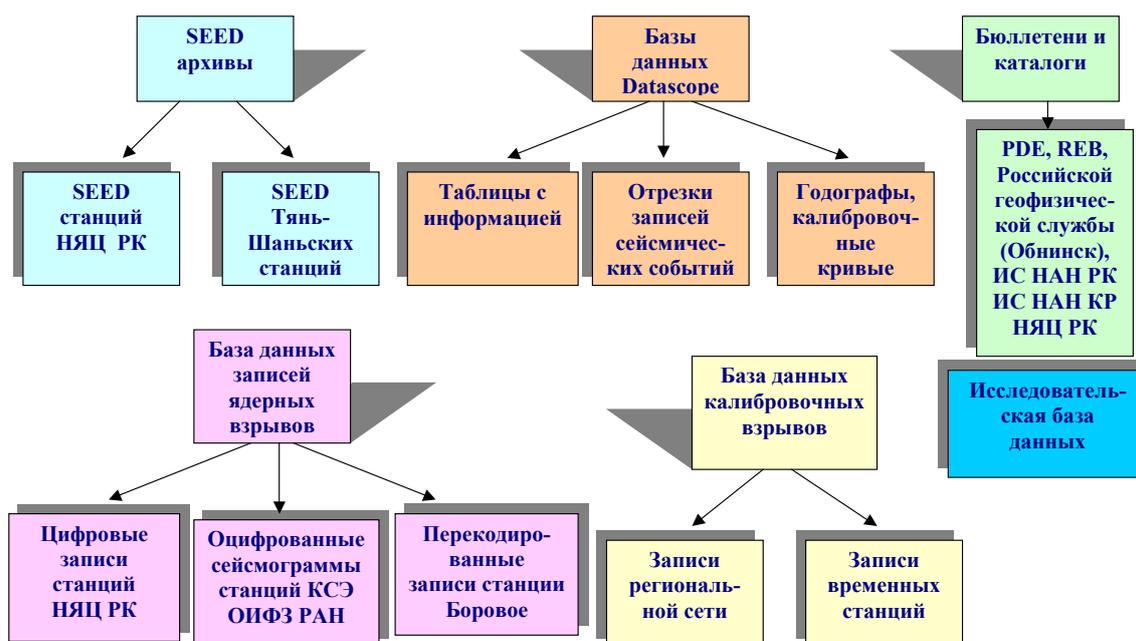


Рис. 2. Базы данных казахстанского Центра сейсмических данных

Табл. 1. Состояние SEED-архивов

Сейсмическая сеть	Сейсмические станции	Период времени, за который созданы SEED-архивы	Объем базы данных (CD-дисков)
НЯЦ РК	AKTK, BRVK, CHKZ, KURK, MAKZ, PDG, TLG, VOS, ZRNK	04.1994-05.2001	341
Тянь-Шаньская сейсмическая сеть	ANA, ARA, CHAT, DGE, KAI, KARL, KAR, KAZ, KDS, KENS, KHA, KSA, NRN, POGR	09.1997-08.2000	88
Сейсмическая группа Курчатов «Крест»	KUR01-KUR21	01.1999-12.1999	44

База данных DATASCOPE. Результаты обработки, накопленные при составлении бюллетеня сейсмических событий, формируют базу данных DATASCOPE. В ней в табличном виде содержится информация об источниках событий, ошибках определения параметров, невязках времен пробега относительно конкретных скоростных моделей и т.д. Там же хранятся отрезки исходных записей сейсмических событий, по которым проведена обработка. В табличном виде хранятся используемые годографы и калибровочные магнитудные кривые. База данных DATASCOPE создается на рабочей станции SUN.

Бюллетень сейсмических событий и каталог. Для формирования бюллетеня и каталога на персональном компьютере создана база данных ACCESS, в которой хранятся только те данные, которые необходимы для бюллетеня и каталога. Бюллетень ведется на русском и английском языках. Имеются бюллетени и каталоги других Центров и служб.

База записей ядерных взрывов. Хранятся несколько видов баз данных с записями ядерных взрывов. Во-первых, это цифровые записи стационарных станций НЯЦ РК. Поскольку станции в составе НЯЦ РК начали функционировать с 1994г., количество записанных ядерных испытаний невели-

ко. Это пять взрывов на полигоне Лобнор в Китае, последний из которых был проведен в июле 1996г., шесть взрывов на полигоне Муруроа, произведенные Францией, и взрывы в Индии и Пакистане, проведенные в мае 1998г. (табл.2).

Во-вторых, это оцифрованные аналоговые сейсмограммы станций Комплексной сейсмологической экспедиции - КСЭ ИФЗ АН СССР, полученные в советское время. Станции КСЭ были расположены в различных районах Советского Союза. Ими зарегистрировано большое количество военных и мирных взрывов. Характеристика информации представлена в табл. 3. Работа по оцифровке этих данных выполнялась в рамках проекта К-063-97. Оцифровка проводилась с помощью широкоформатного сканера и специального программного обеспечения, предоставленного LDEO.

В-третьих, это цифровой архив сейсмических записей станции «Боровое». В рамках работ по проекту К-063-97 выполнено копирование исходных данных с 35-мм магнитных лент на современные носители, декодированы и переформатированы данные цифровых станций КОД и СЦР-ТСГ. Данные об общем количестве событий в базе данных по этим записям представлены в табл. 4.

Табл. 2. База данных ядерных взрывов

Дата	Время	Широта	Долгота	Полигон	Государство	мь	Коды станций
10/07/1994	3:25:58.1	41.662	88.753	Лобнор	Китай	6.0	BRVK, CHK, KUR, MAK, VOS, ZRN
5/15/1995	4:05:57.8	41.603	88.820	Лобнор	Китай	6.1	BRVK, AKT
8/17/1995	0:59:57.7	41.559	88.800	Лобнор	Китай	6.0	BRVK, CHK, AKT, KURK, VOS, ZRN
9/05/1995	21:29:58.4	-21.852	-138.844	Муруроа	Франция	4.8	AKT, CHK, KUR, BRVK, TLG, VOS, ZRN
10/01/1995	23:29:57.9	-22.250	-138.745	Муруроа	Франция	5.4	AKT, BRVK, CHK, KUR, MAK, TLG, VOS, ZRN
10/27/1995	21:59:58.1	-21.891	-138.983	Муруроа	Франция	5.4	AKT, BRVK, CHK, KURK, TLG, VOS, ZRN
11/21/1995	21:29:58.0	-21.879	-139.032	Муруроа	Франция	4.8	AKT, BRVK, KURK, TLG, VOS, ZRN
12/27/1995	21:29:58.0	-21.881	-138.973	Муруроа	Франция	5.1	BRVK, KURK, TLG, ZRN
1/27/1996	21:29:57.7	-22.236	-138.815	Муруроа	Франция	5.3	AKT, BRVK, CHK, KURK, TLG, VOS, ZRN
6/08/1996	2:55:57.9	41.657	88.690	Лобнор	Китай	5.9	AKT, BRVK, CHK, KURK, MAK, TLG, VOS, ZRN
7/29/1996	1:48:57.8	41.824	88.420	Лобнор	Китай	4.9	AKT, BRVK, CHK, MAK, TLG, VOS
5/11/1998	10:13:41.7	27.105	71.802	Похаран	Индия	5.2	BRVK, ZRNK, MAKZ, PDG, TLG, VOS, ZRN
5/28/1998	10:16:15.2	28.902	64.789	Чагай	Пакистан	4.8	BRVK, CHK, KUR, MAKZ, PDG, TLG, VOS, ZRN
5/30/1998	6:54:54.9	28.493	63.731	Чагай	Пакистан	4.6	BRVK, CHK, MAKZ, VOS, ZRN

Табл. 3. База данных оцифрованных сейсмических записей КСЭ ИФЗ (1964-1994)

Полигон	Источник	Количество событий	Количество записей	Количество станций
Похаран	подземные ядерные взрывы	1	1	1
Амчитка	подземные ядерные взрывы	1	14	14
Лобнор	воздушные ядерные взрывы	11	35	8
	подземные ядерные взрывы	9	14	7
	землетрясения	8	24	17
Семипалатинский испытательный полигон	подземные ядерные взрывы	42	87	27
Невада	подземные ядерные взрывы	22	73	33
Новая Земля	подземные ядерные взрывы	9	14	10
Мирные взрывы	химические взрывы	26	37	12
	подземные ядерные взрывы	41	85	25
		170	384	54

Табл. 4. База записей взрывов станцией «Боровое»

Тип станции	Всего событий	Туамоту	Лобнор	Новая Земля	Промышленные взрывы	СИП	Невада
Код (б.у)	204	0	1	9	26	64	104
Код (м.у)	74	0	0	8	11	48	7
СС	427	47	7	17	38	149	169
ТСГ	342	52	8	19	27	136	100
Итого	1047	99	16	53	102	397	380

**КАЗАХСТАНСКИЙ ЦЕНТР СБОРА И ОБРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ: ФУНКЦИИ, ЗАДАЧИ, СИСТЕМА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, БАЗЫ ДАННЫХ**

База данных записей калибровочных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне. Собраны и приведены к формату CSS3.0 записи 15 калибровочных взрывов, произведенных на площадках Балапан и Дегелен, стационарными и временными сейсмическими станциями (табл. 5).

Кроме перечисленных, в Центре создаются и другие базы данных, необходимые для проведения научных исследований и формируемые в процессе их проведения.

Табл. 5. Информация о базе данных калибровочных взрывов

Дата взрыва	Время в источнике	Масса заряда, кг	Станции, записи которых включены в базу данных			
			ближней зоны	НЯЦ РК	Тянь-Шаньской сети	другие
13.07.1997	08.11.08,799	5000	S2, S3, S4, S7, S9	CROSS-ARRAY		
03.08.1997	08.07.20,04	25000	S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	AKT, BRVK, CHK, KUR, MAK, TLG, VOS, ZRN, CROSS-ARRAY		
31.08.1997	07.08.39,179	25000	S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	AKT, BRVK, CHK, KUR, MAK, TLG, VOS, ZRN, CROSS-ARRAY		BAY
28.09.1997	07.30.15,126	25000	S2, S3, S6, S7, S8, S9	AKT, BRV, CHK, KUR, MAK, TLG, VOS, ZRN, CROSS-ARRAY		BAY, KKL
13.07.1998	10.44.56,363	2028	S4, S7, S8, S9	KUR, CROSS-ARRAY		
14.07.1998	05.11.35,570	2028	S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	KUR, CROSS-ARRAY		
14.07.1998	08.19.39,296	2028	S2, S3, S4, S6, S7, S9	KUR, CROSS-ARRAY		
14.08.1998	04.28.52,815	2028	S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	KUR, CROSS-ARRAY		
14.08.1998	05.39.24,970	2028	S2, S3, S4, S7, S8, S9	KUR, CROSS-ARRAY		
15.08.1998	02.40.59,116	2028	S2, S3, S4, S6, S7, S9	KUR, CROSS-ARRAY		
15.08.1998	05.05.11,156	2028	S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	KUR, CROSS-ARRAY		
22.08.1998	05.00.18,904	100000	S2, S3, S4, S5, S6, S7	AKT, BRVK, CHK, KUR, MAK, MAKZ, PDG, VOS, ZRN, CROSS-ARRAY	ANA, KSA, KDS	BAY, KKL, AKSU, DEG, ERMT, MAMA, STPN, KNET
17.09.1998	07.19.40,551	25040	S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	AKT, BRVK, CHK, KUR, PDG, TLG, VOS, ZRN, MAKZ, CROSS-ARRAY	KHA, KSA	BAY, KKL, KNET
25.09.1999	05.00.06,0	100000	S3, S5, S6, S7	BRVK, KUR, MAKZ, PDG, TLG, CROSS-ARRAY	ANA, ARA, KAI, KENS, KHA, KSA, KARL	KNET
29.07.2000	06.10.04,25	100000	S2, S3, S4, S5, S6, S7	CHK, MAKZ, TLG, VOS, ZRN		S145, S208, S79, S80, S82, S89

**ОБМЕН ДАННЫМИ**

Казахстанский Центр сейсмических данных работает во взаимодействии с другими Центрами данных и исследовательскими центрами. Во-первых, это IDC – Международный центр данных PTS. Центр получит доступ к данным IDC - результатам обработки, записям, другой информации. Во-вторых, это LDEO: Центр предоставляет LDEO SEED-архивы станций НЯЦ РК, бюллетени сейсмических событий Центральной Азии. Специалисты LDEO постоянно помогают Центру программным обеспечением, консультациями, участвуют в техническом переоснащении станций и Центра. Планируется проведение совместных научных работ. В третьих, это AFTAC. Через Центр идет передача данных сейсмической группы Маканчи и сейсмиче-

ской группы Каратау в AFTAC. В четвертых, это Российская геофизическая служба. Казахстанский Центр регулярно получает оперативные каталоги землетрясений и сейсмологические бюллетени. Станции НЯЦ РК передают сводки по сильным землетрясениям в Обнинск в Сейсмологический Центр Российской геофизической службы.

Работы, проводимые в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации, позволяют надеяться, что в скором будущем Центр станет одним из ведущих сейсмологических центров в Азии, обеспечивающим на мировом уровне сейсмический мониторинг в пределах территории Казахстана и вносящим весомый вклад в глобальный сейсмический мониторинг.

**ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ АРНАУЛЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ АҚПАРАТЫН ЖИНАУ ЖӘНЕ ӨНДЕУ ОРТАЛЫҒЫ:  
ФУНКЦИЯЛАРЫ, МІНДЕТТЕРІ, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ЖҮЙЕСІ, ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫ**

**Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров, З.И. Синева, И.Н. Соколва**

*ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты*

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институтының Сейсмикалық деректер орталығының негізгі функциялары туралы мәліметтер келтірілген. Деректер жинау, өңдеу және сақтау технологиясы баяндалған. Орталықта құрастырылып жатқан деректердің негізгі базалары саналып өткен.

**KAZAKHSTAN CENTER FOR ACQUISITION AND PROCESSING OF SPECIAL SEISMIC  
INFORMATION: FUNCTION, GOALS, TELECOMMUNICATION SYSTEM, DATABASES**

**N.N. Mikhailova, I.I. Komarov, Z.I.Sinyova, I.N.Sokolova**

*Institute of Geophysical Research NNC RK*

The paper summarizes the information about the basic functions of the Seismic Data Center IGR NNC RK, created in 1999. It describes the techniques of data acquisition, processing, and storage, and lists the main databases being created in the Center.

УДК [550.34:550.834.535]:504.064.36(100)

**МОЩНЫЕ ВИБРАТОРЫ В ПРОБЛЕМЕ КАЛИБРОВКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ СЕТИ ISMS**<sup>1</sup>Алексеев А.С., <sup>1</sup>Глинский Б.М., <sup>2</sup>Еманов А.Ф., <sup>1</sup>Ковалевский В.В., <sup>2</sup>Соловьев В.М., <sup>1</sup>Хайретдинов М.С.<sup>1</sup>Институт Вычислительной Математики и Математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия<sup>2</sup>Алтае-Саянская Опытная Методическая Экспедиция СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Рассматривается вариант калибровки сейсмических станций и сейсмических трасс на основе применения мощных вибросейсмических источников, повышающий точность определения параметров сейсмических событий. Обсуждаются вопросы экспериментального доказательства применения вибраторов для целей калибровки.

**ВВЕДЕНИЕ**

Основная трудность точного определения параметров сейсмических событий Международной Системой Сейсмического Мониторинга (ISMS) связана с существенной горизонтальной и вертикальной неоднородностью коры и верхней мантии Земли, которая вносит большие вариации параметров сейсмических волн, регистрируемых на разном удалении и при разных азимутах расположения станций относительно источника. Величина уклонений реально зарегистрированных группой станций времен прихода и амплитуды волн от значений, усредненных по азимутам стандартных (глобальных или региональных) годографов и одномерных калибровочных кривых, и определяют ошибки вычисления параметров источников.

В сейсмологии принято использовать усредненные по регионам и по азимутам хорошо известные глобальные годографы Джеффриса-Булена, Гутенберга, Херрина и др., а также единую калибровочную кривую амплитуд. Часто в практике работ по оценке координат и энергетических характеристик взрывов затруднительно привлечь, кроме этих усредненных законов, какую-либо более точную информацию о влиянии региональных особенностей строения коры и мантии Земли на времена и амплитуду волн. При этом нередки ошибки, величиной порядка 1-2 сек в определении момента взрыва, 50-80 км - в оценке координат эпицентра, 50-100 % - в оценке мощности взрыва. Необходим переход на использование многомерных годографов и амплитудных кривых. Даже простой учет поправок во времена и амплитуду волн для реальных трасс, кинематических и динамических поправок для сейсмических станций способен поднять точность определения времени, координат и мощности взрывов до 30-40 % даже при наиболее неблагоприятных расположениях группы пунктов "источник - приемники" относительно существенных горизонтальных неоднородностей Земли. Такие поправки определяются по результатам калибровки сейсмических трасс и сейсмических станций, которая, после запрещения ядерных испытаний, производится в основном с использованием промышленных и специальных геофизических взрывов в шахтах и скважинах. Наиболее используемые в настоящее время модели для

сейсмической калибровки - модель Гренобльского университета, модель 191, Австралийская модель и др., - не обеспечивают требуемую точность определения сейсмических событий.

Начиная с 50-х годов, в связи с задачами нефтяной геологоразведки, а с 60-х годов, в связи с проблемой контроля ядерных испытаний, было выполнено большое число работ методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) - [2,5,7,9,12], и методом профильных сейсмологических наблюдений [9] в СССР и в США [5,9,3]. По данным советских и американских геофизиков [1,9,12] вариации годографов первых волн в коре и мантии могут достигать 4--5 сек на расстоянии более 1200 км от источника в зависимости от типа геологической провинции и азимута эпицентра [12]. Еще более значимы вариации амплитуд в зависимости от расстояния и в зависимости от азимута эпицентра. На расстояниях 1200--1800 км для разных геологических регионов вариации амплитуд на равных расстояниях могут составлять 1--2 порядка. Величина вариации может возрасти до 2--3 порядков, если источник и регистрирующая станция расположены в разнотипных геологических регионах и в различных поверхностных условиях. Это подтверждают и данные А. Дейнти (DSWA, USA), приведенные в г. Обнинске на встрече технических экспертов по проблеме калибровки методов контроля Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Модель Гренобльского университета дает отклонения по временам пробега  $\pm 5$  секунд. Указанные причины приводят к определению места возможного взрыва на площади порядка 10 тыс. кв. км, тогда как по условиям ДВЗЯИ инспекция на месте должна проводиться в пределах площади порядка 1 тыс. кв. км.

Улучшению результатов определения места сейсмического события может служить создание трехмерной модели Земли и уточнение ее по данным взрывов, землетрясений и мощных вибраторов. Однако современные сведения еще не достаточно полны для создания трехмерной модели строения коры и верхней мантии Земли. В связи с этим, приходится специально рассматривать каждую конкретную ситуацию, ориентируясь как на имеющуюся информацию о характере строения Земли в

рассматриваемом регионе, так и на эмпирические оценки тензора Грина, построенные с помощью калибровочных измерений по конкретной сети: источник – группа станций.

В настоящее время в целях калибровки применяют промышленные взрывы, которые в силу их специфики, (коротко- и длинноразмедленные) не позволяют получать повторяющиеся сейсмограммы даже при проведении последовательных взрывов в одном карьере. Сохраняя близкие кинематические характеристики, взрывы дают очень значительные вариации динамических характеристик сейсмограмм. Поэтому дальность регистрации даже мощных промышленных взрывов (100-200 тонн) не превосходит 400-500 км. Более высокие метрологические характеристики имеют специальные геофизические взрывы. Однако широкое использование взрывов для калибровки сейсмических трасс ограничено как высокой стоимостью, так и, в гораздо большей степени, требованиями экологии. Поэтому более перспективным направлением представляется калибровка сейсмических станций и сейсмических трасс на основе применения мощных низкочастотных вибраторов, чему посвящена данная работа, выполненная при поддержке грантов РФФИ № 00-05-65292, МНТЦ № 1067.

**МОЩНЫЕ ВИБРАТОРЫ, СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ, ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СЕТИ СТАНЦИЙ**

Силами ИВМиМГ, АСОМСЭ СО РАН, НИИИТ Минатома в рамках проекта МНТЦ 1067 разрабатывается технология калибровки сейсмических трасс и сейсмических станций с помощью зондирующих сигналов, характеризующихся высокими метрологическими характеристиками. Такие сигналы могут быть получены от мощных вибраторов, управляемых по амплитуде, частоте и времени.

В Сибирском отделении РАН накоплен значительный научно-технический потенциал для достижения целей данного проекта. За последние 15 лет был разработан и создан ряд мощных низкочастотных вибраторов с возмущающей силой до 100 тонн и диапазоном частот 2-15 Гц. Выполнен большой объем экспериментальных работ по исследованию сейсмических полей вибрационных источников на расстояниях до 1000 км, по разработке метрологических основ вибросейсмического зондирования с использованием мощных низкочастотных вибраторов.

Из разработанных вибрационных источников наиболее мощным является вибратор ЦВ-100, который создает с помощью синхронно вращающихся дебалансов, установленных на платформе (рис. 1), вертикально ориентированную возмущающую силу амплитудой 100 тонн. Использование режима излучения вблизи резонансной частоты системы "вибратор-грунт", лежащей в районе 7 Гц, позволяет многократно увеличить мощность излучения. В

экспериментах с этим источником удалось получить вибрационные сейсмограммы на расстоянии до 356 км.

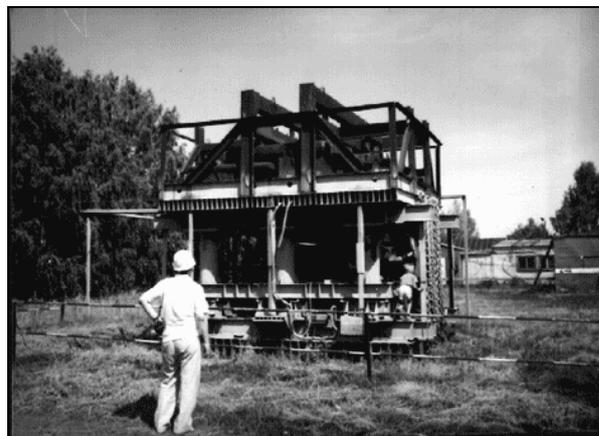


Рис.1. Центробежный вибратор ЦВ-100



Рис.2. Гидрорезонансный вибратор ГРВ-50

Осуществлена регистрация монохроматических сигналов на расстоянии до 1000 км. Источник аналогичного типа - ЦВ-40 является транспортируемым. Он развивает усилие 40-50 тс и имеет рабочий диапазон частот 5-15 Гц.

Гидрорезонансные вибраторы ГРВ-50 (рис.2) и ГРВ-200 с усилием 50 и 200 тонн, соответственно, и частотным диапазоном 2-10 Гц созданы по резонансной схеме [3,11]. В качестве инерционной массы в них используется столб жидкости, колеблющийся в вертикальном или горизонтальном корпусе между пневматическими пружинами. Возбуждение колебаний осуществляется периодической подачей сжатого воздуха в пневмопружину синфазно с колебаниями инерционной массы при помощи специ-

ально разработанных быстродействующих клапанов с гидравлическим приводом и компьютерной системой управления. Гидрорезонансная схема построения вибраторов сделала возможным масштабирование, то есть увеличение размеров источника и, следовательно, мощностных и силовых параметров. Это позволило разработать проект сверхмощных вибраторов для глобальной сейсмологии, отказавшись от машиностроительной концепции и используя совершенно иную технологию – шахтостроение. Разработан проект водозаполненного шахтного источника на резонансном принципе диаметром 12 м и глубиной 100 м [4]. Такой источник может обеспечить амплитуду силы до 10000 тонн и дальность регистрации до 10 тысяч километров.

Разработка мощных вибросейсмических источников позволила реализовывать более широкие возможности исходной идеи. Достижимый эффект позволяет говорить о волновом эквиваленте мощных источников средним землетрясениям при длительном накоплении слабых вибрационных сигналов и о приближении этого метода сейсмологии по разрешающей способности исследования строения Земной коры и мониторинга очаговых зон к разрешающей способности сейсмической разведки.

Другой, не менее важной компонентой вибросейсмической техники, является система регистрации полевых данных, которая может быть удалена на десятки и сотни километров от источника.

Одной из первых систем, разработанных в ИВМ и МГ для проведения большемасштабных вибросейсмических экспериментов, является многоканальная телеметрическая станция ВИРС [14]. Система разделена на две части: пять полевых линейных модулей, обладающих климатической защитой, расположенных непосредственно у сейсмометров; бортовой модуль, расположенный в кузове автомобиля повышенной проходимости. В линейных модулях сейсмические сигналы с пяти трехкомпонентных источников СК-1П со ступенчатой регулировкой коэффициента усиления до  $2 \cdot 10^6$  в полосе частот 0-12 Гц с использованием распределенной системы сбора, основанной на принципе временного уплотнения, передаются по коаксиальному кабелю в бортовой модуль в стробированной форме. В бортовом модуле все 15 сигналов восстанавливаются в аналоговую форму, преобразуются в цифровую форму и регистрируются персональным компьютером, обеспечивающим проведение экспресс-обработки данных. Станция ВИРС имеет возможность создать сейсмическую антенну из пяти трехкомпонентных датчиков с максимальным расстоянием между датчиками – 200 метров. Разработан вариант системы, позволяющий добавить еще 5 датчиков, т.е. реализовать площадную сейсмическую антенну с апертурой 1 км x 1 км.

Другая разработанная система сбора данных КРОСС построена по принципу локальной компью-

терной сети, в которой рядом с датчиками установлены модули периферийных контроллеров, содержащих в своем составе микропроцессор для управления аналого-цифровым преобразователем и организации интерфейса линии связи. Также как на станции ВИРС, данные поступают в регистратор, построенный на базе персонального компьютера IBM PC [7]. Система имеет 12 каналов, позволяющих расставить датчики с максимальным интервалом 100 м.

На основе систем ВИРС и КРОСС разработаны более компактные регистраторы ВИРС-КА и РОСА, обладающие существенно меньшим энергопотреблением.

Все системы сбора данных снабжены GPS-приемниками. Взаимодействие с компьютером реализовано на уровне программного обмена с компьютером и аппаратной установки времени по секундным импульсам.

Мощные сейсмические вибраторы дают возможность определения поправок времени пробега и амплитуды волн с повышенной точностью. Это может быть выполнено на основе анализа вибрационных сейсмограмм, получаемых при излучении вибратором колебаний во всем диапазоне частот. В этом же качестве могут использоваться сигналы с частотной модуляцией (сви́п-сигналы), фазоманипулированные либо шумоподобные сигналы, то есть сигналы, описываемые узкой корреляционной функцией. В точке регистрации восстанавливается вибрационная сейсмограмма (аналог импульсной сейсмограммы) как результат корреляционной свертки продолжительных сейсмических сигналов с излученным сигналом. Полученная таким образом сейсмограмма отражает основные типы сейсмических волн, для которых могут быть измерены характеристики.

К важным метрологическим преимуществам вибраторов в задачах калибровки относится высокая стабильность и идеальная повторяемость излучаемых сигналов. Это позволяет получать идентичные сейсмограммы в точке регистрации для их последующей статистической обработки с целью повышения точности определения калибровочных характеристик. Вибрационные источники, в отличие от взрывов, являются экологически чистыми и при обеспечении их мобильности позволяют проводить калибровку сейсмических трасс практически из любого района.

Многочисленные эксперименты по вибросейсмическому глубинному зондированию Земли, проведенные в Сибирском отделении РАН в течение последних 15-ти лет, дают основания для реализации проекта по разработке технологии калибровки сейсмических трасс и сейсмических станций сети Международной системы сейсмического мониторинга с использованием мощных сейсмических вибраторов.

### НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одно из направлений экспериментов, проводимых в Сибирском отделении РАН с мощными сейсмическими вибраторами, - обнаружение изменений напряженно-деформированного состояния среды, вызванного лунно-солнечными приливами. Работы начаты в 1996 г. на базах наблюдений 430 и 520 км и продолжены в полевой сезон 1997 г. Экспериментально удалось обнаружить связь временных вариаций волнового поля вибратора при излучении гармонических сигналов с вариациями силы тяжести при лунно-солнечных приливах. Целью экспериментов 1997 г. было определение чувствительности различных типов волн к изменению напряженно-деформированного состояния среды. В качестве источника использовался 100 тонный центробежный вибратор ЦВ-100, расположенный на Быстровском полигоне (вблизи Новосибирска). Регистрация сигналов производилась на расстоянии 356 км вблизи пос. Савушки (Алтайский край). Здесь была развернута 15 канальная сейсмическая антенна системы ВИРС, ориентированная на источник, состоящая из 5 трехкомпонентных датчиков, размещенных с шагом 200 метров. Сеансы зондирования проводились непрерывно в течение 4 суток на гармонических сигналах, частотой 6.3 Гц и 7.0 Гц, длительностью 20 - 25 минут через каждые три часа и на свип-сигналах, также в течение 4 суток. Синхронизация сигналов излучения и приема осуществлялась с применением GPS-system перед каждым сеансом. Обработка временных рядов вариаций амплитуд и фаз вибрационных сигналов показала, что в спектре вариаций параметров вибрационных сигналов, усредненном по всем датчикам антенны, имеются максимумы с периодами, близкими к 12 и 24 часам, хорошо коррелированные с периодами приливных вариаций силы тяжести. Полученные оценки величин вариаций параметров вибрационных сигналов показали, что по результатам проведенных экспериментов влияние земных приливов скорости сейсмических волн на базах 356–430 км может характеризоваться величиной  $10^{-5}$ – $10^{-6}$ . Эти оценки получены впервые с использованием высокостабильных вибросейсмических источников и наиболее точных фазовых методов регистрации. Обнаружение столь малых проявлений земных приливов и изменений сейсмических характеристик среды свидетельствует о высоких метрологических свойствах разработанной системы вибросейсмического мониторинга, что подтверждает возможность ее использования для изучения даже очень слабых проявлений геодинамических процессов, которые могут служить признаками готовящихся землетрясений в сейсмически опасных зонах. В этом же эксперименте проводились зондирования с применением свип-сигналов. На рис.3 приведены примеры коррелограм, полученных на расстоянии 356 км.

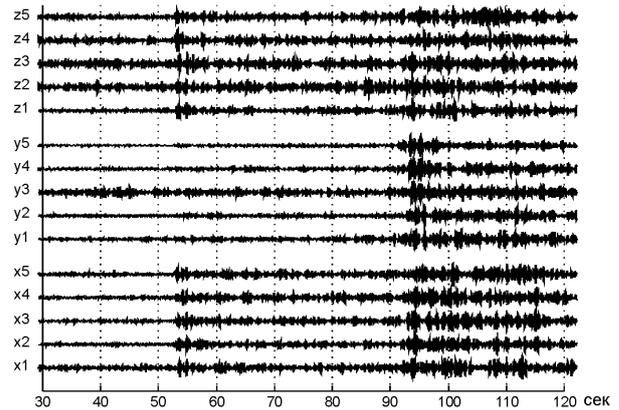


Рис.3. Вибрационные сейсмограммы на расстоянии 356км. Вибратор ЦВ-10. Регистрирующий комплекс ВИРС

Описанные работы по своей методике и базам наблюдений близки целям предлагаемого проекта по калибровке сейсмических трасс с помощью мощных вибраторов. Одним из ключевых моментов предлагаемого метода калибровки сети станций ISMS является сравнение волновых полей, возбуждаемых промышленными взрывами и мощными вибросейсмическими источниками с точки зрения определения первых вступлений и динамики волн. Для проведения такого сравнения в июле 2000 г. совместными усилиями нескольких организаций: ИВМиМГ, АСОМСЭ СО РАН, Россия; Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Казахстан; Колумбийский университет и др. организации, США был поставлен эксперимент по регистрации волновых полей на трассе "Быстровский полигон – Семипалатинский испытательный полигон" протяженностью 620 км. На Быстровском полигоне использовался стационарный вибратор, развивавший усилие на грунт до 100 тонн, на Семипалатинском полигоне был проведен 100 - тонный химический взрыв - эксперимент Омега-3.

Для калибровочных целей на Семипалатинском испытательном полигоне, кроме экспериментального взрыва Омега-3, поведены экспериментальные взрывы Омега-1, Омега-2, которые также были зарегистрированы на Быстровском полигоне. Используя принцип взаимности можно доказать идентичность времен вступлений волн на вибрационных и взрывных сейсмограммах и сопоставить волновые поля.

Регистрация волновых полей калибровочного взрыва Омега-3 и вибратора проводилась на российской части трассы в 6 пунктах, удаленных от вибратора на 40, 100, 300, 340 и 370 км, практически до границы с Казахстаном. Один из регистраторов был установлен непосредственно вблизи вибратора. В качестве регистраторов использовались вышеописанные системы ВИРС, ВИРС-КА, КРОСС-РС, РОСА, регистраторы «Геон» и «Байкал», принадлежащие АСОМСЭ СО РАН. Все системы были оснащены GPS-приемниками для привязки пунктов на местности и временной синхронизации. От Семипа-

латинского испытательного полигона до границы с Россией были установлены регистраторы Института геофизических исследований НЯЦ РК (Казахстан), станции RefTek, принадлежащие Колумбийскому университету (США). На рис. 4 приведен пример регистрации вибратора на расстоянии 342 км от Быстровского полигона. В настоящее время проводится обработка данных эксперимента.

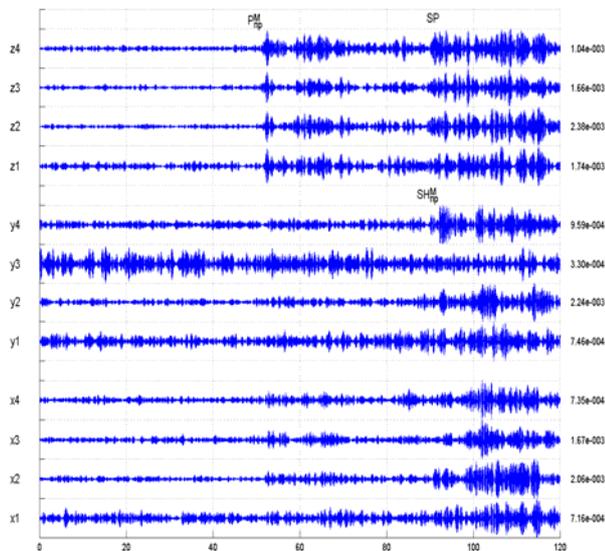


Рис.4. Вибрационные сейсмограммы на расстоянии 342км. Вибратор ЦВ-100. Регистрирующий комплекс КРОСС-РС

## Выводы

Проведенные эксперименты показали принципиальную возможность применения сверхтяжелых низкочастотных вибросейсмических источников для калибровки сейсмических станций и сейсмических трасс Международной Системы Сейсмического Мониторинга, а также для других важных целей - изучения глубинного строения Земли, изучения динамики деформационных процессов в земной коре, проведения мониторинга сейсмически опасных зон и глобальной вибросейсмической геотомографии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С., Рябой В.З. Новая модель строения верхней мантии Земли/ Природа,. 1976, N 7.
2. Алексеев А.С., Рябой В.З. Модель строения верхней мантии по объемным сейсмическим волнам/Строение земной коры и верхней мантии по данным сейсмических исследований – Киев: Наукова думка, 1977 - с. 67-83.
3. А.с. СССР №1829656 Вибрационный источник сейсмических волн/ Алексеев А.С., Ковалевский В.В, Пушной Б.М., Босенко П.В., Бурый Л.В. - 13.10.1992
4. Алексеев А. С., Глинский Б.М., В.В.Ковалевский, Пушной Б. М. Вибросейсмические источники для глобальной томографии земли//Развитие методов и средств экспериментальной геофизики/ М.: ОИФЗ РАН - 1997, вып.2.- с. 142-148.
5. Archambeau С.В., Flinn E.A., Lambert D.C. Fine structure of the Upper Mantle/ Yonrual Geophysics Res. - 1969. vol 74, N 25- pp 5825- 5865.
6. Гамбурцев Г.А.Избранные труды - Москва, Наука - 1960.
7. Григорюк А. П., Салаватов Р.М. Системы регистрации вибросейсмической информации// Методы изучения, строение и мониторинг литосферы - Новосибирск, НИЦ ОИГТМ , 1998. - с. 55-60.
8. Косминская И.П. Метод глубинного сейсмического зондирования земной коры и верхней мантии. - Москва, Наука, 1968.
9. Herrin E, Taggart Y. Regional variations in Pn velocity and their effect on the location of epicenters// Bull Seismol. Soc. Am. 1962, vol 52, N 5. - pp 1037-1046.
10. Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра// Экспериментальная сейсмика. - Москва, Наука, 1964.
11. Пушной Б.М.,Ковалевский В.В и др. Вибрационный гидрорезонансный источник сейсмических волн// Проблемно-ориентированные вычислительные комплексы.- Новосибирск, 1992. - с.39 - 44.
12. Рябой В.З. Структура верхней мантии территории СССР по сейсмическим данным. - Москва, Недра, 1979.
13. Toksoz M.N., Chinnery m.a., Anderson D.I. Jnhomogeneities in the Earth's mantle//. Groph. Yourn. Roy. Astron. Soc., 1967, N 13 - pp 31- 59.
14. Шорохов М.Н. Система измерения и экспресс-обработки вибросейсмических сигналов//. Математическое моделирование в геофизике/ Труды ВЦ СО РАН, вып. 4. - с.128-146

**ҚУАТТЫ ДІРЛДІТКІШТЕР ISMS ЖЕЛІСІНДЕГІ СЕЙСМИКАЛЫҚ  
СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ КАЛИБРЛЕУ ПРОБЛЕМАСЫНДА**

<sup>1</sup>А.С. Алексеев, <sup>1</sup>Б.М. Глинский, <sup>2</sup>А.Ф. Еманов, <sup>1</sup>В.В. Ковалевский, <sup>2</sup>В.М. Соловьев, <sup>1</sup>М.С. Хайретдинов

<sup>1</sup>*Есептеуіш математика және Математикалық геофизика институты*

<sup>2</sup>*РФА Алтай-Саян Тәжірибелі-Әдістемелік экспедициясы*

Халықаралық Сейсмикалық Мониторинг Жүйесімен сейсмикалық оқиғаларының параметрлерін ұқыпты анықтауының негізгі қиыншылығы Жердің қыртысы мен жоғарғы мантиясының горизонталь және тік әр тектілігіне байланысты. Қуатты дірілді көздерін қолдану негізінде сейсмикалық станциялар мен сейсмикалық трассаларын калибрлеу нұсқалары қаралуда. Эксперименталдық дәлелдеу мәселелері талқылауда.

**POWERFUL VIBRATORS IN THE PROBLEM OF SEISMIC STATIONS OF THE ISMS NETWORK**

<sup>1</sup>A.S. Alekseev, <sup>1</sup>B.M. Glinsky, <sup>2</sup>A.F. Emanov, <sup>1</sup>V.V. Kovalevsky, <sup>2</sup>V.M. Solovyov, <sup>1</sup>M.S. Khairtdinov

<sup>1</sup>*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics*

<sup>2</sup>*Altai-Sayan Experimental Methodological Expedition, SB RAS*

The main difficulty of the International Monitoring System in parameterization of seismic events is associated with considerable horizontal and vertical inhomogeneity of Earth's crust. The issue of an experimental proof of the equivalence of explosion and vibration wave fields is being discussed as well as the issue of methodical peculiarities of vibrator application for the calibration of the IMS network.

УДК [550.34.08:681.325]:621.039.9

**О РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИИ АППАРАТУРЫ С ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ В ПРАКТИКУ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И КОНТРОЛЯ ЗА ПРОВЕДЕНИЕМ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ**

Башилов И.П., Коновалов В.А.

*Конструкторское бюро геофизического приборостроения Российской Академии Наук, г. Москва*

Излагается история создания приборов с цифровой регистрацией геофизических полей, дается обзор системы цифровой регистрации с использованием современных средств на основе персональных компьютеров.

**ВВЕДЕНИЕ**

В начале 60-х годов группе специалистов АН СССР было поручено проведение научно-исследовательских работ по созданию автоматизированных геофизических систем для обнаружения и идентификации ядерных взрывов. Работу возглавил академик М.А.Садовский. Эта ответственная и сложная научно-техническая проблема потребовала развития системного подхода, принципиально новых аппаратных разработок, методов анализа и обработки большого информационного потока, поскольку гальванометрический метод регистрации и характеристики существовавшей в то время аппаратуры не соответствовали поставленной задаче. На первый план были выдвинуты вопросы разработки новых технических средств регистрации, сбора и обработки данных. В качестве основного было выбрано направление по созданию цифровых систем с ориентацией на принципиальные возможности ЭВМ в обработке больших цифровых информационных массивов, применение соответствующих вычислительных алгоритмов. Как показала дальнейшая практика, выбор пути оказался правильным и совпал с общемировой тенденцией. К решению проблем были привлечены ведущие ученые – сейсмологи и специалисты в области геофизического приборостроения (В.И. Кейлис-Борок, И.П. Пасечник, С.Д. Коган, С.Я. Коган, П.В. Кевлишвили, Г.Л. Шнирман, Д.П. Киринос, Е.С. Борисевич и многие другие).

**РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ЦИФРОВОМ ВИДЕ**

В 1960 г. в Спецсекторе института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР была организована лаборатория электронной аппаратуры, в которую вошли сотрудники из различных отделов института (О. Сорохтин, Н. Кабыченко, В. Ан, И. Абрамович, Ж. Аптекман, А. Коркошко, В. Рыжов, Г. Барковский, В. Тихонова и многие другие). Основная задача лаборатории была определена как разработка комплекта цифровых преобразователей для геофизических исследований. Инициатором проекта был О.Г. Сорохтин, но лабораторию возглавили В.Л. Бакиновский и А.П. Осадчий. Разрабатываемый комплект аппаратуры получил кодовое название "УДАР" (Устройство Для Автоматической Регистрации). Обиходная аббревиатура других разрабаты-

ваемых устройств: преобразователя аналог - цифра (АЦП) - "МАРУСЯ" (Малогобаритное Автоматизированное Регистрирующее Устройство Сейсмических Явлений); преобразователя цифра - аналог (ЦАП) - "ДУСЯ" (Декодирующее Устройство Сейсмических Явлений). Элементы электронных схем: триггеров, схем совпадения, блокинг-генераторов и т.п., разрабатывались "с нуля", макетировались, испытывались в термостатах и холодильниках

Внедрение цифровой регистрации в практику сейсмологических наблюдений проходило стремительно, что, по-видимому, было связано с общей программой создания "Ядерного щита", о чем можно судить по следующей хронике.

*Октябрь 1961г.* Подмосковная станция "Михнево" ("Земля Гамбурцева"). Первое испытание макета цифровой аппаратуры. Впервые в цифровом виде был зарегистрирован подземный ядерный взрыв, произведенный на Семипалатинском испытательном полигоне.

*Декабрь 1961г.-февраль 1962г.* Сейсмическая станция "Или" на берегу реки с таким же названием (ныне - на дне Капчагайского водохранилища). Недалеко от сейсмостанции отряд под руководством Н. Плескача разместил группу из 25-ти вертикальных сейсмометров на площади 2,5×2,5 кв.км. Задача заключалась в регистрации сигнала на опытном образце 25-ти канальной цифровой станции. По-видимому, это был первый эксперимент в СССР по сейсмическому группированию.

*Октябрь-ноябрь 1962г.* Сейсмическая станция "Боровое". Начальник станции Ася Рубинштейн. Задача - регистрация возмущений электромагнитного поля Земли от высотных ядерных взрывов. Состав аппаратуры - станция естественных полей, ранее разработанная под руководством Н.П. Владимирова в отделе электрометрии ИФЗ, и макет цифровой станции. Впервые использовался цифровой магнитофон, разработанный в ОКБ ИФЗ.

По результатам полевых испытаний были внесены предложения по совершенствованию аппаратуры и методики измерений. К 1964 г. ОКБ ИФЗ выпустил первую партию комплектов цифровой аппаратуры "КОД". Три первых комплекта было решено поставить на сейсмических станциях "Талгар", "Фрунзе", "Нарын". Ввод в эксплуатацию этих цифровых станций выполнен отрядом в составе В. Ан,

Э. Зеликман, А. Сократов, А. Чубурков, И. Дулев, но в работе принимали участие практически все сотрудники лаборатории электронной аппаратуры. Большая помощь оказана Комплексной сейсмологической экспедицией ИФЗ - начальником экспедиции И.Л. Нерсесовым, впоследствии чл.-корр. Армянской ССР, сотрудниками Старченко, Кривошеевыми, Мызニコ, Т.Раутиан, В.Халтуриным, Николаевым, Г.Аксенович, Болдыревыми, Вороновыми, Сметаниными и многие другие.

Дальнейшее развитие цифровые сейсмические наблюдения получили в Боровом, где на базе сейсмостанции лаборатории 5-с Спецсектора ИФЗ (нач.станции Х.Д. Рубинштейн) в 1965 году была организована "экспедиция N 4 Спецсектора ИФЗ" (ныне "Геофизическая обсерватория "Боровое" Института геофизических исследований Национально-ядерного Центра Республики Казахстан). Экспедицией проводился комплекс наблюдений - сейсмологические, магнитного поля Земли (абсолютного и вариаций), теллурических токов, вариаций акустического давления, ионосферные и метеорологические, скорости распространения радиоволн. Сейчас трудно перечислить все типы аппаратуры, которые проходили испытания в Боровом. Одно их перечисление заняло бы несколько страниц. Была и такая экзотическая аппаратура, как лунный сейсмометр, сейсмоакустический датчик для наблюдений на подводных лодках и др. Однако наибольшее внимание уделялось сейсмометрической аппаратуре. Это было вызвано, с одной стороны, относительно невысоким уровнем естественных и промышленных микросейсм, а, с другой стороны, высокой эффективностью регистрации продольных сейсмических волн. Район Кокчетавского антиклинория, где расположена геофизическая станция "Боровое", оказался наиболее чувствительным местом на территории бывшего СССР по отношению к событиям на Невадском испытательном полигоне, несмотря на значительное (10000км.) расстояние до него. За период с 15 сентября 1961 г. по 23 сентября 1992 г. станцией "Боровое" было зарегистрировано 484 взрывов, произведенных на территории США, из которых 56 ранее неопубликованных ("секретных"). Нижний порог чувствительности по событиям на Невадском полигоне оценивается магнитудой  $m_b=3,9-4,0$ , тогда как с уровня магнитуды  $m_b = 4,2$  регистрировались практически все взрывы. Основное внимание уделялось испытаниям новых образцов цифровых сейсмических станций: Измерительный Пункт "Звезда 1", разработанный по заданию ССК, Устройство Выборки Экстремальных Значений, Станции Цифровой Регистрации, Передвижные Цифровые Станции, разработанные в Спецсекторе ИФЗ. Все перечисленные разработки осуществлялись, в основном, в лаборатории электронной автоматики (лаборатория "8С"), которую возглавлял П.В.Кевлишвилли, а непосредственно на обеспече-

ние работ, планировавшихся в экспедиции N 4, была ориентирована группа сотрудников, руководимая И.П. Башиловым (в настоящее время директор ОКБ ИФЗ РАН, д.т.н.) с привлечением ряда сотрудников лаборатории И.П. Пасечника (Н. Федосеенко, А. Денискова, Н. Недошивина.). Перечислить всех сотрудников ИФЗ и Спецсектора, принимавших участие в работах, в рамках этих заметок просто невозможно. Позволим перечислить хотя бы некоторых: В. Лампей, В. Морозов, Ю. Ушаков, В. Акулов, В. Нестеров, В. Сизов, И. Башилов, Р. Маркарян, В. Кузнецова, В. Бурчик, В. Медникова, И. Савинова, С. Дараган, А. Васильев, В.Точиловский. К сожалению, не все разработки были внедрены в практику сейсмологических исследований. Например, комплекс "Измерительный пункт "Звезда" обеспечивал регистрацию 33 сейсмическими каналами, включая трехкомпонентные широкополосные (КС, ДС), 8-канальные узкополосные (ЧИСС) измерения, а также измерения вертикальной компоненты системой "Малый треугольник" (Боровое-Бармашино-Жукей). Вся информация могла сохраняться в течение 5 минут на магнитной петле задержки и по командам анализатора сейсмических сигналов переписываться на магнитофон. Одновременно информация выдавалась на вычислительную машину для оперативной обработки параметров сигнала и определения координат эпицентра сейсмического события. О первой в экспедиции N 4 вычислительной машине СЦВМ "Планета" следует сказать особо. СЦВМ "Планета" была разработана в одном из институтов Министерства среднего машиностроения (ведущий разработчик зам.гл. конструктора Ю.Н.Бармаков) специально для решения задач 12 ГУМО МО СССР, а затем нашла применение в работе аппаратных комплексов ССК. Надежность ее для того времени (70-ые годы) была удивительной. В экспедиции она работала безотказно и непрерывно более 6 лет, за исключением времени регламентных профилактик.

На этапе ввода и установки СЦВМ "Планета" не только в экспедиции N4, но и на других пунктах регистрации (лабораториях) ССК, было значительным участие одного из ведущих разработчиков СЦВМ "Планета", "Коралл-1" и УС "Коралл" В.Смирнова. Сотрудники Спецсектора ИФЗ работали в Боровом в тесном контакте со специалистами ССК МО.

В 1969г. была сформирована в/ч 22158, где в практику боевой оперативной работы внедрялись новые системы и методики контроля за проведением ядерных испытаний, разработанные в бывш. СССР. Для создания Большебазовой Системы Группирования (БСГ) было развернуто строительство шахты, группы "Крест" и трех измерительных пунктов (ИП) "Чкалово", "Зеренда", "Восточный" с обеспечением передачи их информации по телеметрическим каналам связи РРЛ "Контейнер". В интересах ССК по-

добной аппаратурой с цифровой регистрацией были оснащены РССГ не только в Боровом, но и в Майле-Сае (бывш. Киргизская ССР) и Житомире (бывш. Украинская ССР).

**ПРИБОРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ  
ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

КБ «Геофизприбор» РАН ведет разработку, конструирование и изготовление целого ряда аппаратуры, начиная с уникальных первичных преобразователей для измерения геофизических параметров и кончая автоматизированными цифровыми системами и регистрирующими комплексами. При этом используются новейшие достижения электронной технологии, материаловедения и средств вычислительной техники. Выпускаемая аппаратура проходит метрологическую проверку на уникальном стендовом оборудовании. В последние годы КБ проводит собственные научно-методические исследования в области контроля техногенных процессов. КБ имеет опыт организации как стационарных систем наблюдений с передачей данных в центр сбора и обработки информации, так и передвижных одиночных систем и групп с использованием портативной аппаратуры.

В КБ разрабатываются и выпускаются сейсмические и геофизические комплексы, предназначенные для решения прикладных задач геофизического контроля. Сюда относятся:

- системы геофизического контроля подземных захоронений токсичных отходов и нефтяных месторождений;
- аппаратура для геофизического контроля безопасности атомных и гидроэлектростанций;
- аппаратура для контроля техногенных вибраций;
- геофизические мониторинги городов, отдельных зданий и сооружений города;
- геофизический мониторинг на дне акваторий.

Кроме выпуска аппаратуры, КБ «Геофизприбор» занимается организацией наблюдательных сетей и, по крайней мере, на начальной стадии участвует в проведении наблюдений и в обработке получаемой информации.

**Датчики**

Датчики первичной информации, преобразующие физические процессы в электрический сигнал, составляют наиболее сложную часть практически любой геофизической системы. КБ «Геофизприбор» имеет многолетний опыт их разработки, конструирования и калибровки. Датчики КБ отличаются высокой надежностью и оригинальной конструкцией, некоторые из них уникальны. Выпускаемые приборы обладают широким частотным и динамическим диапазоном, высоким разрешением и стабильностью и соответствуют современным техническим требованиям, превосходя по ряду характеристик зарубежные аналоги. Именно эти особенности при значительно меньшей стоимости делает их конкурентоспособными на мировом рынке геофизической аппаратуры.

*Сейсмоприемники.* Необходимость высокоточных измерений при большом динамическом диапазоне делает сейсмоприемник наиболее сложным, трудоемким и дорогостоящим элементом всей системы сейсмической регистрации. В настоящее время КБ «Геофизприбор» РАН располагает набором сейсмоприемников, представленных в табл.1.

Разработанные сейсмоприемники - это, в основном, электронные приборы с обратными связями, соответствующие современным мировым требованиям. Все датчики предназначены для измерения скоростей смещений, но могут быть переориентированы на регистрацию смещений и ускорений. На базе датчиков СМ-4 и СМ-5 разработаны варианты донных приборов для работы на дне акваторий. Частотный состав регистрируемых сейсмических колебаний характеризуется широким диапазоном - от тысячных долей Герца до тысячи Герц.

*Датчики для измерения медленных движений, метео- и гидрогеологических параметров.*

В табл.2. приведены сведения о датчиках для измерения медленных движений, а также для метео- и гидрогеологических параметров, производимых КБ «Геофизприбор»

*Табл. 1. Перечень сейсмоприемников, производимых КБ "Геофизприбор"*

Основные характеристики	Сейсмоприёмники					
	СМ -3КВЭ	СМ-4	СМ-4Б	СМ-5	СМ-3Е	КСЭШ-Р
Рабочий диапазон частот, Гц	0,5-100	0,03-40	0,006-20	0,05-40	0,01-30	0,0028 -10
Коэффициент преобразования	200- $8 \times 10^5$ В·с/м	200 В·с/м	1,3 В·с <sup>2</sup> /м	200 В·с/м	800 В·с/м	3000 В·с/м
Динамический диапазон, не менее	120	120	110	120	120	120
Электропитание						
-напряжение, В	±12	±12	±12	±12	±12	±12
-потребление, Ватт, не более	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Масса, кг	8,2	2,5	2,5	0,9	8,2	20

Примечания: все сейсмоприёмники выполняются в скважинной (кроме КСЭШ-Р), остаментной и трехкомпонентной модификациях

Табл. 2. Перечень сейсмических датчиков, производимых КБ "Геофизприбор"

Технические характеристики	Наклономер маятниковый, 2-коорд.	Деформометр кварцевый	Нивелир гидростатич.	Уровнемер	Измеритель вариаций атмосферного давления	Измеритель вариаций температуры
Предельное разрешение	$5 \cdot 10^{-4}$ угл.с	$5 \cdot 10^{-4}$ мкм	$5 \cdot 10^{-3}$ мкм	$5 \cdot 10^{-4}$ м	5 Па	$10^{-2}$ °С
Диапазон измерений	$\pm 30$ угл.с	$\pm 300$ мкм	$\pm 5$ мм	от 0 до 5 м	от 90 кПа до 110 кПа	от + 4 °С до + 50 °С
База измерений	15 см	до 300 м	до 300 м	до 300м	-	-
Рабочий диапазон частот (Гц)	0 $\div$ 0,01 Гц	0 $\div$ 0,01 Гц	0 $\div$ 0,01 Гц	0 $\div$ 0,01 Гц	0 $\div$ 0,01 Гц	0 $\div$ 0,01 Гц
Коэффициент преобразования	$\geq 10^{-4}$ укл.сек/Гц	$\geq 10^{-4}$ мкм/Гц	$\geq 10^{-3}$ мкм/Гц	$\geq 0,1$ мкм/Гц	$\geq 1$ Па/Гц	$\geq 3 \cdot 10^{-3}$ Рс/Гц
Динамический диапазон, дБ	120	120	120	80	80	80
Габаритные размеры	$\varnothing 70 \times 150$	200 $\times$ 150 $\times$ 120	$\varnothing 150 \times 132$	$\varnothing 86$ h $\leq$ 145	$\varnothing 86$ h=126	$\varnothing 81$ h=145
Масса, кг (один датчик)	$\leq 3,5$	$\leq 5$	$\leq 6$	2,4	$\leq 3,5$	$\leq 3,5$

Примечание. Электропитание: 120, 0,2 Вт. Долговременная стабильность параметров на уровне точности измерений не менее 5 лет.

Как видно из табл.2, КБ «Геофизприбор» производит следующие типы датчиков:

- наклономер, маятниковый двухкоординатный НМД-Ш;
- деформометр кварцевый КД-Ч;
- нивелир гидростатический ГН;
- уровнемер манометрический ДУ;
- измеритель вариаций атмосферного давления ДА;
- измеритель вариаций температуры ДТ.

Первые три датчика производят регистрацию медленных движений и соответственно предназначаются для долговременных измерений наклона земной поверхности, или какого либо сооружения, относительно отвесной линии (гравитационной вертикали), вариаций расстояния между двумя или несколькими точками земной поверхности или сооружения и вариаций вертикальных смещений точек, разнесенных по земной поверхности. Уровнемер используется для долговременных измерений вариаций уровня воды или некоторых других жидкостей в скважинах. Два последних датчика предназначены для измерения вариаций атмосферного давления и температуры окружающей среды. Все датчики созданы на основе единой технологии и характеризуются долговременной стабильностью и большим динамическим диапазоном при высокой пороговой чувствительности. При необходимости чувствительность датчиков может быть изменена.

### Системы регистрации

*Основные принципы.* Геофизические цифровые регистраторы, оснащенные комплектом датчиков, составляют основу многофункциональных геофизических сетей наблюдения, предназначенных для фундаментальных и прикладных исследований. Для них характерны общие принципы построения вне зависимости от регистрируемой величины и решаемой задачи. Главным при их разработке являлось создание унифицированного ядра по сбору и обработке информации на основе качественно новых компонент электронной и компьютерной технологии широкого пользования. С этой целью широко используется мировой электронный и компьютерный рынок. Комплексирование этих компонент с

оригинальными датчиками, разработанными КБ, обеспечивает выпуск недорогих и конкурентноспособных регистрирующих геофизических систем высокого качества. К настоящему времени КБ «Геофизприбор» располагает тремя типами цифровых регистраторов: стационарный одномашинный, стационарный двухмашинный, портативный.

Первые два комплекса ориентированы на оснащение стационарных наблюдений с установкой в специально оборудованных помещениях и обсерваториях и используют персональные компьютеры типа IBM PC. Портативный регистратор предназначен для работ в полевых условиях и производит запись данных в память компьютера типа Notebook.

Двухмашинный регистратор представляет собой локальную вычислительную сеть и позволяет вести долговременную непрерывную регистрацию процессов с большим объемом входной информации, а также осуществлять первичную обработку данных. Этот регистратор используется преимущественно в системах сейсмической записи. В одномашинном и портативном регистраторах ограниченный объем памяти ПЭМА ограничивает длительность непрерывной регистрации и возможности предварительной обработки.

Геофизическая информация различается, в основном, объемом входных данных. Для быстрых сейсмических процессов с частотой опроса до 100 Гц на канал и выше необходимы достаточно мощные и дорогие компьютеры, обеспечивающие прием и обработку большого потока данных. Для медленных процессов с редкой частотой опроса (менее 1 отсчета в секунду) жесткие требования к мощности компьютера снижаются. Отсюда также следуют различные требования к программному обеспечению систем регистрации быстрых и медленных геофизических сигналов. Кроме того, конструктивные особенности сейсмоприемников и датчиков медленных движений для обеспечения связи с ЭВМ требуют контроллеров принципиально различного типа, для управления которыми требуется специальное программное обеспечение.

Программное обеспечение составляет существенную часть цифровых систем регистрации. При

записи геофизических и, особенно, быстрых сейсмических процессов в реальном времени представляется нерентабельным использовать существующие сложные системы программирования типа Windows. Эти системы, занимая большой объем оперативной памяти, повышают требования к мощности и, следовательно, стоимости компьютера, замедляют процедуру приема входных данных, а при большой частоте опроса могут с ней не справиться. Кроме того, вследствие надежности программной оболочки Windows снижается надежность работы ПЭВМ и, следовательно, самого регистратора вплоть до остановки регистрации и потери данных. Поэтому программное обеспечение систем регистрации в КБ ведется на языках Паскаль и Ассемблер в системе MS DOS. Подобный подход позволяет создавать относительно недорогие и надежные геофизические системы. Тем не менее, программы, разработанные для MS DOS, могут работать в системе Windows в монопольном режиме MS DOS, а для портативных регистраторов имеется программное обеспечение под управлением Windows. Стандартное программное обеспечение используется также для первичной обработки уже зарегистрированных данных, поскольку формат их записи совпадает с требованиями существующих пакетов обработки.

В КБ "Геофизприбор" разработаны многоканальные системы регистрации с числом каналов от 1 до 32 - для сейсмических сигналов и до 64 - для медленных процессов. Разработанное программное обеспечение предусматривает задание основных параметров регистрации - число каналов, частота опроса, чувствительность регистрации, частотный диапазон и т.д. Сочетание многоканальных регистраторов с гибким программным обеспечением позволяет без существенных затрат создавать разнообразные геофизические станции и сети наблюдений, состав и конфигурация которых определяется поставленной задачей.

*Сейсмические комплексы.* На базе сейсмоприемников и многоканальных регистраторов в КБ «Геофизприбор» РАН разработаны следующие сейсмические стационарные комплексы, оснащенные сейсмоприемниками нового поколения (табл.1):

1. Длиннопериодный широкополосный комплекс КРС-ДПШ, с использованием широкополосного

сейсмоприемника СМ-3Е. Для оснащения сейсмических обсерваторий используется высокоточный и высокостабильный сверхдлиннопериодный сейсмоприемник КСЭШ-Р.

2. Среднепериодный широкополосный комплекс КРС-СП, оснащенный сейсмоприемниками СМ-4, СМ-4Б или СМ-5.
3. Короткопериодный комплекс КРС-КП, использующий последние электронные модификации хорошо известного короткопериодного сейсмоприемника СМ-3КВ.

Для полевых сейсмических наблюдений в КБ разработана портативная цифровая сейсмическая станция «Экспресс-4». Аппаратура станции предусматривает ее эксплуатацию в полевых условиях применительно к широкому кругу научных и прикладных задач. Станция оснащена комплектом сейсмоприемников СМ3-КВЭ, или СМ-4, или СМ-4Б, или их комбинацией с общим числом каналов от 1 до 6.

*Геофизические комплексы.* Датчики медленных движений могут быть объединены в наклонмерно-деформометрические и уровнемерные комплексы с единой цифровой системой регистрации. В настоящее время в КБ разработан комплекс аппаратуры геофизического мониторинга. Он состоит из набора геофизических датчиков, представленных в табл.2, и системы регистрации, построенной на основании изложенных выше принципов аналогично сейсмическим системам. Общее количество датчиков в системе и распределение их по типам зависит от задачи и объекта исследований и меняется от 1-го до 64-х. Персональный компьютер оснащен специально разработанным программным обеспечением.

*Метрологическая аттестация.* Все разрабатываемые в КБ датчики и комплексы проходят необходимую калибровку с использованием прямых или/и косвенных методов. Для выполнения этих работ в КБ имеются специальные стенды, устройства, приспособления и соответствующее программное и методическое сопровождение. Разработанные процедуры калибровки позволяют с высокой точностью определять измеряемые физические величины. Специальные сейсмические стенды являются рабочим эталоном метрологической службы Госстандарта.

## ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ПРАКТИКАСЫНА ЖӘНЕ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР ӨТКІЗУІН БАҚЫЛАУЫНДА ЦИФРЛЫҚ ТІРКЕУ АППАРАТУРАСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЕҢІЗУ

И.П. Башилов, В.А. Коновалов

*Ресей Ғылыми Академиясының Геофизикалық аспапқұру конструкторлы бюросы*

Геофизикалық өрістерін цифрлық тіркеу аспаптарын жасау тәріхі баяндалады, дербес компьютер негізінде осы замандағы құралдарды қолданатын цифрлық тіркеу жүйесінің шолуы беріледі.

**THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF DIGITAL INSTRUMENTATION  
IN THE PRACTICE OF GEOPHYSICAL RESEARCH AND NUCLEAR TEST MONITORING**

**I.P. Bashilov, V.A. Konovalov**

*Design office for geophysical instrument engineering, Russian Academy of Sciences*

This paper reviews the history of the development of the digital instrumentation designed for geophysical field recording. It describes a digital recording system that incorporates pc-based equipment

УДК 550.34:621.38

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАРЫХ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЙСМОМЕТРИИ

Абрамович И.А., Агафонов В.М., Дараган С.К., Козлов В.А., Хараламов А.В.

Объединенный Институт Физики Земли, Российская Академия наук, г. Москва

Прогресс современной сейсмологии связан с развитием инструментального оснащения, обладающего большим динамическим диапазоном измерений (до 140 дБ) и широким диапазоном частот (2.5÷3 декады). Именно этой цели подчинена проводимая модернизация действующих сейсмологических станций. Одновременно проводятся разработки с использованием достижений современной электроники и схемотехники. Это позволило создать серию малогабаритных приборов, не содержащих в своей конструкции элементов точной механики, что существенно снижает их стоимость, и позволяет удовлетворить требования, предъявляемые к приборам, предназначенным для работы, как на региональных сейсмических станциях, так и в полевых условиях - в широком диапазоне положительных и отрицательных температур.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАРЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Современные сейсмические станции всё в большей степени оснащаются новыми информационно-измерительными системами, которые обеспечивают регистрацию сигналов в расширенном динамическом диапазоне. Это обстоятельство требует создания сейсмических датчиков, технические характеристики которых позволяли бы использовать преимущества новых информационно-измерительных систем. По этой причине в состав сейсмометрических каналов всё чаще входят компоненты электроники, позволяющие существенно увеличить их разрешающую способность. Требуется также расширение частотного диапазона регистрации для сейсмических датчиков, которое может быть достигнуто либо снижением собственной частоты колебаний инерционной системы преобразователя, либо введением активной обратной связи. Второе направление представляется более предпочтительным, т.к. введение обратной связи не только расширяет диапазон рабочих частот, но и улучшает линейность всего регистрирующего тракта. Последнее особенно важно в свете использования преимуществ, предоставляемых сейсмологам новыми информационно-измерительными системами. Сейсмические датчики с активной обратной связью, как правило, оснащены преобразователями, сигнал на выходе которых пропорционален взаимному перемещению инертной массы и основания прибора. В подавляющем большинстве случаев это емкостные преобразователи. Хотя эти преобразователи очень эффективны, наладка их достаточно сложна, т.к. в их состав входит синхронный детектор, очень критичный, как к его схемному решению, так и к применяемым электронным компонентам.

Несколько лет назад известным специалистом в области сейсмологии, сотрудником ИФЗ РАН Рыковым А.В. была предложена достаточно простая схема емкостного преобразователя [1] без этого капризного устройства. Его принципиальная схема приведена на рис.1. Схема достаточно проста в исполнении и практически не требует специальной настройки.

полнении и практически не требует специальной настройки.

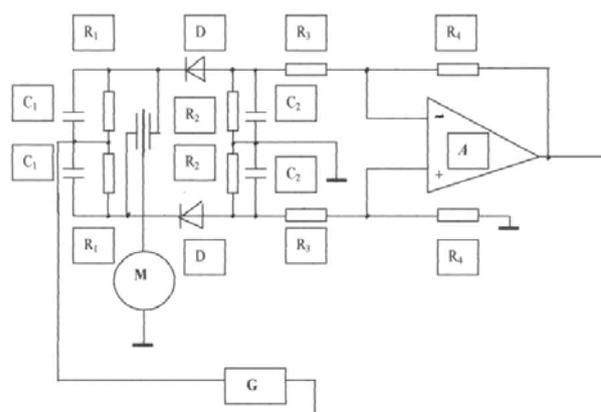


Рис. 1. Схема генератора [1]

На ее основе были построены первые широкополосные приборы типа КСЭШ, работающие в диапазоне рабочих частот от 0.003 до 10 Гц. Однако приборы имели ряд недостатков. Так, была установлена низкая крутизна преобразования, что приводило к появлению недопустимо больших собственных шумов на выходе сейсмического датчика. Недостаток связан с тем, что мост, состоящий из емкостей  $C_1$  и  $C_d$ , не превышающих 20÷30 пФ, непосредственно включён в нагрузку, состоящую из сглаживающих конденсаторов  $C_2$ , номинал которых составляет не менее 10 нФ. Для устранения недостатка в схему были введены повторители, построенные на низкошумящих операционных усилителях ОУ (типа МС34181 или ОР16). Другим недостатком было то, что детекторы, подключённые к входам дифференциального усилителя, работали на нагрузки разной величины, что приводило к перекосу низкочастотных напряжений и, как следствие, к снижению эффективности преобразователя. Для выравнивания нагрузки детекторов в схему второго детектора, работающего на положительный вход дифференциального усилителя, был введен инвертор на ОУ,

а сигналы с выхода первого детектора и инвертора суммировались на входе инвертирующего усилителя, применяемого взамен дифференциального. Кроме того, в схему были введены двухполупериодные детекторы, что повысило эффективность преобразователя ещё вдвое. На основе модернизированной схемы преобразователя [1] в КБ "Геофизприбор" был разработан ряд из четырех сейсмических датчиков: СМ-3э, СМ-4, СМ-4Б и СМ-5. Характеристики созданных датчиков - полоса частот, чувствительность, максимальный динамический диапазон и др., приведены в нижеследующей таблице 1.

Табл. 1. Характеристики сейсмических датчиков

Прибор	СМ-3э	СМ-4	СМ-5	СМ-4Б
Функция	Скорость	Скорость	Скорость	Ускорение
Полоса частот, Гц	0.01:40	0.03:40	0.03:40	0.05:20
Чувствительность	800 м/с	160 м/с	160 м/с	1.1 м/с <sup>2</sup>
T <sub>с</sub> сек	2.0	1/1.5	0.8	0.333
K <sub>с</sub> кгм <sup>2</sup>	8.5·10 <sup>-3</sup>	1.21·10 <sup>-4</sup>	1.3·10 <sup>-4</sup>	2.68·10 <sup>-4</sup>
I <sub>с</sub> м	8.4·10 <sup>-2</sup>	6.09·10 <sup>-2</sup>	9.6·10 <sup>-2</sup>	0.1083
U <sub>вых.макс.</sub> В	12	12	12	4.5
Максимальный динамический диапазон, дБ	171	147	147	110

Шумовые характеристики сейсмических датчиков СМ в сравнении с зарубежными аналогами - сейсмическими датчиками CMG, LNM, приведены рис.2.

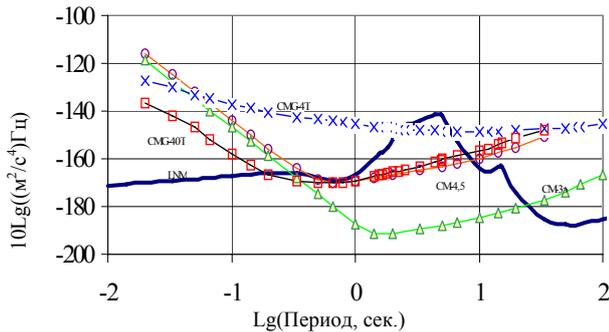


Рис.2. Спектральная плотность шумов сейсмических датчиков СМ, СМГ и LNM

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В современной сейсмологии активно используются сейсмические сети и группы, в построении которых участвует большое количество сейсмических датчиков. Так как применяемые сейсмоприёмники создаются на принципах точной механики, их стоимость может исчисляться несколькими тысячами долларов за компоненту, что может делать непомерными финансовые затраты на создании сейсмических сетей и групп и быть препятствием для выполнения многих исследовательских проектов и экспериментов.

Представляется, что снижение финансовых затрат может быть достигнуто путём использования в качестве чувствительных элементов сейсмических преобразователей, работающих на принципах молекулярной электроники [2]. Преимуществом этих преобразователей является почти полное отсутствие

элементов точной механики, высокая технологичность производства при достаточно приемлемых технических характеристиках, продолжительный срок эксплуатации - не менее 15 лет, простота установки и обслуживания.

История данного вопроса восходит к началу 60-ых годов теперь уже прошлого века. Практически в одно и то же время в США и в бывшем СССР начались исследования по созданию элементов, чувствительных к механическим перемещениям, на основе электрохимических явлений. В бывшем СССР исследования проводились в Институте электрохимии АН и в МФТИ в содружестве с Институтом источников тока Минэлектропрома. К середине 70-ых годов в США пришли к выводу о бесперспективности этих исследований из-за невозможности создания электрохимических ячеек с устойчивыми во времени характеристиками. Это объяснялось высокой активностью электролитов, воздействующих на внешнюю оболочку элементов и приводящую к изменению их химического состава за счёт посторонних примесей. Неудачи были связаны и с тем, что делалась попытка реализовать измерительную ячейку, принцип работы которой описывался в рамках одномерного уравнения конвективной диффузии. Это приводило к появлению в выражении, описывающем передаточную функцию сейсмического датчика, членов с дробной степенью  $\omega$ , которые не позволяли сформировать амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) сейсмического канала с более или менее широкой рабочей полосой частот. В бывшем СССР исследования данного направления активно продолжались, и к началу 90-х годов произошёл теоретический и технологический прорыв. Исследование процессов конвективной диффузии в трёхмерных структурах выявили отсутствие принципиальных запретов на создание молекулярно-электронного преобразователя, передаточная функция которого имела бы частотную зависимость по ускорению близкую к  $1/\omega$  [3-5]. Удалось подобрать материалы оболочек, практически не взаимодействующих с электролитом, состав и характеристики которых в течение долгого времени (не менее 15 лет) не изменяются. Однако первые построенные сейсмические датчики имели технические характеристики низкого качества с точки зрения формы АЧХ и характеристики шумов из-за плохой электроники, как по схемному решению, так и по элементной базе - советская элементная база не позволяла получить нужные шумовые характеристики усилительного тракта. Кроме того, самостоятельному решению проблем силами организаций - разработчиков препятствовало почти полное отсутствие метрологической и экспериментальной геофизической базы. Институт источников тока обратился к руководству бывшего Спецсектора ИФЗ АН с предложением о сотрудничестве в создании молекулярно-электронных сейсмических датчиков. Проведен-

ные совместные полевые испытания выявили основные недостатки датчиков и позволили определить возможные направления их устранения. Стало очевидным также, что без привлечения импортной электронной элементной базы, решить проблему снижения шумов не удастся. В 1991 г. к работам была привлечена небольшая американская фирма PMD Ingeneering company, занимавшаяся разработкой измерительной аппаратуры для нефтяного комплекса. В настоящее время в исследованиях по проекту участвуют: кафедра молекулярной электроники МФТИ, лаборатория №307 ОИФЗ РАН (сформированная из спецсектора ИФЗ АН) - со стороны России, преобразованная фирма PND Scientific inc., полностью перешедшая на разработку сейсмометрических комплексов, - со стороны США.

**Принципы работы молекулярно-электронного сейсмического датчика**

В основе преобразования внешнего механического сигнала в электрический ток лежит процесс конвективной диффузии ионов в растворе электролита. Главным элементом диффузионного преобразователя (ДП) является молекулярно-электронная ячейка (МЭЯ), которая состоит из двух электродов, анода и катода, помещённых в раствор электролита. При подаче на электроды постоянной разности потенциалов в системе устанавливается градиент концентрации ионов, способных принимать участие в обратимой окислительно-восстановительной реакции и протекании диффузионного тока. Если жидкость приходит в движение под воздействием внешнего возмущения, наряду со стационарной диффузией возникает конвективный перенос ионов, что меняет скорость доставки реагирующих веществ к электродам и, как следствие, ток, текущий в МЭЯ.

В рамках одномерной задачи, когда расстояние между электродными пластинами  $d$  существенно меньше их линейных размеров, диффузионный ток определяется выражением:

$$I = 2eDc_0(S/d)th(eU/2kT), \quad (1)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии,  $c_0$  – фоновая концентрация ионов,  $S$  – площадь пластины электрода,  $U$  – разность потенциалов, приложенная к электродам,  $k$  – постоянная Больцмана и  $T$  – абсолютная температура. На рис.3 приведена зависимость тока покоя МЭЯ от разности потенциалов, приложенных к её электродам. При малых значениях  $U$ , когда  $eU \ll kT$ , ток линейно возрастает с ростом напряжения, а при  $eU \gg kT$  ток практически не меняется с ростом напряжения и близок к своему предельному значению:

$$I_{np} = 2eDc_0S/d \quad (2)$$

Если под воздействием внешнего возмущения жидкость приходит в движение со скоростью потока  $v$ , то конвективный ток, протекающий в МЭЯ, будет определяться формулой:

$$I_k = ec_0v \quad (3)$$

Сравнивая формулы (2) и (3) и принимая  $d \sim 10^{-1}$  см,  $D = 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с и  $S = 2$  см<sup>2</sup>, получим, что диффузионный и конвективный токи равны уже при  $v \approx 10^{-4}$  см/с. Приведенное соотношение объясняет причину столь высокой чувствительности диффузионного преобразователя к действию внешних механических возмущений.

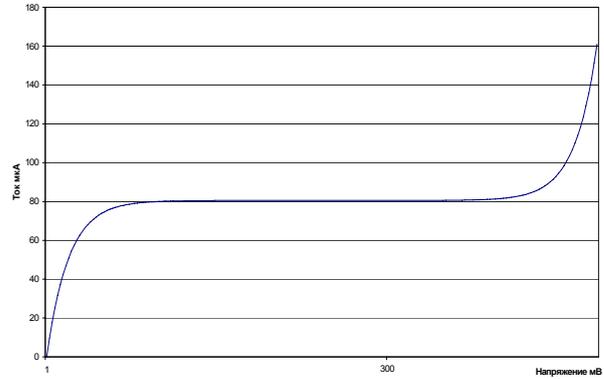


Рис. 3. Зависимость тока молекулярно-электронной ячейки от напряжения

Анализ уравнений, описывающих процесс конвективного переноса, показывает, что в одномерном случае градиент концентрации, а, стало быть, и ток, текущий в ячейке, начиная с частот порядка  $D/d^2$ , по ускорению пропорциональны  $\omega^{-1/2}$ . Такой закон изменения передаточной функции ДП приводит к тому, что вся тяжесть формирования широкополосной АЧХ сейсмического канала в привычной для сейсмолога функциональной зависимости (выходного параметра от входного возмущения) ложится на электронику, что резко усложняет структурную схему этой части прибора. Однако достижения современной микроэлектроники, в результате которых появилось много промышленных образцов операционных усилителей с уникальными характеристиками (по шумам входного тока и напряжения, по потреблению энергии, по геометрическим размерам) позволяют эффективно решать эту задачу, не выходя за разумные рамки габаритов, энергопотребления и стоимости прибора.

**Механическая система молекулярно - электронного датчика**

Что касается трёхмерного случая, то при выполнении некоторых условий электрический ток, текущий через ячейку, обнаруживает частотную зависимость по ускорению  $\sim 1/\omega$  [2]. Численный анализ уравнений показывает, что при радиусе сферического электрода в 189 мкм частотная зависимость указанного типа наблюдается, начиная с частот порядка 0.01 Гц. При этом выходной ток линейно связан со скоростью движения электролита в динамическом диапазоне  $\sim 110$  дБ. Поскольку практическая реализация преобразователя со сферической ячейкой крайне сложна и мало пригодна для массового производства, используется ячейка с сетчатой структу-

рой электродов, показанная на рис. 4. При определённых соотношениях между шагом сетки и размером отверстий перфорированной перегородки, разделяющей электроды, ячейка с сетчатой структурой выполняет роль сферической ячейки, в отличие от последней ее конфигурация более удобна для массового производства.

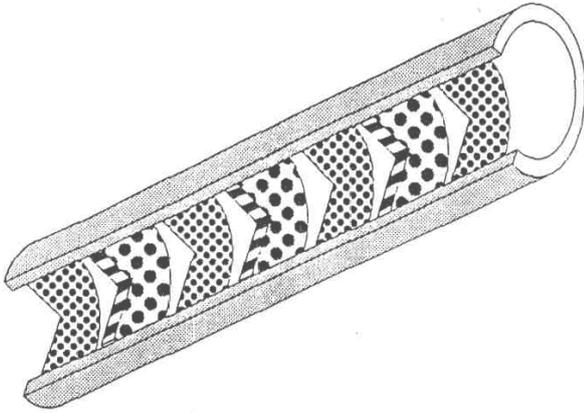


Рис. 4. Сетчатая структура электродов МЭЯ

Что касается создания перепада давления, вызывающего поток жидкости через электродную систему, то в вертикальном сейсмическом датчике используются инерционные свойства жидкости, заключённой в полый цилиндр, закрытом с двух сторон упругими мембранами (рис. 5а). Сверху и снизу к мембранам приклеены стальные накладки. Для создания возвращающей силы, к верхней накладке крепится масса, а снизу сосуд подпирается винтовой пружиной. Электродный узел расположен в средней части сосуда. Для горизонтального датчика (рис. 5б) механическая система представляет собой вертикально стоящий керамический тор, заполненный наполовину жидкостью. В нижней части тора расположен электродный узел.

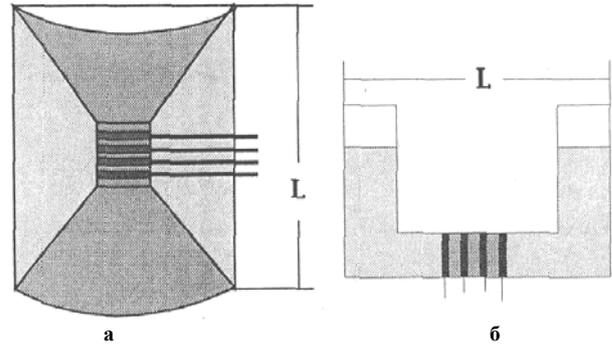


Рис. 5. Конструкция вертикального (а) и горизонтального (б) сейсмических датчиков

Каждый из датчиков представляют собой колебательную систему, в которой роль затухания выполняет гидродинамическое сопротивление чувствительного элемента, а роль упругости эластичные мембраны - для вертикального, сила тяжести - для горизонтального датчиков. С учётом того, что передаточная функция электродной системы имеет верхнюю граничную частоту, равную  $D/d^2$ , передаточная функция преобразователя имеет колоколообразный вид как для горизонтального, так и для вертикального сенсора. При этом, нижняя граничная частота горизонтального сенсора определяется только локальным значением силы тяжести и геометрическими размерами прибора, а для вертикального - величиной объёмной жёсткости и эффективной площади мембраны.

#### ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

##### Описание электронной схемы

При разработке молекулярно-электронных сейсмических датчиков особое внимание уделялось проектированию элементов сопутствующей электроники, параметры которой, как уже говорилось, во многом определяют динамические и шумовые характеристики прибора в целом. Несмотря на то что молекулярно-электронные преобразователи (МЭП) имеют существенно более высокую чувствительность по сравнению с традиционными системами магнитоэлектрического или конденсаторного типа и не требуют от электроники больших коэффициентов усиления, их крутизна преобразования обнаруживает сильную частотную и температурную зависимость, что усложняет схему и предъявляет соответствующие требования при расчёте корректирующих цепей. Принципиальная схема усилительного тракта МЭП приведена на рис. 6.

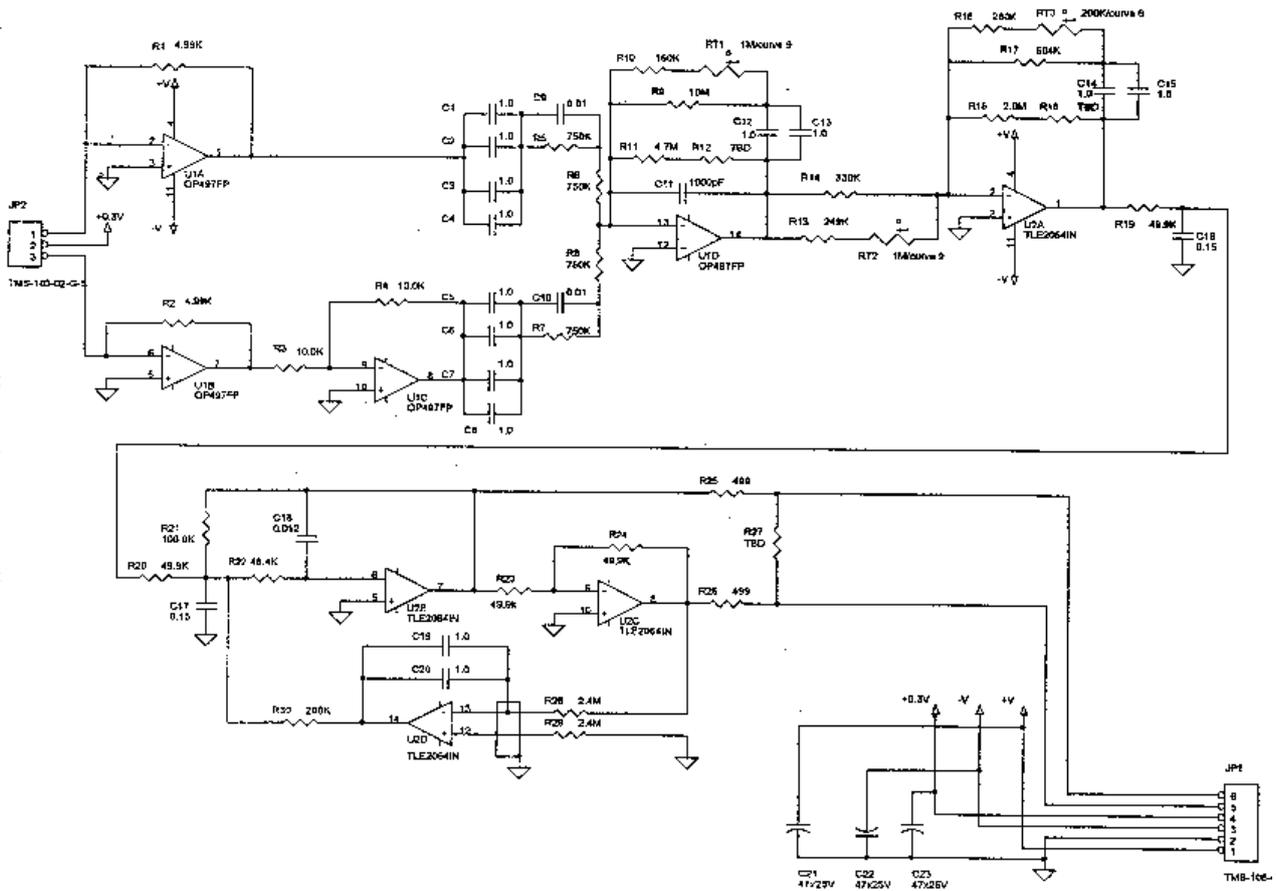


Рис. 6. Схема электронного усилителя сейсмического датчика

На аноды молекулярно-электронной ячейки подается постоянное стабилизированное напряжение 300 мВ, необходимое для установления градиента концентрации между электродами. При этом в системе протекает некоторый начальный постоянный ток, модулируемый внешним сигналом. Каждая из двух МЭЯ, составляющих МЭП, включена в схему как источник тока. В первом каскаде схемы происходит преобразование выходного тока МЭП в напряжение. Следующий каскад выполняет сразу несколько функций - компенсацию спада АЧХ сенсора на низких и высоких частотах, суммирование сигналов дифференциально включённых ячеек (чтобы сигналы начальных токов ячеек вычитались, а сигналы от внешнего воздействия складывались, выход первого каскада одной из МЭЯ подключён к инвертору, а сигнал с его выхода идёт на сумматор), термокомпенсацию для средних и высоких частот. В третьем каскаде осуществляется дополнительный подъём АЧХ на наиболее низких частотах (в качестве компенсации спада, обусловленного механическими параметрами МЭП), термокомпенсация изменения крутизны преобразования во всём частотном диапазоне. Последний каскад схемы включает в себя

фильтры низких и высоких частот, определяющие границы рабочего диапазона АЧХ. В этом же каскаде формируется дифференциальный выходной сигнал. Электрическая схема усилителя выполнена с использованием новейших мировых разработок низкошумящих операционных усилителей. Данное обстоятельство позволило значительно уменьшить уровень собственного шума молекулярно-электронных сейсмических датчиков и расширить динамический диапазон до 130÷140 дБ. При этом шумы электроники оказываются на 20÷30дБ ниже собственных шумов МЭП во всём частотном диапазоне. Последнее обстоятельство открывает дополнительные возможности для оптимизации характеристик МЭП и позволяет надеяться на дальнейшее расширение рабочего диапазона АЧХ без потери их основных качественных показателей.

**Описание АЧХ и других параметров приборов**

Типичные кривые АЧХ и ФХ трактов прибора, регистрирующего скорости перемещения почвы (велосиметра), приведены на рис.7 - для вертикального канала и на рис.8. - для горизонтального канала.

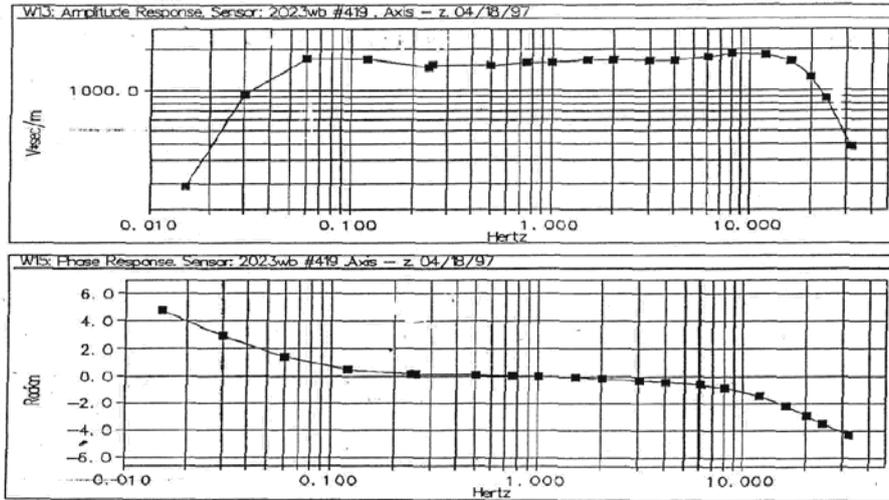


Рис. 7. АЧХ (верхняя кривая) и ФЧХ (нижняя кривая) вертикального сейсмического датчика

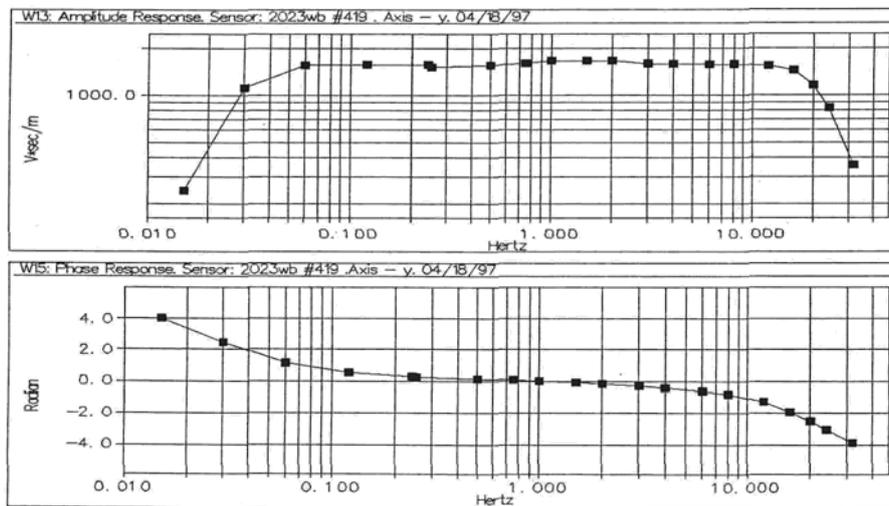


Рис. 8. АЧХ (верхняя кривая) и ФЧХ (нижняя кривая) горизонтального сейсмического датчика

Как видно из рис. 7, 8, АЧХ имеет низкочастотный срез крутизной 18 дБ/окт., начиная с частоты 0.033 Гц. Частота среза высокочастотного склона определяется выходным фильтром 3-го порядка. Она может составлять, в зависимости от номиналов элементов фильтра, 5, 10 и 25 Гц. В пределах рабочей полосы частот неравномерность АЧХ не превышает  $\pm 3$  дБ. Коэффициент преобразования составляет 750 В·с/м на однофазном выходе и  $2 \times 750$  В·с/м - на симметричном. Минимальный разрешаемый сигнал составляет  $50 \div 60$  нм/с в рабочей полосе частот и определяется шумами тракта. Динамический диапазон прибора  $\sim 110$  дБ. Максимальное выходное напряжение сигнала равно  $\pm 5$  В - на однофазном выходе и  $\pm 10$  В - на дифференциальном выходе [6]. Поперечная чувствительность не превышает 0.5%. Рабочий диапазон температур, в котором гарантируется отклонение чувствительности от номинальной не более  $\pm 10\%$  - от  $+5^\circ \text{C}$  до  $+35^\circ \text{C}$  на любой из частот в рабо-

чей полосе. Напряжение питания прибора  $+10 \div 18$  В. Общее потребление не превышает 4.5 мА.

Датчики вместе с электронной схемой помещаются в цилиндрическом корпусе диаметром 203 мм и высотой 155 мм (рис.9). Масса прибора около 4.5 кг.

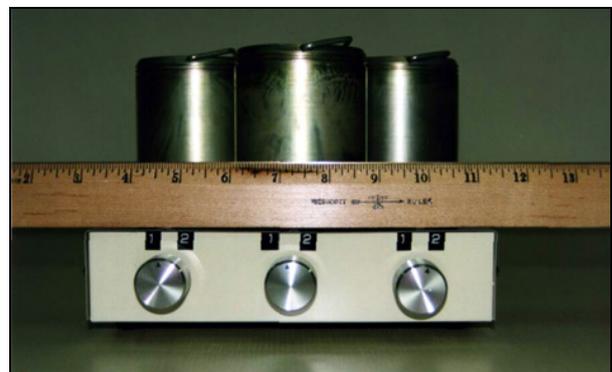


Рис. 9. Внешний вид трехкомпонентного молекулярно-электронного датчика

**ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ КАНАЛОВ И ИХ ОТДЕЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ**

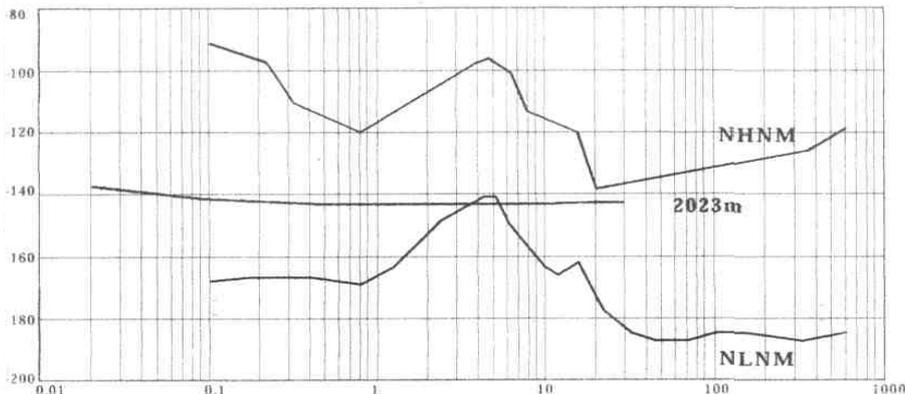
Жёсткие требования, предъявляемые к шумовым характеристикам сейсмических приборов, диктуют необходимость особо тщательного согласования спектральной плотности шума преобразователя и электронной схемы. Учитывая, что полупроводниковые микросхемы на низких частотах имеют компоненту шума  $\omega^{-1/2}$ , было крайне важно разработать эквивалентную шумовую схему прибора для оптимизации шумовых характеристик во всём рабочем диапазоне частот. Теоретически, исходя из [7], спектральная плотность мощности шума по скорости для МЭП, определяется выражением:

$$\langle(x')^2\rangle_{\omega} = 2R_g kT / (\rho L \omega)^2, \quad (4)$$

где  $L$  - длина столба жидкости в направлении действующего ускорения.

Из (4) следует, что в условиях, когда  $\omega_r \gg \omega_n$ , (где  $\omega_r, \omega_n$  - верхняя и нижняя граничные частоты частотного диапазона сейсмического канала, соответственно), интегральный шум пропорционален  $\omega^{-1/2}$ . Для экспериментальной проверки этого соотношения сначала были исследованы шумовые характеристики электронной схемы. Для измерения использовался специально разработанный усилитель с низким уровнем собственных шумов и коэффициентом

том усиления, равным 1000 в широком диапазоне частот, и система регистрации сейсмической информации с 22-х разрядным аналого-цифровым преобразователем. Исследования показали, что наименьший уровень шумов в данной электронной схеме имеют операционные усилители типа ОР-97. Уровень шумов, в пересчёте на входной сигнал, не превышал 10 нм/с пик-пик. Затем была выполнена оценка полного шума сейсмических каналов. Использован метод взаимно-корреляционного анализа сигналов 2-х молекулярно - электронных каналов при минимально возможном сейсмическом фоне. Полученная оценка полного шума канала - около 50 нм/с пик-пик, что несколько меньше, чем теоретически рассчитанное значение. Дополнительные измерения проводились при совместной регистрации молекулярно-электронного канала и канала типа STS-2, шум которого значительно ниже. Разница между этими оценками не превышала 15%. На Рис.10 приведен шумовой спектр сейсмического канала с молекулярно-электронным датчиком в сопоставлении с мировыми моделями сейсмического шума - нижеуровневой (NLNM) и вышеуровневой (NHNM).



По вертикали - спектральная плотность ( $10 \log M^2/S^4$ ), по горизонтали - период (секунды) NLNM, NHNM - ниже- и вышеуровневые мировые модели сейсмического шума, соответственно.

Рис. 10. Шумовой спектр сейсмического датчика PMD-2023m

**НЕКОТОРЫЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Молекулярно-электронный преобразователь даёт возможность построить принципиально новый тип сейсмического датчика - вращательный, для непосредственного измерения ротационной части волнового сейсмического поля. Механические датчики этого назначения используют симметричное, относительно оси качания, устройство инерционной массы, когда моменты, действующие на обе его половины, равны. Устройство слабо реагирует на линейные ускорения в той степени, в какой совпа-

дают оба статических момента. Для рядовых приборов это совпадение не лучше, чем  $10^{-4}$ . В молекулярно-электронном преобразователе достаточно полностью, без газовых пузырей, заполнить тор жидкостью, чтобы датчик перестал чувствовать линейные ускорения с точностью до разности плотности раствора в его плечах из-за градиента температур около  $10^{-4}/^{\circ}C$ . Учитывая малость размеров чувствительного тора, тепловую постоянную времени корпуса датчика, можно ожидать значение градиента не хуже  $10^{-3}/^{\circ}C$ , которое обеспечивает нечувствительность к линейным ускорениям на уровне  $10^{-7}$  даже рядового прибора .

**ПЕРСПЕКТИВЫ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ**

Дальнейшее улучшение эксплуатационных характеристик молекулярно-электронных приборов следует вести по нескольким направлениям:

**Расширение температурного диапазона функционирования**

Температурный диапазон, в котором приборы сохраняют свои характеристики с точностью не хуже 10%, составляет  $+5^{\circ}\text{C} \div +35^{\circ}\text{C}$ , что позволяет использовать их только в стационарных условиях приэкваториальных и умеренных широт. И даже в таких условиях, как, например, на сейсмической группе "Боровое", где средняя температура в шахте составляет около  $+5^{\circ}\text{C}$ , имеются значительные ограничения на их применение. В МФТИ разработан морозостойкий электролит с температурой функционирования до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Было показано, что даже при температуре  $+60^{\circ}\text{C}$  такой электролит не изменяет свои химические свойства и характеристики. В 1997 г. фирмой PMD Scientific inc. были проведены эксперименты по прямому измерению изменения частотных свойств вертикальных и горизонтальных молекулярно-электронных датчиков в диапазоне температур от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . Впервые были получены серии кривых АЧХ чувствительных элементов в расширенном диапазоне температур. На рис.11 приведены выборочные кривые АЧХ вертикальных сенсоров, а на рис.12 - горизонтальных сенсоров для некоторых из 16-ти исследованных температур.

Как следует из приведенных на рис.11,12 зависимостей, в диапазоне температур от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$  чувствительность вертикального датчика меняется примерно в 15 раз, а горизонтального - почти в 40 раз. Однако эти изменения носят устойчивый характер при смене датчиков и теоретически хорошо описываются экспоненциальным законом.

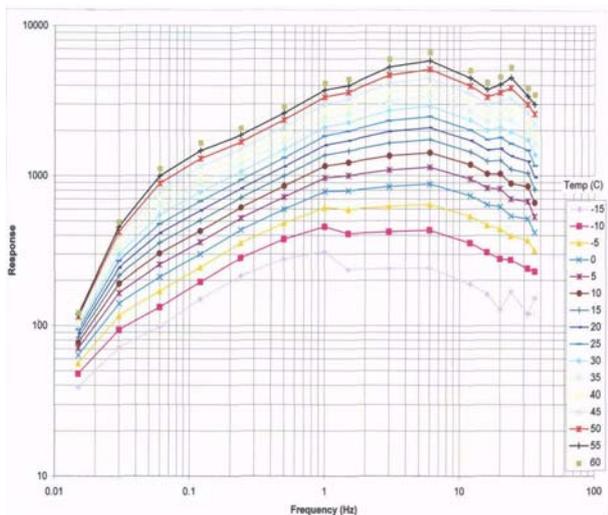


Рис. 11. Температурная зависимость АЧХ вертикального молекулярно-электронного датчика.

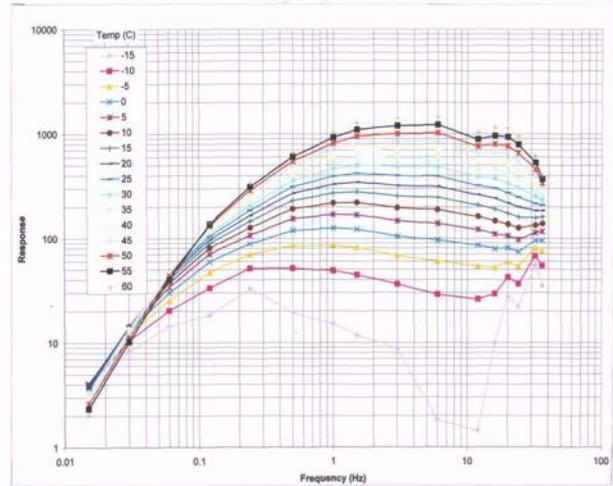


Рис. 12. Температурная зависимость АЧХ горизонтального молекулярно-электронного датчика

Установленные закономерности позволяют надеяться на то, что удастся создать электронную схему, компенсирующую температурно-частотные зависимости в требуемом расширенном диапазоне температур. Продолжаются работы по созданию низкотемпературных электролитов. Одна из последних разработок МФТИ - создание электролита, функционирующего при температуре до  $-55^{\circ}\text{C}$ . Проведение испытания приборов с таким электролитом предполагается на антарктических сейсмических станциях в сезон 2000-2001 г.г.

**Снижение уровня шума**

На данном этапе наиболее критичным является шум датчиков, поэтому его уменьшение наиболее актуально. Снижение шума вертикального сенсора осуществляется увеличением присоединённой массы. Для горизонтальных сенсоров снижение шума возможно путем изменения его геометрии, которое позволило бы увеличить количество электролита, реагирующего на горизонтальные ускорения (например, превращением круглого тора в эллиптический тор с большой горизонтальной осью). Этот путь позволил бы, практически не меняя габариты и массу прибора, уменьшить шумы датчиков примерно на порядок и довести его до уровня - 10 нм/с пик-пик.

**Создание механизма для введения обратной связи**

Создание механизма для введения обратной связи ведется двумя способами: использование магнетогидродинамического эффекта и использование электростатического механизма. На данном этапе изучения более перспективным представляется второй способ. Применение этого механизма позволит охватить весь сейсмический канал глубокой отрицательной обратной связью, что существенно улучшит его амплитудные и частотные свойства, а также даст возможность проводить калибровку прибора косвенным методом на месте регистрации с помощью электронного генератора.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Рыков А.В. Моделирование сейсмометра. ИФЗ РАН, Москва, 1996, с.с.33, 39.
2. Абрамович И.А., Агафонов В.М., Дараган С.К., Козлов В.А., Харламов А.В. Разработка сейсмометров на новых технологических принципах (молекулярная электроника). Сейсмические приборы, вып. 31, 1999, с.с. 56-71.
3. Бабанин А.В., Козлов В.А., Петькин Н.В. Нестационарная диффузия в электрохимической системе с периодической структурой электродов. Электрохимия, 1990, т.26, №5, с.с.601-606
4. Козлов В.А., Коршак С.А., Петькин Н.В. Теория диффузионных преобразователей сверхмалых расходов электролита. Электрохимия, 1991, т.27, №4, с.с.20-24.
5. Козлов В.А., Тугаев П.А. Влияние геометрии электрохимической ячейки на частотную зависимость её неравновесного импеданса и тока в условиях конвективной диффузии. Электрохимия, 1996, т.32, №12, с.с.1436-1443.
6. I.A.Abramovich, S.K.Daragan, V.A.Kozlov, G.Nolvvet, N.V.Petkin, R.Pinney. Molecular Electronic Seismometers> Supplement to EOS, August 1993 Spring Meeting, Baltimore, MD. p.206.
7. Козлов В.А., Сахаров К.А. Собственные шумы молекулярно-электронных преобразователей диффузионного типа. В сб. Физические основы жидкостных и твёрдотельных измерительных систем и устройств обработки информации. МФТИ, 1994, с.с.37-42

**СЕЙСМОМЕТРИЯДА ЖАҢА ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ЖӘНЕ ЕСКІЛЕРІН ЖЕТІЛДІРУ**

**И.А. Абрамович, В.М. Агафонов, С.К. Дараган, В.А. Козлов, А.В. Харламов**

*Жер Физикасының Бірлескен Институты, Ресей Ғылыми Академиясы*

Қазіргі замандағы сейсмологияның прогресі, үлкен динамикалық ауқымы бар (140 дБ дейін) және жиілігінің кең ауқымында (2,5-3 декада) істейтін құрал-сайман жарақтауының дамуына байланысты. Осы мақсатқа әрекеттегі сейсмикалық станцияларының өткізіліп жатқан жетілдіруі бағындырылған.

Қазіргі замандағы электроника мен схемотехниканы пайдалануы, өз конструкциясында дәл механика элементтері жоқ, кішігабаритті аспаптар құруына мүмкіншілік береді. Бұл аспаптар аумақтық сейсмикалық станцияларда, сондай-ақ дала жағдайындағы жұмыстарға, оң және теріс температураның кең ауқымында істеуге жарамды.

**THE IMPROVEMENT OF OLD AND THE APPLICATION OF NEW TECHNIQUES IN SEISMOMETRY**

**I.A. Abramovich, V.M. Agafonov, S.K. Daragan, V.A. Kozlov, A.V. Kharalamov**

*United Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences*

The progress in the development of seismic instrumentation has resulted in state-of-the-art instruments capable of attaining a dynamic range of up to 140 dB in a wide frequency range of 2.5-3 decade. Old seismic instruments have been improved to achieve such an aim. Mechanical parts have been replaced with electronics, thus reducing the cost of instruments. The new instruments are capable of working in a wide range of temperatures.

УДК 551.14:550.34(574)

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫБОРУ ПЛОЩАДОК ДЛЯ НОВЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУПП НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

Неделков А.И.

*Институт геофизических исследований НЯЦ РК*

Статья посвящена исследованиям, проводимым на участках, предназначенных для размещения новых сейсмических групп Международной системы мониторинга согласно Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). На примере сейсмических групп PS023 «Маканчи» и AS057 «Боровое» показано применение комплекса исследований и его результаты по определению конфигурации и уточнению местоположения площадок для размещения элементов сейсмических групп.

### ВВЕДЕНИЕ

На территории Республики Казахстан, начиная с 1998 г., проводятся работы по сооружению новых сейсмических станций Международной системы мониторинга в соответствии с Договором о Всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) [1]. Подготовительной Комиссией при Техническом Секретариате Организации по ДВЗЯИ подготовлен документ Requirements for Site Survey for Seismic Stations, 30 September 1997, Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO) CTBTO/PC/IV/WGB/1), который содержит требования к выбору участка для размещения сейсмических станций. Согласно этим требованиям следующие критерии отнесены к основным при выборе мест размещения новых сейсмических станций:

1. Сейсмические станции должны иметь координаты, указанные в протоколе Договора, или близкие к ним.
2. Уровень фоновых сейсмических шумов должен быть низким и соотношение сейсмического сигнала к фоновому шуму - наилучшим.
3. Участок размещения станции должен быть сложен коренными, не разрушенными горными породами, а в местах установки сейсмометров горные породы должны быть однородными.
4. Топографическая ситуация в месте размещения сейсмической группы должна быть благоприятной.
5. Должна быть обеспечена возможность доступа к сейсмической группе для иностранных специалистов.
6. Участок должен быть доступен для транспорта.
7. Должны существовать источники энергии и необходимые коммуникации.
8. Должна существовать возможность материально-технического обеспечения станции.

В связи с перечисленными требованиями, необходимые исследования по выбору участка для размещения новых сейсмических групп в Казахстане включали следующую последовательность работ:

- выбор потенциальных альтернативных мест расположения сейсмической группы в районе с координатами, обозначенными в приложении к

протоколу ДВЗЯИ. На этом, предварительном этапе, проводилась работа с имеющимися в архивах геологическими и топографическими картами, отчетами;

- рекогносцировочные полевые работы на каждом из намеченных участков - осмотр участков, инженерно-геологические исследования, изучение имеющейся инфраструктуры, сбор данных для исследования сейсмических шумов;
- дополнительный сбор и анализ комплекса данных по участку - результатов инженерно-геологических исследований, изучения инфраструктуры, данных по сейсмическим шумам и др.;
- отбор и утверждение одного из нескольких альтернативных участков с определением конфигурации элементов сейсмической группы;
- проведение полевых работ на выбранном участке - разбивка сейсмической группы на местности, определение координат элементов группы, бурение, при необходимости, разведочных и гидрогеологических скважин для изучения на глубину геологического строения участка, уточнения литологического разреза, гидрогеологического режима и получения других необходимых данных;
- разработка проекта станции.

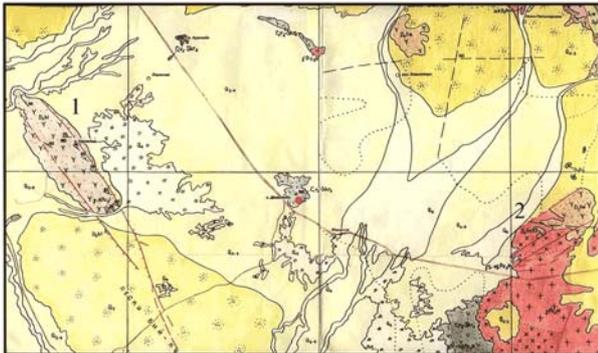
Дальнейшие работы представляли собственно сооружение сейсмической группы и включали:

- этап строительства сейсмической станции – бурение скважин для установки сейсмометров, подведение электроэнергии, линий связи и других коммуникаций, сооружение зданий, обеспечивающих жизнедеятельность сейсмической группы;
- этап установки и настройки оборудования, пробного пуска сейсмической группы;
- этап сдачи станции в эксплуатацию.

По приведенной схеме, в рамках ведомственных контрактов НЯЦ РК с ВТС ОДВЗЯИ и при участии АФТАС (США), были проведены работы по выбору площадок для строительства двух новых сейсмических групп в Казахстане – сейсмической группы первичной сети станций МСМ - PS023 "Маканчи", и сейсмической группы вспомогательной сети станций МСМ - AS057 «Боровое».

### ВЫБОР УЧАСТКА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS023 "МАКАНЧИ"

Работы по выбору участка для размещения новой сейсмической группы PS023 "Мақанчи" начались в 1997 г. Первоначально, на основе изучения геологической и топографической ситуации, для исследований было намечено 2 участка вблизи Действующей сейсмической станции "Мақанчи" [2]. Первый из участков находится в 30 км к северо-западу от поселка Мақанчи, на горе Карпебай (рис. 1).



- 1 Участок намеченный на г. Карпебай (забраванный)
- 2 Участок намеченный в горах Кызылшалы (выбранный)
- Сейсмическая станция "Мақанчи"

Рис. 1. Геологическая карта района размещения сейсмической станции "Мақанчи" и двух участков, обследованных для размещения новой сейсмической группы [по материалам Твердислова Ю.А., Войтович В.С. и др., 1957-1959 гг.]

Участок сложен вулканическими туфами различного состава. Второй участок расположен в 25 км к востоку от поселка Мақанчи, в горах Кызылшалы, характеризующихся полого-холмистым рельефом. Он находится в пределах гранитоидного массива, сложенного гранитами и гранодиоритами верхнего палеозоя.

Весной и летом 1998 г. специалисты ИГИ НЯЦ РК вместе со специалистами AFTAC и AlliedSignal провели полевые исследования на каждом из этих участков. Были проведены инженерно-геологические исследования, измерение сейсмических шумов, изучение инфраструктуры и климатических условий района расположения участков, топографические и буровые работы. Анализ сейсмических шумов измеренных на участке проводился специалистами AFTAC.

Проведение работ привело к следующим результатам. Первый участок был исключен из дальнейшего рассмотрения по причинам его несоответствия критериям, предъявляемым к участкам размещения сейсмических групп. В частности, - по следующим основным причинам:

- установленного повышенного фона сейсмических шумов, что затруднит идентификацию регистрируемых сейсмических сигналов;

- наличия разрывной тектоники и заметного различия по плотности вулканических туфов и гранитоидов, что должно сказываться на изменении величины скорости распространения сейсмических волн в зависимости от состава и состояния пород;

- отсутствия хороших подъездных путей.

Второй участок был признан для размещения новой сейсмической группы как наиболее подходящий:

- координаты участка максимально близки к координатам, указанным в приложении 1 к Протоколу ДВЗЯИ. Так, координаты центра участка, выбранного для сейсмической группы - 46,79° северной широты, 82,29° восточной долготы, тогда как согласно приложению к протоколу ДВЗЯИ – это 46,8° северной широты, 82,0° восточной долготы;

- участок удален от естественных и искусственных источников шума, сейсмические шумовые условия на участке, как показало их изучение [3], приемлемые;

- в местах установки сейсмометров участок сложен крепкими гранитоидными породами;

- практически отсутствуют четвертичные отложения, перекрывающие коренные породы, крупные тектонические разрывные нарушения также отсутствуют;

- топографическая ситуация позволяет проводить различные виды работ, связанные с сооружением станции и созданием системы передачи данных в Центр сбора и обработки специальных сейсмических данных (г. Алматы). Наибольшая высотная отметка на участке 712 м над уровнем моря. Рельеф участка полого-холмистый с перепадом высот 100-200 м. Поверхность представляет собой холмы и увалы сглаженных очертаний, разделенные неглубокими долинами. В большинстве случаев долины лишены даже небольшого эрозионного вреза;

- доступность участка для автомобильного транспорта. На участке имеются полевые дороги, к участку ведет асфальтированная дорога, соединяющая п. Мақанчи и п. Бахты, что позволяет осуществлять материально-техническое снабжение станции;

- нет ограничений для посещения станции иностранными специалистами;

- существуют линии энергоснабжения, что снижает объем строительных работ по ЛЭП.

На рис. 2. приведена геологическая карта участка, выбранного для размещения сейсмической группы PS023 "Мақанчи", на которой цифрами от 1 до 9 обозначено размещение скважин для сейсмоприемников. Как видно из рисунка, участок расположен в северо-восточной части гранитоидного массива верхнепалеозойского возраста ( $\gamma Pz_3 III$ ), прорывающего эффузивно-туфогенные отложения фаменского

возраста ( $D_3fm$ ). Гранитоидный массив дифференцирован по составу. Центральная часть массива сложена розовыми среднезернистыми биотитовыми, лейкократовыми и аляскитовыми субщелочными гранитами основной интрузивной фации ( $\gamma Pz_3III$ ). В эндоконтактных краевых зонах интрузивного массива развиты гибридные породы, по составу отвечающие субщелочным гранитам, гранит-порфирам, граносиенитам, гранодиоритам, кварцевым диоритам, диоритам. Структура в таких разностях чаще всего мелко-среднезернистая порфировидная. Жильная фация ( $\lambda Pz_3III$ ) представлена дайками кислого состава, среди которых встречаются жильные граниты, аплиты, плагиогранит порфиры, кварцевые порфиры, фельзитовые порфиры, редко пегматиты и гранодиорит-порфиры. Встречаются дайки андезитового порфирита, диабаз, диоритового порфирита.

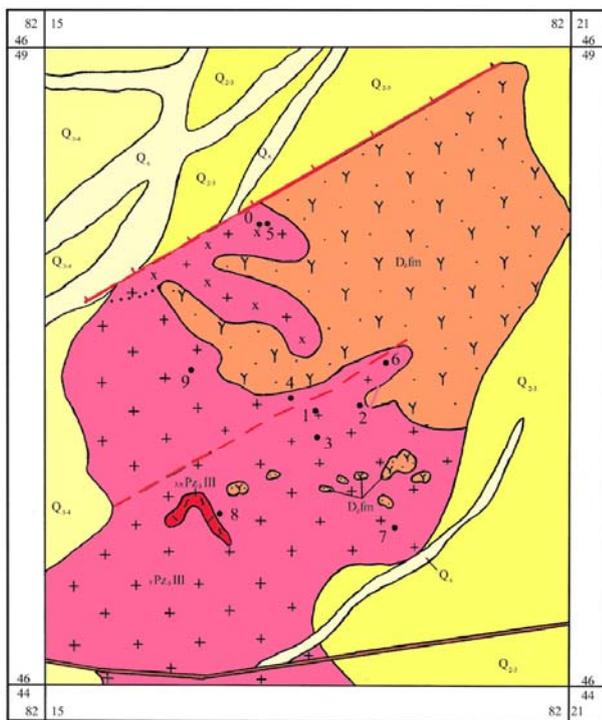


Рис. 2. Геологическая карта участка размещения сейсмической группы PS023 "Маканчи" и расположение приборных скважин [по материалам Твердислова Ю.А., Войтович В.С. и др., 19 57-1959гг.]

Верхнедевонские отложения фаменского яруса ( $D_3fm$ ) ограничивают гранитоидный массив с севера и северо-востока и представлены эффузивами кислого и среднего состава и их туфами. На территории участка, среди гранитоидов верхнего палеозоя встречаются достаточно крупные ксенолиты эффузивов и туфов фаменского яруса. На поверхности они выделяются в виде останцов на вершинах небольших холмов. Ксенолиты могут встречаться и на глубине, внутри гранитоидного массива (скважина 8). Эффузивы и туфы в контакте с гранитоидами сильно ороговикованы.

В северной части участка, вдоль северо-восточной границы гранитоидного массива, проходит разлом северо-восточного направления, имеющий падение на северо-запад под углом 80 градусов. Местами шов разлома вертикален. В центральной части участка прослежен разлом северо-восточного направления, к которому приурочена прямолинейная долина.

По результатам анализа сейсмических шумов [3] и геологического строения участка скважин, были намечены места размещения приборных скважин (рис. 2, табл.1).

Бурение приборных скважин в основном глубиной порядка 30 метров, позволило прояснить геологическое строение гранитоидов на глубине и изучить гидрогеологические условия. Скважины №№ 0; 5 расположенные в северной части участка в эндоконтактной зоне гранитоидного массива, пройдены в среднезернистых розовато-серых гранодиоритах. Скважина № 9, расположенная в северо-западной части участка, пройдена в среднезернистых плагиогранитах. Скважина № 8, расположенная в юго-западной части участка, пройдена в среднезернистых гранодиоритах эндоконтактной зоны гранитоидного массива. В интервале 0-22,5 м скважина пересекла жильное тело кварцевых порфиров и ксенолит туфов девонского возраста. Скважина № 6, расположенная в северо-восточной части участка, в зоне влияния разлома, пройдена в розовато-серых гранитах. В интервале 10-20 м граниты сильно трещиноватые. Скважина № 7, расположенная в юго-восточной части участка, пройдена в среднезернистых розовато-серых плотных гранитах, относящихся к главной интрузивной фации. Скважины №№ 1, 2, 3, 4, расположенные в центральной части участка, пройдены в средне-мелкозернистых гранитах, относящихся к главной интрузивной фации. Таким образом, все приборные скважины пробурены в гранитоидах. Установлено, что экзогенная трещиноватость в гранитоидах развита до глубины 14-16 м и только в некоторых местах - до глубины 20-25 м.

Табл. 1. Сведения о приборных скважинах сейсмической группы PS023 "Маканчи"

№№ сква-жин	Сейсмометр, тип	Глубина скважины, м	Широта С. Ш.	Долгота В. Д.	Абсолютная отметка устья, м
0	KS 54000, длиннопериодный	61	46°47'37,45"	82°17'25,227"	615,41
1	GS 21, короткопериодный	31	46°46'12,3"	82°18'01,4"	609,36
2	GS 21, короткопериодный	30,5	46°46'10,01"	82°18'31,08"	638,99
3	GS 21, короткопериодный	30,5	46°45'56,5"	82°18'05,4"	630,77
4	GS 21, короткопериодный	31	46°46'17,4"	82°17'42,4"	589,91
5	GS 21, короткопериодный	31	46°47'37,5"	82°17'28,88"	615,41
6	GS 21, короткопериодный	31	46°46'30,48"	82°18'48,21"	637,65
7	GS 21, короткопериодный	31	46°45'13,94"	82°18'56,4"	627,90
8	GS 21, короткопериодный	31	46°45'19,2"	82°16'58,7"	607,62
9	GS 21, короткопериодный	30	46°46'27,9"	82°16'37,15"	579,86

Гидрогеологическая скважина № 01 пройдена в ксенолите эффузивных пород, залегающем среди гранитов. В гидрогеологической скважине и в приборных скважинах №№ 0, 4, 9 вскрыты трещинные подземные воды. В скважине № 0 они встречены в интервале 47 – 51 м, приурочены к тектонической зоне, оперяющей предгорный разлом, расположенный к северо-западу от точки заложения скважины. Воды напорные, их пьезометрический уровень установился на глубине 42,4 м. Скважиной № 4 трещинные воды вскрыты в интервале 11 – 12 м. Воды не напорные, статический уровень установился на глубине 10,9 м. В скважине № 9 трещинные воды вскрыты на отметке 29 м. Воды напорные, пьезометрический уровень установился на глубине 6 м. Гидрогеологическая скважина № 01 для технического водоснабжения пробурена до глубины 70 м. Водоносный горизонт трещинных вод вскрыт на глубине 57 м. Статический уровень установился на отметке 57 м.

Для изучения степени воздействия трещинных вод на бетонные конструкции приборных скважин, из скважин №№ 0 и 4 были отобраны пробы воды на сокращённый химический анализ. В результате установлено, что трещинные воды в гранитах имеют общую минерализацию, варьирующую в пределах 0,39 – 0,49 г/л. Показатель рН не превышает 7,2. Агрессивность CO<sub>2</sub> составляет 4,4 – 6,6 мг/л. Воды пресные, сульфатно-гидрокарбонатные с преобладанием суммы щелочных катионов (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>). Трещинные воды в гидрогеологической скважине № 01, пройденной в эффузивах, имеют значительное отличие от трещинных вод в гранитах. Общая минерализация составляет 1,2 г/л. Воды содержат 51% аниона Cl<sup>-</sup> и более 60% суммы щелочных катионов (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>). Однако, согласно нормативам, воды с такими характеристиками могут быть использованы для технических целей.

Окончательная конфигурация новой сейсмической группы "Маканчи" показана на рис. 3.

Данные, полученные при обследовании площадки, были положены в основу проекта строительства сейсмической группы. В настоящее время сейсмическая группа PS023 "Маканчи" построена и эксплуатируется в режиме тестирования.

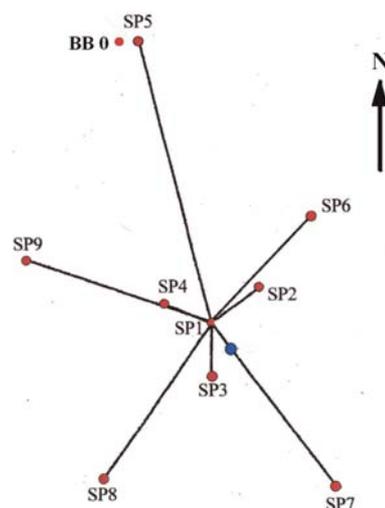


Рис. 3. Конфигурация сейсмической группы PS023 "Маканчи" [2]. BB0 – место трехкомпонентного широкополосного сейсмометра, SP – места однокомпонентных короткопериодных сейсмометров

#### ВЫБОР УЧАСТКА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ AS057 "БОРОВОЕ"

Работы по выбору участка для размещения новой сейсмической группы AS057 "Боровое" были начаты в 2000 г. вблизи действующей сейсмической станции "Боровое" [2]. Сейсмическая станция «Боровое» находится в Щучинском районе Актюлинской области. Географические координаты станции 53,058° с.ш. и 70,283° в. д. Практически эти же координаты определены для новой сейсмической группы согласно приложению 1 к Протоколу ДВЗЯИ [1] - 53,1° с. ш. и 70,3° в. д.

На первом этапе работ по доступным источникам была изучена геологическая и топографическая ситуация вблизи сейсмической станции "Боровое" и, исходя из полученных данных, был намечен один участок как предварительно удовлетворяющий необходимым требованиям. Осенью 2000 г. специалистами ИГИ НЯЦ РК и СТВО на этом участке проведены полевые работы, которые включали геологическую и топографическую рекогносцировку, изучение инфраструктуры, измерение сейсмических шумов. По архивным данным были изучены климатические условия в районе участка. В зимний

период 2000-2001 г. проведен анализ измеренных сейсмических шумов [4].

Выбранный участок находится вблизи поселка Воробьевка, в 8 км к юго-востоку от ГО «Боровое» и в 9 км к юго-юго-востоку от курортного поселка Боровое, расположенного на берегу озера Боровое (рис.4,5). Предполагаемый центр участка имеет координаты 53,025° с. ш. и 70,389° в. д. Участок располагается на территории Государственного национального природного парка «Бурубай». Рельеф участка грядово-холмистый и имеет плавный подъем на восток. Как правило, гряды и холмы различной высоты, сложены гранитами. В сторону поселка Воробьевка рельеф плавно понижается. По отношению к геофизической обсерватории «Боровое», территория участка, занимает господствующее высотное положение. К востоку от участка, являясь его границей, располагается небольшая гряда, сложенная кварцитами, где наибольшую высотную отметку 621,6 м над уровнем моря имеет гора Лысая (рис.5).

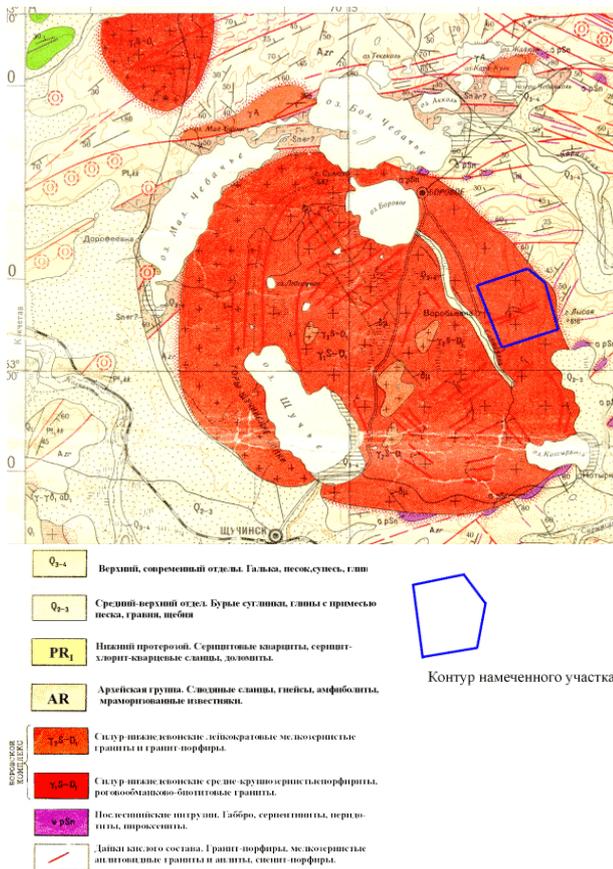


Рис. 4. Геологическая карта района и участка сейсмической группы AS057 «Боровое» [по материалам Жукова М.А., Рахимбаева Т.Б., Шлыгина Е.Д., 1961.г.]



- места заложения приборных скважин
- ROOF - место технической площадки
- маршруты кабелей к приборным скважинам
- маршрут проектируемой ЛЭП

Рис.5. Схема расположения приборных скважин сейсмической группы AS057 "Боровое" и проектируемых коммуникаций

Рядом с участком, в поселке Воробьевка, имеется небольшой аэродром сельскохозяйственной и лесной авиации, который может принимать и обслуживать вертолеты. С поселком Боровое и геофизической обсерваторией «Боровое» участок соединен асфальтированной дорогой. К юго-западу от участка в 16-18 км находится г. Щучинск, через который проходит железная дорога, соединяющая города Кокчетав и Астана.

В геологическом отношении участок расположен в пределах Боровского гранитного массива силур - нижнедевонского возраста и приурочен к его восточной периферийной части (рис.4). Вмещающими породами интрузивного гранитного массива являются породы Архея (ARzr): слюдяные сланцы, гнейсы, амфиболиты, мраморизованные известняки, и Протерозоя (PR<sub>1</sub>kk) серицитовые кварциты, серицитохлорито- кварцевые сланцы, доломиты. Эти породы на контакте с гранитами ороговикованы.

Интрузивный гранитный массив и вмещающие его породы перекрыты чехлом четвертичных отложений (Q<sub>II-III</sub> – Q<sub>III-IV</sub>). Отложения представлены бурыми суглинками, песчанистыми глинами с гравием и щебенкой, галечниками, супесями, песками, глинами. Граниты Боровского интрузивного массива представлены средне- и крупно-зернистыми слабо порфиридовидными биотит-роговообманковыми гранитами первой фазы (γ<sub>1</sub>S<sub>1</sub>-D<sub>1</sub>) и лейкократовыми мелкозернистыми гранитами и гранит-порфирами второй фазы (γ<sub>2</sub>S<sub>1</sub>-D<sub>1</sub>). Наиболее распространенными являются граниты первой фазы, имеющие светло-серую и розовато-серую окраску. Для них характерно наличие хорошо выраженных пологопадающих и крутопадающих трещин отдельности, принадлежащих к системе Q, L, S. Особенно хорошо выражены трещины системы L, подчеркиваемые матрицевидной отдельностью гранитов. В централь-

ной части массива эти трещины имеют угол падения 5-10°, а к периферийной его части, где находится выбранный участок, угол падения трещин увеличивается до 40-50°. Крутопадающие и пологопадающие трещины отдельности послужили каналами для проникновения более поздних порций магмы и предопределили особенности их формы. Граниты второй фазы в основном приурочены к центральной части Боровского массива и на выбранном участке развиты слабо.

В пределах участка, выбранного под строительство, наиболее распространенными являются средне- и крупнозернистые слабо порфирированные биотит-роговообманковые граниты первой фазы ( $\gamma_1 S_1-D_1$ ). Граниты второй фазы на участке строительства развиты слабо. Мощность рыхлых отложений колеблется от 1-2 м до 20-25 м, граниты во многих местах выходят на поверхность. Это небольшие коренные выходы высотой 0,2-0,5 м и мощные останцы высотой до 3 м. или гряды, имеющие протяженность десятки - сотни метров. Граниты на поверхности выветрелые, мощность выветрелых гранитов колеблется от первых метров до первых десятков метров. Крепкие неветрелые граниты вскрыты разведочной скважиной на глубине 34 м. Уровень грунтовых вод в разведочной скважине - 2,0 м. Характер геологического разреза позволил сделать вывод о том, что наиболее оптимальной для приборных скважин является глубина 40 м.

Учитывая геологические, топографические данные, результаты изучения сейсмических шумов [4] и другие данные, в марте 2001 г. проведены работы по уточнению мест расположения приборных скважин и закреплению их на местности. Выбранная конфигурация новой сейсмической группы AS057 "Боровое" приведена на рис. 6. В табл. 2 даны координаты выбранных мест расположения приборных скважин.

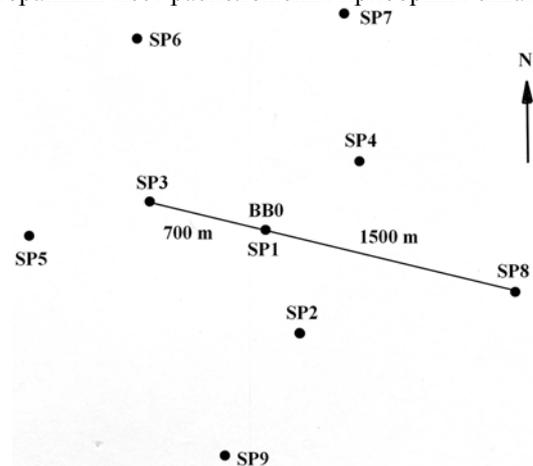


Рис. 6. Конфигурация сейсмической группы AS057 "Боровое." BB0 – место для трехкомпонентного широкополосного сейсмометра, SP – места для однокомпонентных короткопериодных сейсмометров

Табл. 2. Координаты мест расположения сейсмометров сейсмической группы AS057 "Боровое"

№ п/п	№№ скважин, место	Координаты		Абсолютная отметка, м	Расстояние до скв.1, м
		Широта, градусы	Долгота, градусы		
1	0, 1*	53° 01' 29,7"	70° 23' 18,7"	459	-
2	2	53° 01' 07,8"	70° 23' 28,2"	452	700
3	3	53° 01' 36,0"	70° 22' 42,5"	421	700
4	4	53° 01' 44,1"	70° 23' 47,5"	460	700
5	5	53° 01' 28,8"	70° 21' 58,5"	401	1500
6	6	53° 02' 10,4"	70° 22' 34,1"	409	1500
7	7	53° 02' 16,2"	70° 23' 42,7"	449	1500
8	8	53° 01' 17,9"	70° 24' 38,7"	522	1540
9	9	53° 00' 44,7"	70° 23' 00,9"	460	1430
10	ROOF**	53° 01' 33,5"	70° 23' 30,6"	453	250

\* Центр сейсмической группы, две скважины: 0,1.

\*\* Место расположения технической площадки

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность сейсмической группы по регистрации, обнаружению, идентификации сейсмических событий, происходящих в различных частях земного шара, в значительной степени определяется выбором конкретных мест размещения сейсмических групп, элементов сейсмических групп. Качество сделанного выбора зависит от соблюдения ряда условий, для соблюдения которых изучаются геологическое строение участка, соотношение сейсмического сигнала к фоновому шуму, топографическая

ситуация, инфраструктура района расположения участка и др. Именно эти данные изучались при подготовке строительства новых сейсмических групп PS023 «Маканчи» и AS057 «Боровое» в составе Международной сети мониторинга ДВЗЯИ.

Работы, описанные в данной статье, проведены ДГП ИГИ НЯЦ РК под руководством главного инженера Демина В.Н. и менеджера Марченко В.Г. В работах принимали участие Бахтин Л. В., Грязнов О. А., Пестов Е.Ю.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Подготовительная комиссия ОДВЗЯИ. Вена, 1998, с.168
2. Беляшова Н.Н., Малахова М.Н. Сейсмологическая сеть Национального ядерного центра Республики Казахстан как составная часть Международной системы мониторинга ядерных испытаний. Вестник НЯЦ РК, вып.2, 2000 г., с.13- 16
3. Комаров И.И., Синева З.И., Михайлова Н.Н., Абдрахманова Г.С. Модель сейсмического шума по наблюдениям геофизической обсерватории "Маканчи". Вестник НЯЦ РК, вып.2, 2000 г., с.17 - 23
4. Синева З.И., Михайлова Н.Н. Обоснование апертуры новой сейсмической группы "Боровое" на основе корреляционного анализа сейсмических данных.( статья в настоящем сборнике).

**ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДА ЖАҢА СЕЙСМИКАЛЫҚ  
ТОПТАРЫНЫҢ АЛАНДАРЫН ТАҢДАУ БОЙЫНША ЗЕРТТЕУЛЕР****А.И. Неделков***ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты*

Мақала, ЯСБТШ Халықаралық мониторинг жүйесінің жаңа сейсмикалық топтарын орналастыруына тағайындалған учаскелерінде өткізілген зерттеулеріне арналған. PS023 (Мақаншы), AS057 (Бурабай) сейсмикалық топтар үлгісінде жұмыстардың толық жүйесі және конфигурациясы мен алаңдардың орналасу орындарын анықтау бойынша нәтижелері баяндалған.

**A STUDY ON THE SELECTION OF THE SITES FOR NEW SEISMIC ARRAYS IN KAZAKHSTAN****A.I. Nedelkov***Institute of Geophysical Research NNC RK*

The paper describes the research conducted at the sites selected for the establishment of new IMS seismic arrays according to CTBT. The seismic arrays PS023 (Makanchi) and AS057 (Borovoye) have been taken as the examples for demonstrating how a complete survey is conducted. The article shows the research results - array configurations and exact locations of the array elements.

УДК 550.342:519.27(574.2)

## ОБОСНОВАНИЕ АПЕРТУРЫ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ БОРОВОЕ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

<sup>1</sup>Синева З.И., <sup>2</sup>Старовойт Ю.О., <sup>1</sup>Михайлова Н.Н.

<sup>1</sup>Институт геофизических исследований НЯЦ РК, г. Курчатов

<sup>2</sup>Организация по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, Австрия, г. Вена

В работе приводятся результаты изучения пространственной корреляции сейсмических сигналов и шума на участке, выбранном под строительство новой сейсмической группы AS057 «Боровое». Рассмотрено несколько различных конфигураций сейсмической группы и рассчитано возможное усиление сигнала для каждой из конфигураций. В результате обоснована оптимальная конфигурация сейсмической группы, обеспечивающая наибольшую эффективность станции в решении задач обнаружения сейсмических событий.

В соответствии с Протоколом к Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [1] в Казахстане должна быть сооружена новая сейсмическая группа AS057 «Боровое», которая станет одной из запасных станций Международной системы мониторинга. Известно, что способность сейсмической группы усиливать отношение сигнал/шум зависит от конфигурации и апертуры группы. Для того, чтобы выбрать их наиболее удачно с точки зрения будущего усиления станции, проведены работы по анализу пространственной корреляции сейсмических сигналов и шума.

На площадке, где планировалось размещение новой сейсмической группы (рис.1), в 2000 г. проведены полевые работы по регистрации сейсмических колебаний.

Станции для регистрации сейсмических сигналов и шума устанавливались по профилю в восьми пунктах. Общая длина профиля - около 4 км. Поскольку для выполнения работы использовалось шесть приборов, производилось их перемещение для исследования сейсмических сигналов на всех восьми пунктах. Основные данные о расположении пунктов наблюдений приведены в табл. 1.

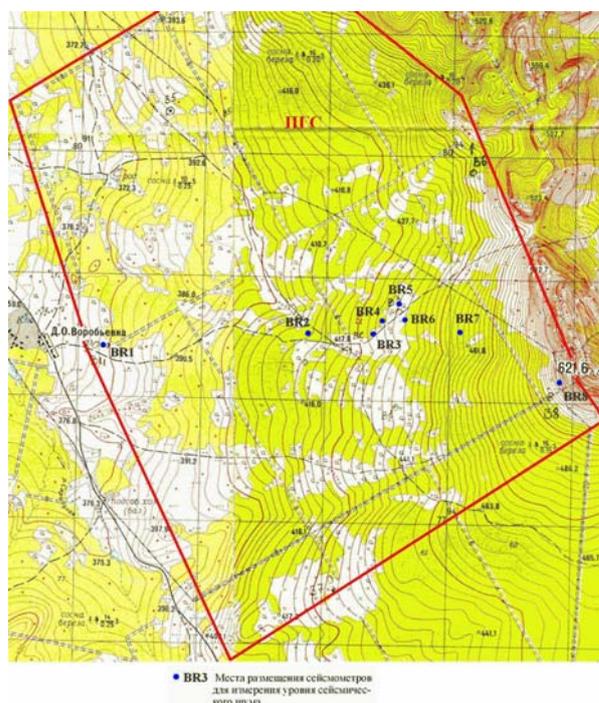


Рис 1. Карта участка размещения сейсмической группы AS057 - Боровое

Табл. 1. Основные характеристики сейсмических станций

Станция	φ, с.ш.	λ, в.д.	Δ lat	Δ lon	Az	Baz	dist, км
BR1	53,0254	70,3594	-0,089	-2,196	267,6	87,56	2,203
BR2	53,0262	70,3842	0	-0,530	270,003	83,997	0,541
BR3	53,0262	70,3921	0	0	0	0	0
BR4	53,0266	70,3929	0,045	0,054	31,261	211,261	0,072
BR5	53,0285	70,3948	0,256	0,181	31,124	211,126	0,325
BR6	53,0271	70,3952	0,100	0,209	58,959	238,961	0,240
BR7	53,0261	70,4021	-0,011	0,672	89,996	270,004	0,672
BR8	53,0219	70,4139	-0,323	1,465	107,676	287,694	1,528

Чтобы сделать выводы об оптимальной апертуре сейсмической группы, по экспериментальным данным исследованы зависимости корреляции сейсмических шумов и сейсмических сигналов от расстояния. Известно, что эти зависимости имеют различный характер, благодаря чему на определенных расстояниях можно обнаружить минимальную корреляцию шума (или даже антикорреляцию) при максимальной корреляции сигналов. Это позволяет

при обнаружении сигналов сформировать из отдельных записей новую запись, со значительно большим значением отношения сигнал – шум.

По всем записям за период регистрации, общее время которой составило 4 суток, были выделены обнаруженные на них сигналы. Ассоциация этих сигналов с сейсмическими событиями проводилась в соответствии с каталогом землетрясений REB, составляемым в Международном Центре данных, что

**ОБОСНОВАНИЕ АПЕРТУРЫ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ БОРОВОЕ  
НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

позволило уточнить принадлежность того, или иного сигнала конкретному событию, а также идентифицировать тип вступающей сейсмической волны. Список землетрясений, использованных при исследовании корреляции сигналов приведен в табл. 2.

С использованием программного комплекса EP, предоставленного Норвежским центром НОРСАР, была проведена обработка записей сигналов, в результате которой были определены времена вступления разных фаз, азимут, кажущаяся скорость, медленность (slowness), эпицентральное расстояние. Результаты этих определений представлены в табл. 3.

Из табл.3 видно, что наибольшее число событий находится на телесеismicких расстояниях от проектируемой группы. Лишь одно землетрясение соответствует региональному расстоянию

( $\Delta = 17,358^\circ$ ), и поэтому полученные результаты являются более представительными для телесеismicких расстояний.

Для поиска корреляций проводилась предварительная корректировка записей. С учетом азимута и кажущейся скорости сигналы от одного землетрясения по разным пунктам регистрации предварительно сдвигались относительно друг друга. Затем проводились расчеты корреляции сигналов по всем парам станций, их зарегистрировавшим. Диапазон расстояний между парами станций варьировался от 70 до 3700 м. Расчет корреляций проводился для трех частотных диапазонов с центральными частотами 1 Гц, 2 Гц, 4 Гц, ширина полосы составляла 0,2 единицы логарифма.

Табл. 2. Список землетрясений, использованных при исследовании корреляции сигналов

№	Дата	Время в очаге	Широта	Долгота	Глубина, км	M <sub>b</sub>	Регион
1.	17.09.2000	12.41.56,1	1,75 S	100,53 E	57	4,0	Индонезия
2.	17.09.2000	20.54.04,0	19,18 N	144,77 E		4,6	Марианские острова
3.	17.09.2000	22.50.06,0	52,61 N	178,40W	213,5	4,7	Андреановы острова
4.	18.09.2000	10.22.24,6	3,56 S	128,88 E		4,8	Индонезия
5.	18.09.2000	19.20.13,4	3,62 S	149,62 E		4,3	Море Бисмарка
6.	19.09.2000	11.13.44,7	1,59 N	127,16 E	118,7	4,0	Индонезия
7.	19.09.2000	15.19.10,1	38,18 N	57,37 E		4,6	Туркмения-Иран
8.	19.09.2000	20.19.58,3	57,34 N	154,59 W	43,3	4,5	Острова Кодиак
9.	20.09.2000	05.30.20,0	46,47 N	153,04 E		5,0	Курильские острова
10.	20.09.2000	07.15.30,3	5,99 S	147,85 E	56,6	4,9	Запад Новой Гвинеи

Табл. 3. Результаты обработки сигналов, зарегистрированных временной группой станций на участке размещения AS057 «Боровое»

Номер события по Табл. 2	Фаза	Время вступления, чч. мм. сс. мсек	Расстояние, град	Азимут, град	Медленность, с/град	Кажущаяся скорость, км/с
1.	P	12.51.56.666	60,3	144,7	6,85	16,22
2.	P	21.04.57.8	65,45	90,35	6,44	17,243
3.	P	22.59.51.634	58,54	42,608	6,88	16,144
4.	P	10.34.01.199	76,688	118,082	5,8	19,136
5.	P	19.32.58.101	86,460	100,798	4,91	22,63
6.	P	11.24.39.384	69,411	116,724	6,16	18,036
7.	Pn	15.23.09.673	17,358	216,419	12,41	8,96
	Sn	15.26.15.128			20,39	5,45
8.	P	20.30.26.645	63,704	25,183	6,51	17,07
9.	P	05.39.23.209	50,78	61,840	7,49	14,83
10.	P	07.28.10.08	87,33	103,625	4,8	23,13

Для телесеismicких P-волн данные по рис.2-4 показаны осредненные кривые по P-фазе для всех землетрясений.

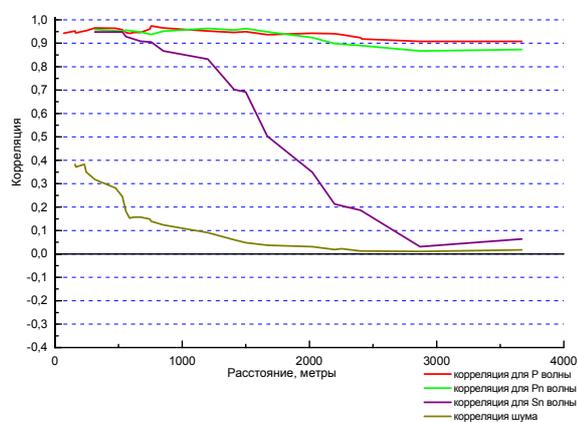


Рис. 2. Корреляционные кривые для сигнала и шума на частоте 1 Гц

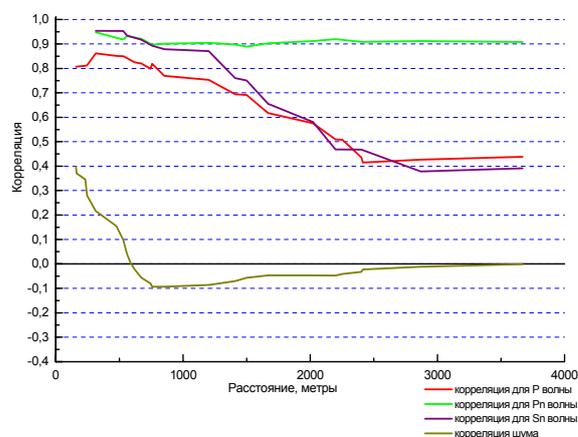


Рис. 3. Корреляционные кривые сигнала и шума на частоте 2 Гц

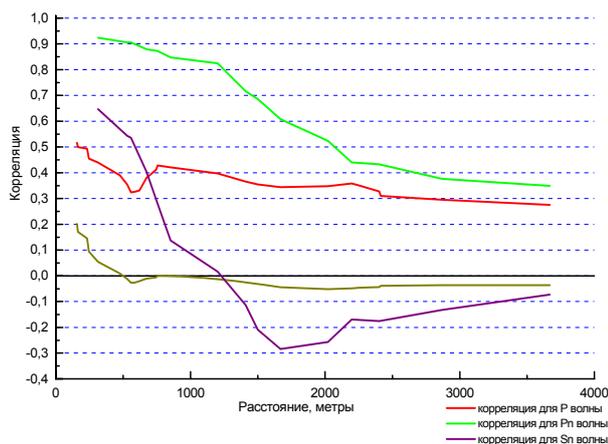


Рис.4. Корреляционные кривые сигнала и шума на частоте 4 Гц

Как видно из рис.2, на частоте 1 Гц сигналы в Р-волне достаточно хорошо коррелируются во всем исследуемом диапазоне расстояний. Коэффициенты корреляции меняются от 95% - на расстояниях менее 1700м, до 87% - на больших расстояниях. С увеличением частоты до 2 и 4 Гц сигнал коррелируется заметно меньше, что вполне естественно для телесеismicических сигналов, преобладающий период которых соответствует более низкочастотному диапазону. При 2 Гц (рис.3) только до 700 м коэффициент корреляции больше 0,8, затем он резко уменьшается до 0,45 при  $\Delta > 2500$  м. При 4 Гц (рис.4) корреляция ухудшается ещё значительно с увеличением расстояния.

Для региональных сигналов корреляция была рассчитана для продольной волны Pn и поперечной волны Sn только для одного сейсмического события. Фазы Pg и Lg на записях этого землетрясения не были выделены. На частоте 1 Гц корреляционные графики по региональной волне Pn и телесеismicической P совпадают практически во всем диапазоне расстояний (рис.2). Коэффициент корреляции для Pn на всех расстояниях выше 0,9. Высокая корреляция сигналов в Р-волне наблюдается и на частоте 2 Гц (рис.3). Коэффициент корреляции при всех расстояниях выше 0,9. На частоте 4 Гц для расстояния, примерно с 1400 м, корреляция резко снижается и находится на уровне 0,4. Для фазы Sn высокая корреляция наблюдается для частот 1 Гц и 2 Гц на расстояниях менее 1200м, для 4 Гц – на расстояниях немногим более 500м.

Сейсмические шумы анализировались по достаточно представительному материалу. Отрезки шума выбирались в минутном интервале перед сигналами всех выделенных землетрясений. Анализ проводился по 20-секундным отрезкам записи. Количество исследуемых отрезков шума по разным станциям

варьировало от 8 до 19. Исследование шума проводилось в тех же частотных диапазонах, что и для сейсмических сигналов. Из рис. 2-4 видно, что коэффициент корреляции шумов резко убывает на первых сотнях метров и даже достигает отрицательных значений на частоте 2 Гц. Далее, до предельных исследованных расстояний, коэффициент корреляции практически равен нулю. Судя по полученным графикам, наибольшее усиление может быть достигнуто на расстояниях 600 –700м при обнаружении региональных сигналов. По Р-фазе отношение сигнал/шум остается достаточно высоким, начиная с расстояния 1500 м и, по крайней мере, до предельных расстояний, рассмотренных в наших исследованиях.

Базируясь на приведенных данных, можно рассчитывать достигаемое усиление применительно к конкретной сейсмической группе. Конфигурация сейсмической группы AS057 «Боровое» проектируется по типу наиболее распространенных в мире сейсмических групп - девять элементов, расположенных по двум концентрическим окружностям. Для определения наиболее эффективного соотношения радиусов окружностей применительно к сейсмической группе AS057 «Боровое» в качестве альтернативных вариантов рассматривались две модели:

1 модель (рис.5а): соотношение радиусов окружностей равно 2,15; три элемента располагаются на внутренней окружности, пять элементов - на внешней окружности, один элемент - в центре;  $R_{\text{внешнее}} = R_{\text{внутреннее}} \times 2,15$ .

2 модель (рис.5б): соотношение радиусов окружностей равно 4, расположение элементов группы аналогично 1 модели;  $R_{\text{внешнее}} = R_{\text{внутреннее}} \times 4$ .

Суммарное усиление сейсмической группы G, согласно [2], равно:

$$G = \sum_{i,j} C_{ij} / P_{ij}, \quad (1)$$

где  $C_{ij}$  – корреляция сейсмического сигнала между датчиками i и j,  $P_{ij}$  – корреляция шума между датчиками i и j. Для группы, состоящей из N элементов, выражение (1) стремится к  $G^2 = N$  в случае полностью скоррелированных сигналов ( $C_{ij} = 1$  для всех i и j) и некоррелированного шума ( $P_{ij} = 0$  для  $i \neq j$ ,  $P_{ij} = 1$  для  $i = j$ ). Результаты расчета суммарного усиления сигнала сейсмической группы, имеющей конфигурацию согласно модели 1, показаны в табл. 4. Расчеты выполнены для трех диапазонов частот и 5 значений радиуса внутреннего круга в диапазоне от 100 до 1000 м.

**ОБОСНОВАНИЕ АПЕРТУРЫ НОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ БОРОВОЕ  
НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

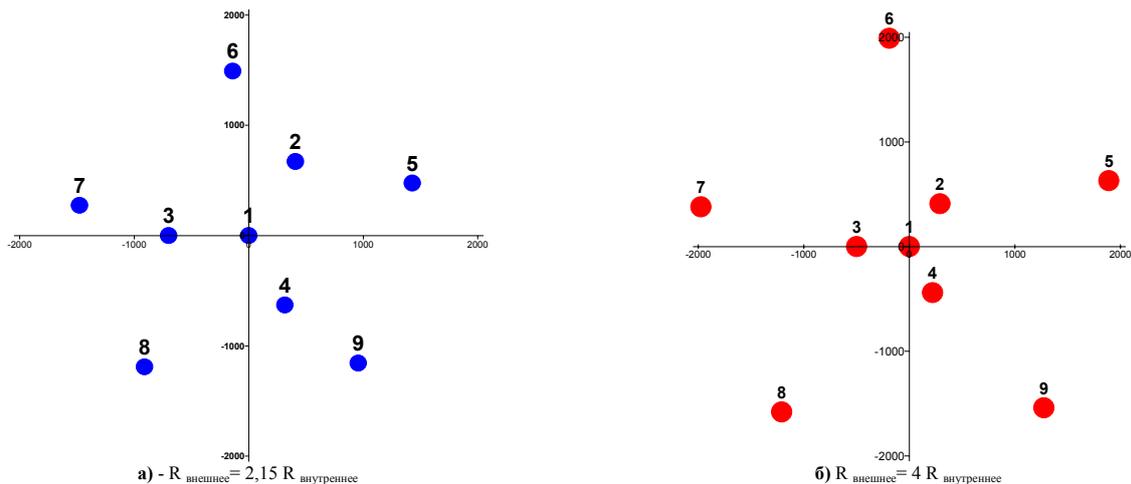


Рис. 5 Модели конфигурации сейсмической группы, использованные для расчетов усиления сигналов

Табл. 4. Расчетное усиление сигнала сейсмической группой с конфигурацией согласно модели 1

R внутр., м	G (f =1Гц)	G (f =2 Гц)	G (f =4 Гц)
100	1,48	1,52	1,52
300	1,89	2,86	2,82
500	2,18	3,81	2,90
700	2,41	3,85	2,86
1000	2,58	3,42	2,66

Для модели 2 удалось провести расчеты только для двух значений радиуса внутреннего круга (табл. 5).

Табл. 5. Расчетное усиление сигнала на сейсмической группе с конфигурацией согласно модели 2

R внутр., м	G (f =1 Гц)	G (f = Гц)	G (f =3 Гц)
300	2,15	3,32	2,81
500	2,44	3,22	2,75

Соответствующие графики зависимости суммарного усиления сейсмической группы G от значений радиуса внутреннего круга показаны на рис. 6. Как видно из рис.6, в пределах расстояний 500 – 1000 м наблюдаются высокие значения G. Наибольшее усиление достигается при  $R_{внутр.} = 700$  м,  $R_{внешн.} = 1500$  м. При этом может быть достигнуто усиление отношения сигнал/шум более, чем в 3 раза.

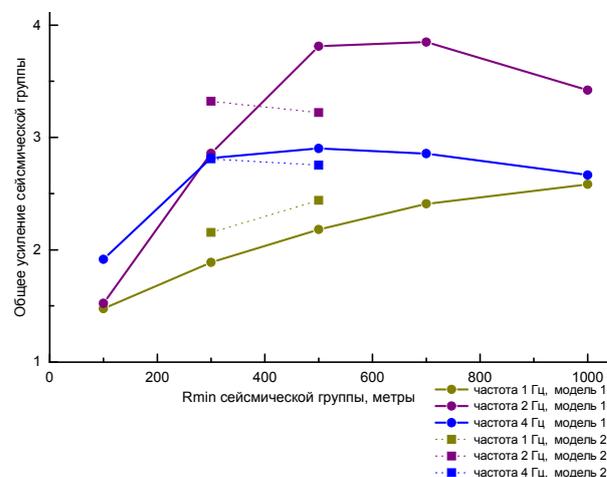


Рис. 6. Зависимость общего усиления сейсмической группы от радиуса внутреннего круга. Модель 1:  $R_{внешнее} = 2,15 R_{внутреннее}$ . Модель 2:  $R_{внешнее} = 4 R_{внутреннее}$ .

Таким образом, в качестве наиболее оптимальной конфигурации сейсмической группы AS057 «Боровое» может быть признана модель 1 с радиусом внутренней окружности - примерно 700м и радиусом внешней окружности – 1500 м. Весной 2001 г. проведены работы по уточнению местоположения участков под размещение скважинных сейсмоприемников и закрепление их координат на местности при апертуре сейсмической группы, обоснованной результатами расчетов, приведенными в данной статье.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Подготовительная комиссия организации ДВЗЯИ. 1996 г.
2. Manual of Seismological Observatory Practice, Chapter 9, Seismic Arrays. Norsar, 2000

**СЕЙСМИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІНІҢ КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ТАЛДАУ  
НЕГІЗІНДЕ ЖАҢА БУРАБАЙ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОБЫНЫҢ АПЕРТУРАСЫН НЕГІЗДЕУ**

<sup>1)</sup> Синева З.И., <sup>2)</sup> Старовойт Ю.О., <sup>1)</sup> Михайлова Н.Н.

<sup>1)</sup> ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов

<sup>2)</sup> ЯСБТШҰ халықаралық мониторинг жүйесі, Австрия, Вена

Бурабай – AS057 сейсмикалық тобын құруына таңдалған учаскесінде сейсмикалық сигналдардың және шудың кеңістік корреляциясын зерделеуінің нәтижелері келтірілген. сейсмикалық топтың әртүрлі конфигурациясы қарастырылған, және әрбір конфигурацияға сигналдың мүмкіндегі күшейуі есептелген. нәтижесінде, сейсмикалық оқиғаларды табу мәселелерін шешуінде, станцияның ең үлкен тиімділігін камтамасыз ететін сейсмикалық топтың қолайлы конфигурациясы негізделген.

**THE JUSTIFICATION OF “BOROBOYE” NEW SEISMIC ARRAY  
ON THE BASE OF CORRELATION ANALYSIS OF SEISMIC DATA**

<sup>1)</sup> Z.I. Sineva, <sup>2)</sup> Yu. O. Starovoit, <sup>1)</sup> N.N. Mikhailova

<sup>1)</sup> Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

<sup>2)</sup> CTBTO, Austria, Viena

This paper discusses the investigative results of the spatial correlation of seismic signals and noise on the site selected for the new AS057-Borovoeye seismic array. Several configurations of seismic arrays were examined and the possible signal increase for each configuration was estimated. As a result, the optimal configuration of the seismic array that provides the most effectiveness in the location of seismic events was determined.

УДК [550.34(574):621.039.9]:504.064.36(100)

## ПЛАН РАЗМЕЩЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕТИ МОНИТОИНГА В КАЗАХСТАНЕ И НА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ

Richards P.G., Won-Young Kim, Khalturin V.I.

*Лаumont-Дохертская Земная обсерватория Колумбийского университета, США*

Представляется трехлетняя программа прикладных исследований, начатая в марте 2000 г., с целью улучшенного определения сейсмических событий, публикуемых в Бюллетене Обзора Событий (БОС) Международного Центра Данных (МЦД) по результатам работы 30 станций Международной системы мониторинга (МСМ), расположенных в Восточной Азии. Описываются процедуры, предназначенные для улучшения калибровки сейсмических станций МСМ в Казахстане (АКТ, BRV, KUR, МАК), России (ZAL) и Кыргызстане (ААК).

Следуя рекомендациям двух симпозиумов по «Размещению калибровочных станций МСМ», проведенных в Осло (1999, 2000 гг.), в программе принят подход, который заключается в создании годографов для каждой наблюдаемой сейсмической фазы как функции расстояния и азимута (а, где возможно, и глубины) с использованием: (а) - ранее исследованных землетрясений, (б) - глубинного сейсмического зондирования, (с) - последних исследований ядерных и химических взрывов. Предполагается использовать также (д) - эмпирический метод, позволяющий анализировать фазы так называемых достоверных событий, зарегистрированных станциями с известным расположением.

Предполагается обеспечить возможность регулярно обнаруживать сейсмические события с погрешностью не более 1000 квадратных километров в целях мониторинга ДВЗЯИ.

### ВВЕДЕНИЕ

Основными пользователями сейсмических данных являются: (1) исследователи, занимающиеся инженерной сейсмологией и уменьшением последствий землетрясений, (2) ученые, исследующие внутреннее строение Земли и физику сейсмических процессов, (3) национальные и международные группы, организованные для мониторинга соблюдения ДВЗЯИ. Хотя самыми основными данными в сейсмологии для всех этих пользователей являются сейсмограммы, на практике большинство работающих с сейсмическими данными (1)-(3) не используют сейсмограммы напрямую. Вместо этого, они чаще всего пользуются данными, полученными по сейсмограммам. Наиболее важные из этих данных - сейсмические бюллетени.

За последние 20 лет качество и количество сейсмограмм претерпело значительные улучшения, что связано с разработкой датчиков обратной связи и технологиями цифровой записи, позволяющими использовать большой динамический диапазон в широком диапазоне частот. Продолжаются революционные усовершенствования доступа к данным сейсмограмм с развитием спутниковых коммуникаций и распространением Интернета в самых удаленных регионах. Поэтому странно видеть, что качество главного продукта обработки данных, полученных с сейсмограмм, - глобального бюллетеня сейсмичности - не претерпело каких-либо значительных улучшений, необходимых заинтересованным пользователям (1)-(3). Геологическая служба США (USGS) и Международный Сейсмологический Центр (МСЦ) публикуют свои ежемесячные бюллетени с опозданием на срок от нескольких месяцев до лет, используя добровольно поданную информацию,

имеющую различное качество, проанализированную с использованием различных методов, которые почти не менялись в течение 60 лет.

Обзорный Бюллетень Событий (РЕВ) группы контроля за соблюдением ДВЗЯИ, составляемый прототипом Международного Центра Данных (МСЦ) с января 1995 г. по февраль 2000 г., а позднее - МЦД в Вене, значительно превосходит другие бюллетени по срочности публикации. Однако оценка локализации РЕВ и погрешности (эллипсы ошибок) не соответствуют требованиям ДВЗЯИ, который РЕВ должен поддерживать. Для иллюстрации адекватности можно процитировать параграф 3 части II из протокола к ДВЗЯИ: "...Район Инспекции на месте представляет собой единое целое и его размер не превышает 1000 квадратных километров. Линейное расстояние в любом направлении не превышает 50 километров". В параграфе 41б утверждается также (со ссылкой на требования Инспекции на местах), что границы района, подлежащего инспекции, определяются по карте в соответствии с параграфом 3. Здесь следует обратить внимание, что для площади около 1000 км<sup>2</sup> радиус круга составляет величину всего порядка 18 км. Это требование приводит к возникновению технической проблемы для специалистов, работающих в МЦД и определяющих местонахождение события, поскольку их данные могут стать основой для проведения Инспекции на месте. Проблема усложняется, если событие имеет небольшую интенсивность и его локализация, произведенная в МЦД, основывается на региональных волнах, записанных отдельно на первичных и вспомогательных станциях. Следует заметить, что точная локализация важна для событий, по которым необходимо проведение инспекции на месте. Такие определения являются основными для всех

событий, которые относятся к группе обнаружения, так как на практике локализация (включая определение глубины события) в основном используется для растривания в МЦД и быстрой идентификации в Национальных Центрах Данных. Важно знать, расположен ли источник события под океаном, или на земле; превышает ли его глубина 10м, или близка от поверхности; на территории какой страны он находится.

Одним из первых заявлений о технических несоответствиях был отчет Роберта Норса по GSETT-3 спустя приблизительно два года после начала издания REB: «...большинство событий, описанных в ... (REB) плохо локализованы. При надежности определения 90% эллипсы ошибок превышают 1000 км<sup>2</sup> в 70% случаев, и 10000 км<sup>2</sup> в 30% случаев от всех событий REB. Более того, сравнение результатов локализации событий для территорий разных стран, произведенных собственными национальными, более плотными сетями, и локализаций из REB показывает, что только в половине случаев результат локализации, произведенной по данным национальной сети, находится в эллипсе ошибок с надежностью 90%. Одна из особенностей, которая вызывает сомнение, это то, что большое число событий будет записано только на телесеismicких расстояниях, и лишь несколько – только на региональных (менее 2000 км). Таким образом, необходимо разрабатывать соответствующие средства использования телесеismicких времен пробега, зависящих от трассы, и переходить от них к региональным годографам». На первом симпозиуме в Осло по калибровке локализации МСМ в январе 1999г. несколько докладчиков говорили о тех же самых проблемах, спустя 4 года после публикации REB: указанные эллипсы ошибок, построенные с надежностью 90% имели размер более 1000 км<sup>2</sup> и не включали действительное расположение источников событий в 90% случаев, из-за погрешности определения глубины неадекватно отражалась реальная ситуация. В выпуске REB от 20 февраля 2000 г. (последний выпуск REB перед передачей выпуска ежедневного бюллетеня в МЦД) было описано 15 сейсмических событий с магнитудой, больше или равной 4. Из этих 15 событий только 3 были локализованы с эллипсами ошибок менее 1000 км<sup>2</sup>. Важно четко понять причину того, почему оценка локализации REB в настоящее время так неточна. Погрешность измерения времени вступления сейсмической волны обычно менее 1 секунды (и даже менее 0.1 секунды при хорошем отношении уровня сигнала к шуму), скорость сейсмической волны во внешнем слое Земли меньше 10 км/сек, а именно здесь происходят интересные события и производятся измерения. Из этих данных получается, что сейсмический источник может быть определен с точностью в пределах нескольких километров при площадной погрешности менее 100 км<sup>2</sup>. Это заключение принципиально верно, несмотря на то, что в настоящее время оно не достигнуто.

Причина состоит в отсутствии достаточно хорошей модели скоростной структуры Земли. Это наиболее типичная ошибка, происходящая не от сбора исходных данных, которая в настоящее время преобладает над ошибками конечного определения расположения источников событий (по крайней мере, для событий с магнитудой большей 4.5). Основная цель улучшения определения расположения сейсмических событий на основе времени вступления сейсмических волн может быть достигнута только при уменьшении влияния типичных ошибок.

На глубинах больше 200 км, скоростная структура Земли известна достаточно точно. Основные трудности в ее определении возникают на небольших глубинах, т.е. в пределах коры и верхней мантии. Здесь реальная скорость сейсмической волны может изменяться в неизвестных направлениях, возможно до 10% от скорости, допускаемой в IASPEI 91 или другой стандартной модели Земли. В действительности, Земля имеет негоризонтальные границы раздела, которые не учитываются в простых моделях Земли, и которые могут влиять на азимут распространения прибывающего сигнала. Вследствие этого, измеренные времена вступления и направления прихода телесеismicких волн, находятся под влиянием непредсказуемых путей неизвестной структуры Земли. Времена вступления и направления региональных волн, которые в основном зависят от тонкой структуры, могут подвергаться изменениям в большей степени, чем телесеismicкие волны. Например, если сейсмическое событие находится в 1000 км от станции МСМ и генерирует региональную волну, регистрируемую на станции, и, если вступление волны определяется с ошибкой скорости в 5%, то событие будет определено на расстоянии с погрешностью в 50 км.

Возможны три способа, позволяющие избежать незнания структуры Земли при локализации сейсмических событий и оценке погрешности (например, типичных ошибок):

1. использовать многочисленные станции, расположенные в различных азимутах вокруг источника события, таким образом усредняя эффект различия между реальной скоростной структурой Земли и ее моделью (в которой обычно скорость зависит от глубины);
2. получить информацию о скоростной структуре Земли и таким образом определить более сложную и более точную трехмерную модель для интерпретации времен вступления сейсмических волн;
3. провести калибровку станции (группы станций) с тем, чтобы интересующий источник мог быть определен относительно другого события, расположение которого известно точно и который расположен предпочтительно недалеко от интересующего источника.

## ПЛАН РАЗМЕЩЕНИЯ КАЛИБРОВочНЫХ СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕТИ МОНИТОИНГА В КАЗАХСТАНЕ И НА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ

В последнем способе данные неизвестного источника имеют различия во времени вступления для двух событий, записанных на каждой станции. В большинстве случаев по этим данным можно точно определить разницу между расположением известного и неизвестного источников, а затем определить расположение неизвестного источника. Аналогично, при достаточном количестве калибровочных событий и использовании соответствующих методов усреднения, можно использовать эмпирически определенные времена пробега для каждой сейсмической волны, для каждого потенциального расположения, для каждой станции.

Геологическая служба США и Международный Сейсмологический Центр (ISC) опираются на первый из приведенных способов - регулярную обработку данных станций, уменьшающую эффект использования неверной модели Земли. Исследовательское сообщество использует один или более способов (1), (2), (3), но, как правило, при изучении специальной группы, относящейся к очень малым регионам. МЦД ограниченно использует способ (1), так как REV основывается только на работе станций МСМ. Он начинает также использовать методы (2) и (3). Однако очевидно, что даже при огромных усилиях и сотнях специальных исследований, в короткие сроки невозможно в достаточной степени изучить трехмерную структуру неглубокой части Земли на глобальном уровне. Это ограничивает применение способа (2), хотя он мо-

жет быть успешно использован для некоторых регионов. Для применения остается способ (3) как самый важный и краткосрочный. Авторы статьи абсолютно согласны со следующей точкой зрения, выраженной в отчете симпозиума по калибровке локализации станций МСМ, проходившего 1 февраля 1999 г. в Осло (ДВЗЯИ/РГБ/ТЛ-2/18): «...такие калибровки необходимы для значительного улучшения точности локализации землетрясений, проводимых международными агентствами...», «...не было сделано никаких попыток включить эти поправки в регулярную обработку локализации на глобальном уровне».

В марте 2000г. авторами начато трехгодичное совместное научно-практическое исследование, проводимое в Ламонте и вовлекшее в работу консорциум из пяти институтов. Начата комплексная серия проектов, целью которых является улучшение возможностей определения сейсмического события на основе данных, собранных станциями МСМ в Восточной Азии. Для этого предполагается использовать данные 30 станций, список которых приводится в табл. 1 и размещение которых показано на рис.1. Наименование и координаты станций МСМ приведены в варианте "Приложения к Протоколу ДВЗЯИ» (1996), для которого в результате работ по проекту должны быть получены поправки для улучшения локализации событий по записям системы «источник – станция» (SSSC).

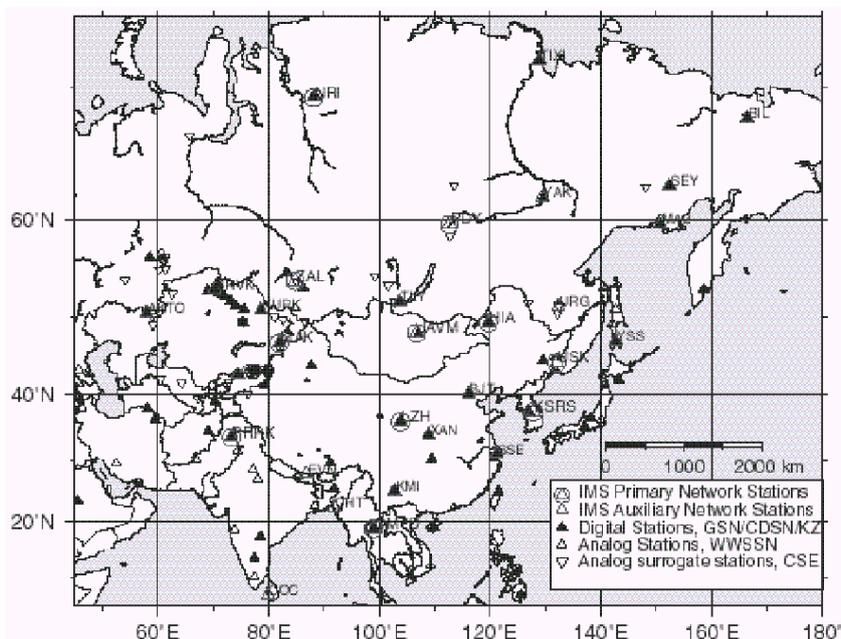


Рис. 1. Расположение 30 сейсмических станций, данные которых предполагается использовать в разработанном проекте

Помимо станций первичной и вспомогательной сети МСМ, на рис.1 показаны такие станции, расположенные вблизи станций МСМ, которые могут предоставлять данные, относящиеся к обсуждаемому проекту, для выбора фаз и/или волновых форм,

что позволит получить эмпирические времена пробега (так называемые "суррогатные" станции).

Основной метод совместных научно-практических исследований – использование различных, так называемых эталонных сейсмических событий в Вос-

**ПЛАН РАЗМЕЩЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
СЕТИ МОНИТОИНГА В КАЗАХСТАНЕ И НА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ**

точной Азии, местоположение которых было точно определено региональными или локальными сетями. Полученные времена пробега составят основу для построения их функциональной зависимости от расстояния и азимута. Именно эти функциональные зависимости будут предложены для улучшения локализации новых событий, которая должна превосходить результаты, полученные на основе действующих процедур (обычно, основанных на модели Земли IASPEI 91). Совместные научно-практические исследования предусмотрено провести по пяти проектам.

По первому проекту Ламонт-Дохертская Земная Обсерватория Колумбийского Университета будет работать над выбором расположения эталонных событий в Восточной Азии, для которых предполагаются ошибки локализации порядка 5 км или меньше (так называемые события GT5) и которые имеют магнитуду, достаточную для регистрации их станциями MCM. В большинстве случаев эти требования были достаточны для включения в Обзорный Бюллетень Событий PIDC с 1995г.

*Табл. 1. Список 30 станций MCM, используемых в научно-практическом проекте*

№	Код станции	Государство, ответственное за станцию	Местоположение	Широта	Долгота
1	PS12	Китай	Хайлар	49.27	119.74
2	PS13	Китай	Ланжоу	36.09	103.84
3	PS23	Казахстан	Маканчи	46.80	82.00
4	PS25	Монголия	Явхлант	47.99	106.77
5	PS29	Пакистан	Пари	33.65	73.25
6	PS31	республика Корея	Вонху	37.50	127.90
7	PS33	Российская Федерация	Залесово	53.94	84.81
8	PS34	Российская Федерация	Норильск	69.40	88.10
9	PS35	Российская Федерация	Пеледуй	63	112.70
10	PS37	Российская Федерация	Уссурийск	44.28	132.08
11	PS41	Таиланд	Чианг Май	18.80	99.00
12	AS7	Бангладеш	Читагонг	22.40	91.80
13	AS20	Китай	Байхиатуан	40.02	116.17
14	AS21	Китай	Кунминг	25.15	102.75
15	AS22	Китай	Шешан	31.10	121.19
16	AS23	Китай	Хиан	34.04	108.92
17	AS57	Казахстан	Боровое	53.06	70.28
18	AS58	Казахстан	Курчатов	50.72	78.62
19	AS59	Казахстан	Актюбинск	50.40	58.00
20	AS60	Киргизстан	Ала-Арча	42.64	74.49
21	AS68	Непал	Эверест	27.96	86.82
22	AS86	Российская Федерация	Сеймхан	62.93	152.37
23	AS87	Российская Федерация	Талая	51.68	103.64
24	AS88	Российская Федерация	Якутск	62.01	129.43
25	AS89	Российская Федерация	Ургал	51.10	132.36
26	AS90	Российская Федерация	Билибино	68.04	166.37
27	AS91	Российская Федерация	Тикси	71.66	128.87
28	AS92	Российская Федерация	Южно-Сахалинск	46.95	142.75
29	AS93	Российская Федерация	Магадан	59.58	150.78
30	AS100	Шри Ланка	Коломбо	6.90	79.90

По второму проекту Университет Вайоминг будет изучать наблюдаемые времена пробега 3000 трехкомпонентных записей станциями, расположенными на всей территории бывшего СССР и установленными для обнаружения региональных волн от 19 ядерных взрывов, проведенных во время программы глубинного сейсмического зондирования. Этот набор данных является бесценным источником для тщательной калибровки основных асейсмичных регионов России и Центральной Азии. Ожидается, что удастся найти аналоговые сейсмограммы для некоторых из этих 19 взрывов, записанные станциями в Восточной Азии, теперь являющимися частью MCM, или станциями, которые использовались на площадках, расположенных близко к станциям MCM («суррогатные» станции).

По третьему проекту Mission Research Corporation (MRC) разработает и проведет тестирование времен пробега для станций MCM, которые будут соответствовать эталонным данным и данным REB. Особое внимание MRC обратит на получение по-

правки для трасс «станция – источник» (SSSC- поправки) для каждой из 30 станций MCM. Эти поправки представляют разницу между временами пробега для предполагаемой идеальной модели (от любого определенного источника до определенной станции MCM) и временами пробега, указанными в стандартной модели Земли IASPEI 91 (для того же маршрута). URS Greiner Woodward Clyde передаст эталонные данные для Индии, Непала, Пакистана, Тибета и опыт моделирования двухмерных структур. Университет Коннектикута поделится опытом построения трехмерных моделей.

Организации, выполняющие исследования по третьему проекту, и Университеты Вайоминга и Ламонт будут работать вместе по четвертому проекту, предусматривающему получение ожидаемых времен пробега для 30 станций MCM в Восточной Азии. Ожидается, что в этом четвертом проекте ключевую роль будут играть примерно 70 мирных ядерных взрывов, проведенных в советское время и зарегистрированных многими станциями в Евразии. Предпо-

лагается также, что при работе над получением точной локализации землетрясений (GT5 или лучше), будут использованы современные методы группового определения местоположения большого числа землетрясений [П. Ричардс, IRIS Newsletter, 2000].

По пятому проекту члены консорциума будут работать совместно, чтобы оценить и сравнить степень улучшения локализаций с использованием разработанных поправок SSSC по отношению к методам, предусматривающим использование только стандартной модели Земли (IASPEI 91). Оценка достоверности является важным шагом, необходимым перед принятием поправок SSSC для оперативного использования.

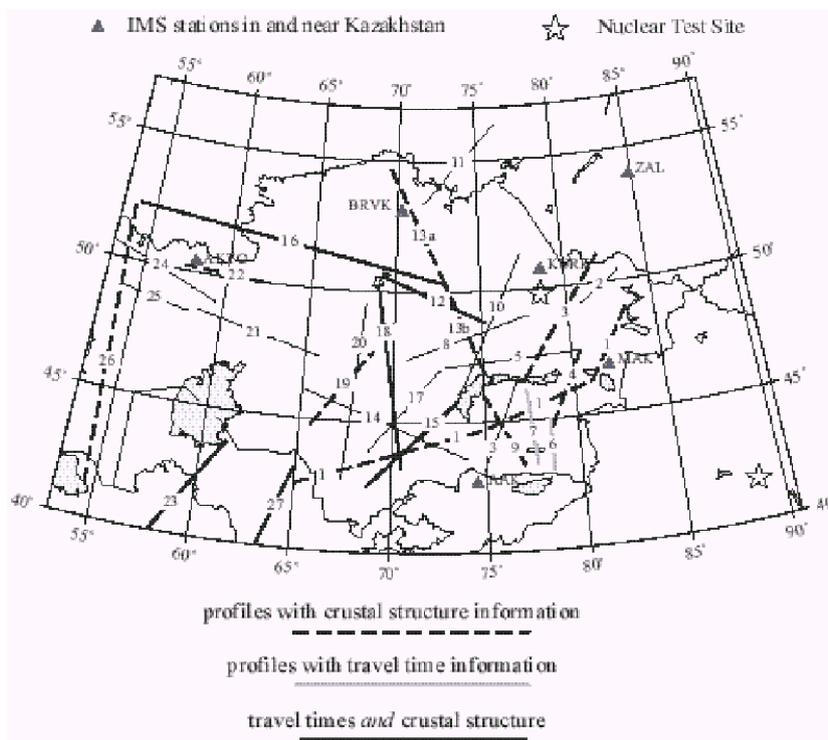
В следующем разделе приводится описание нескольких наборов данных, важных для проекта и относящихся к станциям МСМ в Казахстане и на прилегающих территориях.

**ДАННЫЕ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СТАНЦИЙ МСМ В КАЗАХСТАНЕ И НА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Из большого количества литературных источников о сейсмических временах пробега, структуре земной коры и верхней мантии на территории Казахстана и в прилегающих регионах, отметим первое классическое исследование Нерсесова И.Л. и

Раутиан Т.Г. (1964 г.) по «Большому профилю», работы по которому были выполнены Комплексной сейсмологической экспедицией ИФЗ АН СССР. Халтурин В.И. и др. (2001г.) использовали сейсмические наблюдения подземных ядерных взрывов малой магнитуды, произведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, а также хорошо локализованных землетрясений с целью заново получить годографы Нерсесова И.Л. и Раутиан Т.Г., и адаптировать их к условиям данного полигона и прилегающих районов. Используя несколько станций, они локализовали ряд событий малой магнитуды, произошедших на полигоне, с точностью до 5 км. Сравнение с эталонными данными, полученными после произведения сейсмической оценки, подтвердило эти результаты.

В табл. 2 дан перечень 27 профилей глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), пройденных в Центральной Азии. Таблица составлена по информации, помещенной в работах Антоненко А.Н. (1984 г.), Шацилова В.И. (1993 г.), Зуннунова Ф. Х. (1985 г.), а также в работе [7]. На Рис. 2 показано расположение этих 27 профилей. Часть их состоит из двух и более сегментов (номера профилей, приведенные на Рис. 2, 3 и в Табл. 2-4 соответствуют друг другу).



*Рис. 2. Расположение 27 профилей ГСЗ на территории Казахстана и прилегающих регионах*

**ПЛАН РАЗМЕЩЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
СЕТИ МОНИТОИНГА В КАЗАХСТАНЕ И НА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Табл. 2. Основные профили ГСЗ, расположенные на территории Казахстана и в прилегающих регионах

№	Название профиля	Конечные пункты профиля	Длина, км
1	Туркестанский – до 46.3 СШ 81.0 ВД до 49.0 СШ до 83.4 ВД	42.5 СШ 65.0 ВД – 44.7 СШ 75.0 ВД	1550
2	Чарское – Синюха	49.3 СШ 80.8 ВД – 50.4 СШ 83.2 ВД	220
3	Саякский: первая линия вторая линия	43.1 СШ 74.9 ВД – 46.5 СШ 76.8 ВД 46,6 СШ 77,3 ВД – 51,1 СШ 82,1 ВД	600
4	Актогайский	44,7 СШ 78,6 ВД – 47,5 СШ 80,5 ВД	350
5	Кентьерлауский	47,1 СШ 72,9 ВД – 47,5 СШ 80,5 ВД	570
6	Жаланаш – Талды-Курган	43,0 СШ 78,5 ВД – 45,0 СШ 78,5 ВД	220
7	Иссыкский	43,3 СШ 77,7 ВД – 46,2 СШ 77,3 ВД	315
8	Центрально - Казахстанский	47,4 СШ 70,7 ВД – 49,0 СШ 77,7 ВД	540
9	Иссык-Куль – Балхаш	43,3 СШ 77,0 ВД – 46,0 СШ 75,0 ВД	430
10	Славгородский	46,2 СШ 73,8 ВД – 51,4 СШ 77,5 ВД	520
11	Щучинск – Северное	53,4 СШ 71,6 ВД – 56,3 СШ 76,3 ВД	700
12	Каркаралинский	48,8 СШ 75,2 ВД – 50,6 СШ 69,2 ВД	780
13а	Темиртау – Петропавловск	50,3 СШ 72,9 ВД – 54,8 СШ 69,4 ВД	600
13б	Балхаш – Темиртау	46,9 СШ 75,0 ВД – 50,3 СШ 72,9 ВД	500
13в	Темиртау – Петропавловск	50,3 СШ 72,9 ВД – 54,8 СШ 69,4 ВД	600
14	Уванаский	43,6 СШ 74,0 ВД – 46,1 СШ 65,2 ВД	740
15	Арысь – Балхаш	42,5 СШ 68,7 ВД – 45,7 СШ 73,4 ВД	510
16	Темиртау – Куйбышев	50,3 СШ 72,9 ВД – 52,2 СШ 54,0 ВД	1360
17	Песчаный	43,9 СШ 68,8 ВД – 47,0 СШ 72,6 ВД	460
18	Каратау – оз. Тенгиз	43,2 СШ 70,5 ВД – 50,2 СШ 69,0 ВД	900
19	Кзыл-Орда – Жеты-Конур	44,8 СШ 65,6 ВД – 47,7 СШ 68,8 ВД	400
20	Меридиан	42,8 СШ 67,4 ВД – 49,5 СШ 68,3 ВД	740
21	1-Т-70	47,4 СШ 65,8 ВД – 48,6 СШ 58,6 ВД	550
22	Актюбинский	50,0 СШ 62,1 ВД – 50,2 СШ 57,5 ВД	300
23	Копет-Даг – Аральское море	40,0 СШ 58,0 ВД – 43,8 СШ 61,3 ВД	650
24	Кандагашский	49,0 СШ 59,5 ВД – 50,8 СШ 52,0 ВД	540
25	Челкар – Волгоград	48,5 СШ 58,0 ВД – 49,0 СШ 54,0 ВД	930
26	ОП-1 и 11	41,2 СШ 54,5 ВД – 52,3 СШ 53,7 ВД	1680
27	Фараб – Тамды-Булак	40,0 СШ 63,5 ВД – 43,0 СШ 65,0 ВД	430

В табл. 3 приведены эмпирические времена пробега волн Pn, выбранные по семи профилям ГСЗ нат. 4 представлена простая зависимость (прямая линия) времени пробега Pn волны от расстояния, а

также диапазон расстояний, в котором выполняется эта зависимость.

На рис. 3. показаны значения средней скорости Pn- волны по данным ГСЗ, полученные для 7 профилей, приведенных в Табл. 2 и 3.

Табл. 3. Время вступлений Pn - волны для семи профилей ГСЗ в Казахстане и на прилегающих территориях [6]

R, км	Номера профилей (согласно Рис. 2)							
	6	7	15	16	18	23	27	IASPEI91
160	-	-	-	27.5	-	27.5	28.1	-
200	35.8	-	34.4	32.6	33.0	33.0	33.4	32.3
240	40.9	40.9	38.4	37.7	38.3	38.2	38.0	37.2
280	45.5	45.6	43.3	43.2	43.1	43.0	42.9	42.2
320	50.4	50.6	47.9	47.8	47.8	47.7	-	47.1
360	55.1	55.4	52.9	52.6	52.6	52.8	-	52.1
400	-	-	64.0	-	62.5	62.3	-	62.0
480	-	-	69.5	-	66.8	67.3	-	66.9
520	-	-	74.2	-	71.1	72.7	-	71.9
560	-	-	-	-	76.2	77.6	-	76.8
600	-	-	-	-	81.8	82.5	-	81.7
640	-	-	-	-	86.0	-	-	86.7
680	-	-	-	-	91.1	-	-	91.6
720	-	-	-	-	96.2	-	-	96.6
760	-	-	-	-	101.4	-	-	101.5
800	-	-	-	-	105.5	-	-	106.5
840	-	-	-	-	110.4	-	-	111.4
880	-	-	-	-	115.3	-	-	116.4

Табл. 4. Кажущаяся скорость Pn - волн для 7 профилей глубинного сейсмического зондирования в Казахстане и на прилегающих территориях (см. также табл. 2, 3)

№	Профиль	Расстояние, км	Кажущаяся скорость, км/с	Уравнение времени
6	Жаланаш-Талды-Курган	200-400	8,03	t=R/8.03 + 10.9
7	Иссыкский	240-400	8,04	t=R/8.00 + 10.9
15	Арысь-Балхаш	200-520	8,04	t=R/8.04 + 9.3
16	Темиртау-Куйбышев	160 – 400	8,03	t=R/8.03 + 7.8
18	Каратау-оз. Тенгиз	200 – 760 760 – 880	8.23 8.63	t=R/8.23 + 8.5 t=R/8.63 + 13.3
23	Копет-Даг-Аральское море	180 – 600	8,08	t=R/8.08 + 8.3
27	Фараб-Тамды-Булак	200 – 360	8.11	t=R/8.11 + 8.5
-	IASPEI-1991	200 – 900	8.11	t=R/8.11 + 7.6

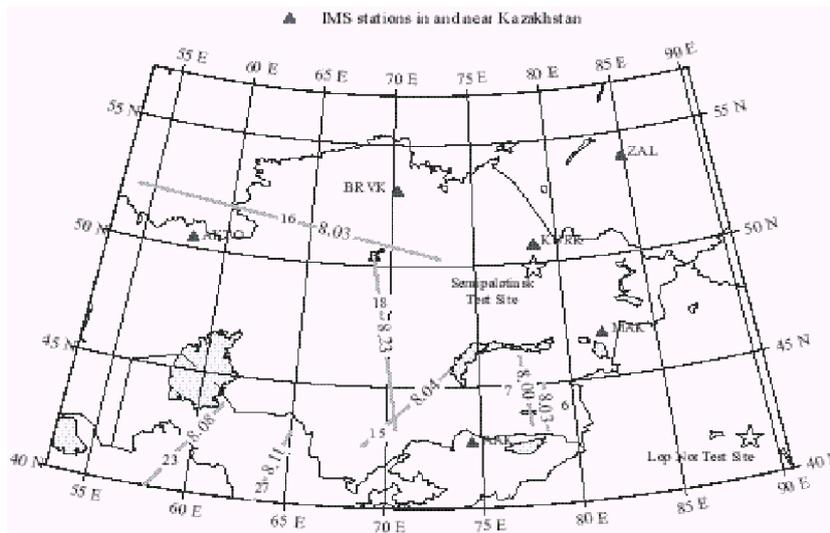


Рис. 3. Фазовые скорости Pn-волн (км/с) по данным ГСЗ для семи профилей, расположенных на территории Казахстана и прилегающих регионов

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проектами предусмотрено использование большого количества дополнительных данных. Дополнительные данные, относящиеся к калибровке станций МСМ на территории Казахстана и прилегающих территориях, включают в себя:

- Времена вступлений сигналов от мирных ядерных взрывов, записанных станциями МСМ и станциями, не включенными в МСМ.
- Времена вступлений сигналов от подземных ядерных взрывов, произведенных на полигонах, записанных станциями МСМ и станциями, не включенными в МСМ.
- Времена вступлений сигналов от химических взрывов с известными координатами гипоцентров (например, взрывы, произведенные в последние годы на Семипалатинском испытательном полигоне).
- Времена вступлений сигналов землетрясений, гипоцентры которых известны с точностью GT5, зарегистрированных станциями МСМ, или заме-

няющими их станциями («суррогатными станциями»).

Для получения станционных поправок с использованием эмпирических данных о времени пробега сейсмических волн предполагается использовать несколько методов. Первый метод описан в [2], где весь регион Восточной Азии сначала делится на субрегионы, для каждого из которых по имеющейся информации получают зависимость времен пробега основных региональных сейсмических фаз (Pg, Pn, Sn, Lg) от расстояния. Пример такой предварительной регионализации для большей части Евразии показан на рис. 4. Данный подход и предварительная регионализация, приведенная на рис.4, основываются на предположении, что внутри каждого из субрегионов структура не изменяется и для региональных сейсмических волн (Pg, Pn, Sn, Lg) зависимость времени пробега от расстояния одинакова в пределах субрегиона.

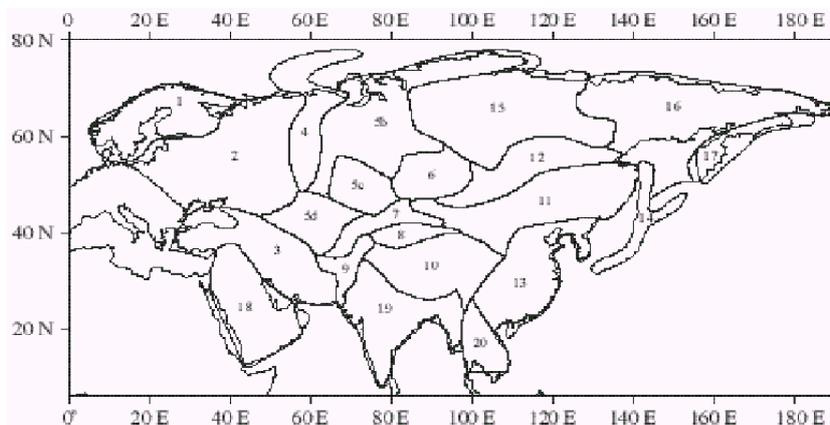


Рис. 4. Предварительная регионализация части Евразии для вычисления времен пробега региональных сейсмических волн до станций МСМ, расположенных в Восточной Азии

Так как времена пробега, а, следовательно, и структура будут установлены для каждого субрегиона, будет возможно вычислить время пробега от любой точки территории, показанной на рис.4, до каждой из 30 станций МСМ, которые предполагается откалибровать. Для трассы, пересекающей одну или несколько границ раздела субрегионов, время пробега будет определяться методом интегрирования по реальному пути луча, который в общем случае будет испытывать преломление на границах раздела субрегионов, так что луч может не находиться в одной и той же вертикальной плоскости. Однако в [6] предложена следующая простая формула для получения приближенного времени пробега на расстоянии  $X$ :

$$T(X) = \sum (x_i / X) * T_i(X)$$

Здесь индекс  $i$  - текущий номер региона, пересекаемого лучом, а  $x_i$  и  $T_i(X)$  - путь и время пробега (для полного пути, равного  $X$ ) в  $i$ -ом субрегионе, соответственно. Таким образом, искомое время пробега определяется как средневзвешенное от времен пробега в каждом субрегионе, где вес  $(x_i/X)$  - есть доля пути в каждом данном субрегионе от полной длины пробега. Однако приведенная формула применима к субрегионам, размерами менее 1000 км, и не действительна при длине пробега сигнала более 1000 км. В последнем случае может быть использовано соотношение между  $T_i$  и  $X$  для случая, когда длина пробега больше, чем размер субрегиона. Когда получено  $T(X)$ , тогда значение станционной поправки выражается формулой:

$$T_{SSSC} = T(X) - T_{LASPEI91}$$

Предполагается использовать дополнительные методы определения времени пробега  $T(X)$  по эмпирическим данным:

- разработать набор изменяющихся региональных сейсмических скоростей с использованием метода томографии и последующего вычисления времени пробега в полученной трехмерной структуре;
- разработать чисто эмпирический подход, при котором, в случае достаточного количества информации о временах пробега, время пробега на заданном пути вычисляется путем прямого усреднения локальных значений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко А. Н., 1984. Глубинная структура земной коры в Казахстане (по сейсмическим данным), Наука, Алма-Ата. 242.
2. Bondár, I., 1999. Combining 1-D models for regional calibration, in Proceedings of a Workshop on IMS Location Calibration, Oslo, January 1999.
3. Khalturin, V.I., T.G. Rautian, and P.G. Richards, 2001. A study of small magnitude seismic events during 1961 – 1989 on and near the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan, Pure appl. Geophys., 158, 143 – 171.
4. Нерсесов И. Л., Раутиан Т. Г., 1964. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км, Институт Физики Земли, Москва, т32 стр. 63-87.
5. Шацлов В.И. в соавторстве, 1993. Скоростные модели земной коры в Казахстане. Издательство Евразия, Алматы, 105 стр.
6. Зуннунов Ф.Х., 1985. Литосфера Центральной Азии по сейсмическим данным, Ташекнт, изд. ФАН, 108 стр.
7. Сейсмические модели литосферы основных геоструктур на территории СССР, 1980.

В табл. 5 и табл.6 приведены времена пробега сигналов, которые используются в настоящее время для интерпретации вступлений региональных сейсмических волн для Казахского массива, районов Алтая и Саян. (рис. 4).

*Табл. 5. Времена пробега сейсмических волн для Казахского массива*

R, км	Уравнения времени пробега
<b>1. Времена пробега для первого вступления P волны (Pg или Pn)</b>	
0 – 200	t(Pg) = R/6.21 + 0.8
200- 900	t(Pn) = R/8.13 + 8.4
900-1600	t(Pn) = R/8.36 + 11.4
1600-2000	t(Pn) = R/8.73 + 19.5
2000-2200	t(P) = R/9.57 + 39.6
2200-2400	t(P) = R/10.10 + 51.7
2400-2700	t(P) = R/10.95 + 70.1
2700-3400	t(P) = R/12.00 + 91.5
<b>2. Время пробега для одиночной волны Pg</b>	
50-1200	t(Pg) = R/6.21 + 0.8
<b>3. Время пробега для волны Sn</b>	
200-1300	t(Sn) = R/4.68 + 13.8
<b>4. Время пробега для волны S</b>	
1200-2000	t(S) = R/5.58 + 94.7
<b>5. Время пробега для волны Lg</b>	
200-1100	t(Lg) = R/3.57 + 0.50
1100-2500	t(Lg) = R/3.61 + 4.0

*Табл. 6. Времена пробега сейсмических волн для района Алтая и Саян.*

R, км	Уравнения времени пробега
<b>1. Времена пробега для первого вступления P волны (Pg или Pn)</b>	
50-200	t(Pg) = R/6.13 + 0.3
200-900	t(Pn) = R/8.13 + 8.3
900-1600	t(Pn) = R/8.36 + 11.3
1600-2000	t(Pn) = R/8.73 + 19.4
2000-2200	t(P) = R/9.30 + 33.4
2200-2500	t(P) = R/10.1 + 52.2
<b>2. Время пробега для одиночной волны Pg</b>	
50 - 1200	t(Pg) = R/6.13 + 0.3
<b>3. Время пробега для волны Sn</b>	
200 - 1200	t(Sn) = R/4.56 + 12.7
<b>4. Время пробега для волны Lg</b>	
50 - 2000	t(Lg) = R/3.57 + 0.5

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа авторов статьи по калибровке станций МСМ основывалась на большом объеме данных, собранных сейсмологами по данному региону. Будущая работа также будет зависеть от помощи сейсмологов, работающих в интересующей нас области.

**ХМЖ ҮЛГІЛЕУ СТАНЦИЯЛАРЫН ҚАЗАҚСТАНДА ЖӘНЕ  
ЖАНАСҚАН АУМАҚТАРДА ОРНАЛАСТЫРУ ЖОСПАРЫ**

**Paul G. Richards, Won-Young Kim, Vitaly I. Khalturin**

*Колумбия университетіі Ламонт-Дохерт жер обсерваториясы*

Халықаралық мониторинг жүйесінің Шығыс Азияда орналасқан 30 станциялардың жұмысы нәтижелері бойынша, Халықаралық Деректер Орталығының Оқиғаларды Шолу Бюллетенінде жарияланған сейсмикалық оқиғаларды жақсартып анықтау мақсатымен, 2000 ж. наурызда басталған қолданбалы зерттеулердің үшжылдық бағдарламасы ұсынылған. Қазақстандағы (АКТ, BRV, KUR, МАК), Ресейдегі (ZAL) және Қырғызстандағы (ААК) сейсмографиялық станцияларының үлгілеуін жақсартуына арналған рәсімдері хатталған.

«ХМЖ үлгілеу станцияларын орналастыру» жөніндегі Ослода (1999, 2000 ж.ж.) өткен екі симпозиумның ұсыныстарын қолдана, қашықтық пен азимуттың (мүмкіншілігінде тереңдіктің) фунуциясы болатын әрбір байқалған сейсмикалық фазасына, (а) – бұрын зерттелген жер сілкіністерін, (b) – терең сейсмикалық зондылауын, (с) – ядролық және химиялық жарылыстардың соңғы зерттеулерін пайдаланып, годограф құрастыруында тұратын тәсілі қабылданған. Сонымен қатар, орналасқан жері белгілі станциялармен тіркелген анық деп аталатын оқиғалардың фазалары талданатын (d) эмпириалық әдісін қолдануы болжауда.

ЯСБТШ шегінде мониторинг мақсатында 1000 текше километрден аспайтын қателігімен сейсмикалық оқиғаларын жүйелі байқауын қамтамасыз етуі болжауда.

**A PLAN FOR LOCATION CALIBRATION OF IMS STATIONS AND NEAR KAZAKHSTAN**

**Paul G. Richards, Won-Young Kim, Vitaly I. Khalturin**

*Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University*

For purposes of monitoring compliance with the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty, it is desirable to be able to locate seismic events routinely to within an uncertainty not greater than 1000 square km. From more than five years of experience with publication of the Reviewed Event Bulletin (REB) by the Prototype International Data Centre (PIDC), resulting in estimated locations for more than 100,000 seismic events, it is apparent that improved location accuracy is needed in order to reduce uncertainties below 1000 square km. In this paper, we outline a three-year program of applied research which commenced in March 2000 and which has the goal of achieving improved REB locations based upon data to be contributed to the International Data Centre from 30 IMS stations in Eastern Asia. Our first efforts will focus on the four IMS seismographic stations in Kazakhstan (АКТ, BRV, KUR, МАК), together with IMS stations ZAL in Russia and ААК in Kyrgyzstan.

Following the recommendations of two “IMS Location Calibration Workshops” held in Oslo, Norway, in 1999 and 2000, our approach is to generate station-specific travel times for each observable seismic phase, as a function of distance and azimuth (and depth, where possible). Such travel times are obtained on the basis of (i) early studies based mainly on earthquake data (e.g. Nersesov and Rautian, 1964), (ii) Deep Seismic Sounding, and (iii) recent studies of nuclear and chemical explosions. We are also using (iv) an empirical approach in which phases are picked at IMS stations, for so-called Ground Truth events whose location is known quite accurately on the basis of additional data, obtained for example from local and regional networks

УДК 550.34(4/5):621.039.9(574.41)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ, ПРОВЕДЕННЫХ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ, ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Кириченко В.В., Краев Ю.А.

*Аккредитованное представительство Western Services Corporation, г. Москва, Россия*

В статье представлены результаты исследований, проводимых в рамках проекта «Российские сейсмоакустические исследования в интересах ДВЗЯИ». Одна из основных задач проекта состоит в проведении калибровки времен пробега сейсмических волн, регистрируемых на региональных расстояниях сейсмическими станциями РАН, входящими в создаваемую Международную систему мониторинга (МСМ) за соблюдением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ).

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при определении положения сейсмических событий Международном центром данных используется годограф IASPEI-91 [Kennett, 1991], рассчитанный для глобально осредненных по Земному шару скоростных моделей. Осредненные годографы не учитывают существенные региональные различия во временах пробега сейсмических волн [Firbas, 1997; US/RF..., 1998], возникающие за счет скоростных неоднородностей в земной коре и верхней части мантии. Последовательный план региональной сейсмической калибровки, одобренный Группой научных экспертов Конференции по разрушению [CD/1398..., 1996], включает несколько этапов, одним из которых является построение региональных годографов основных сейсмических волн для различных геотектонических провинций.

Положение Семипалатинского испытательного полигона (СИП), находящегося практически в центре Северной Евразии, позволило использовать проведенные на нем исторические подземные ядерные взрывы (ПЯВ) с точно известным местоположением и временем в очаге как надежные калибровочные сейсмические источники для анализа времен пробега основных региональных волн в различных геотектонических провинциях Северной Евразии. Для построения региональных годографов были собраны, проанализированы и использованы материалы регистрации ПЯВ, проведенных на СИП, некоторых мирных ядерных взрывов, проведенных на территории центральной части Северной Евразии, сейсмическими станциями опорной и региональных сетей Геофизической службы РАН (ГС РАН), а также постоянными и временными сейсмическими станциями Комплексной сейсмологической экспедиции Объединенного института физики Земли РАН (КСЭ ОИФЗ РАН).

Обычно в сейсмологических исследованиях при построении годографов для определенного района используют ряд эпицентров сейсмических источников. При этом наиболее точные данные могут быть получены по результатам регистрации взрывов, для

которых хорошо известны координаты источника и время в очаге.

Постановка задачи потребовала решения следующей последовательности основных вопросов:

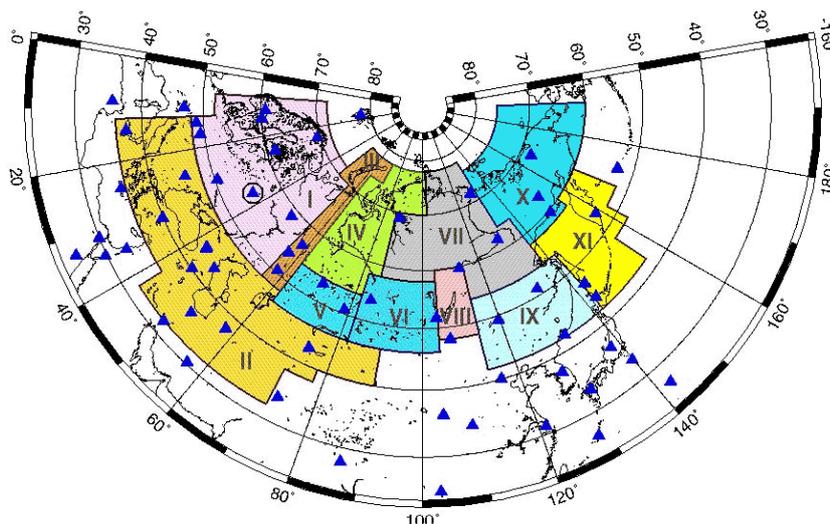
- разбиение территории центральной части Северной Евразии на регионы с использованием тектонической и сейсмической регионализации для сбора данных о временах пробега региональных сейсмических волн;
- сбор и анализ данных о сейсмических источниках для калибровки станций МСМ (калибровочных источниках) на территории Северной Евразии;
- сбор, анализ и оценка времен пробега региональных сейсмических волн калибровочных источников, зарегистрированных постоянными и временными сейсмическими станциями;
- построение годографов региональных сейсмических волн и оценка их погрешностей;
- проведение экспериментов по релокации калибровочных источников для оценки эффективности построенных годографов

### РЕГИОНАЛИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Для сбора данных о временах пробега сейсмических волн использовалось разбиение территории бывшего СССР на сейсмические регионы, предложенное в [Новый каталог..., 1977]. Такое деление на регионы было сделано, исходя из сведений о сейсмичности и геолого-тектонических особенностях глубинного строения территории бывшего СССР. Учитывая наличие экспериментальных материалов сейсмических наблюдений и современный уровень изученности скоростного строения земной коры и верхней мантии Северной Евразии [Глубинное..., 1991; Pavlenkova, 1997] некоторые регионы были разбиты на более мелкие геотектонические структуры. Так, регион Платформа разделен на Восточно-Европейскую платформу (включая Балтийский, Украинский и Воронежский щиты), Уральский складчатый пояс, Западно-Сибирскую платформу и Сибирскую платформу, а регион Средней Азии и Казахстана разделен на Северный и Восточный Ка-

захстан, представляющие собой область палеозойской складчатости - Казахский массив (территория выше, примерно, 44 град. с.ш) и Среднюю Азию, образованную областями кайнозойской складчатости (соответственно ниже 44 град. с.ш.). Средняя Азия была объединена в одну область с южными областями территории бывшего СССР, образующими области альпийской складчатости Северной Евразии. В настоящей работе эти регионы объединены под названием - Кайнозойские складчатые области.

Материалы регистрации ПЯВ, проведенных на СИП, были использованы для сбора данных о временах пробега региональных сейсмических волн и построения региональных годографов для 5 регионов центральной части Северной Евразии (Рис.1): палеозойской Западно-Сибирской платформы, Казахского палеозойского массива, областей кайнозойской складчатости Северной Евразии, включающих Копет-Даг, Памир и Тянь-Шань, для областей байкальской и каледонской складчатости - Алтая и Саян и Байкальской рифтовой зоны.



Регионы: I - Центрально-Восточно-Европейский, II - Области кайнозойской складчатости, III - Уральская складчатая область, IV - Западно-Сибирская платформа, V - Казахский массив, VI - Алтай и Саяны, VII - Сибирская платформа, VIII - Байкальская рифтовая зона, IX - Приамурье и Приморье, X - Северо-Восток и Чукотка, XI - Курило-Камчатско-Сахалинский регион, ▲ - станции МСМ.

Рис. 1. Регионализация Северной Евразии

#### ВЫБОР КАЛИБРОВОЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Одной из основных задач сейсмической калибровки станций МСМ являлся выбор калибровочных источников. Наиболее надежными источниками для калибровки являются ядерные взрывы, для которых с высокой точностью известно (или может стать известно в будущем) местоположение, глубина и время в очаге. Эти взрывы были зарегистрированы постоянными и временными сейсмическими сетями станций, по архивным материалам которых были проведены точные и надежные измерения времен вступления сейсмических волн.

Для сейсмической калибровки станций МСМ, расположенных в центральной части Северной Евразии, были использованы калибровочные источники, для которых эти регионы, находятся на региональных расстояниях (до 3500 км). К таким

подземным ядерным взрывам относятся взрывы, проведенные на территории бывшего СССР (на Семипалатинском испытательном полигоне), ядерные взрывы в мирных целях, взрывы, произведенные на полигоне Лоп Нор в Китае, на полигоне Покхаран в Индии, на полигоне Чагай в Пакистане. С учетом этого выбора, была составлена база данных параметров калибровочных источников, включающая в себя опубликованную информацию [Bocharov, 1989; Sultanov, 1999; Yang, 1999] об условных наименованиях взрывов, датах и местах их проведения, временах в очаге и географических координатах, источнике получения данных, категориях событий GTX (точность оценки местоположения источника не хуже X км) и др. Местоположение использованных калибровочных источников показано на рис.2.

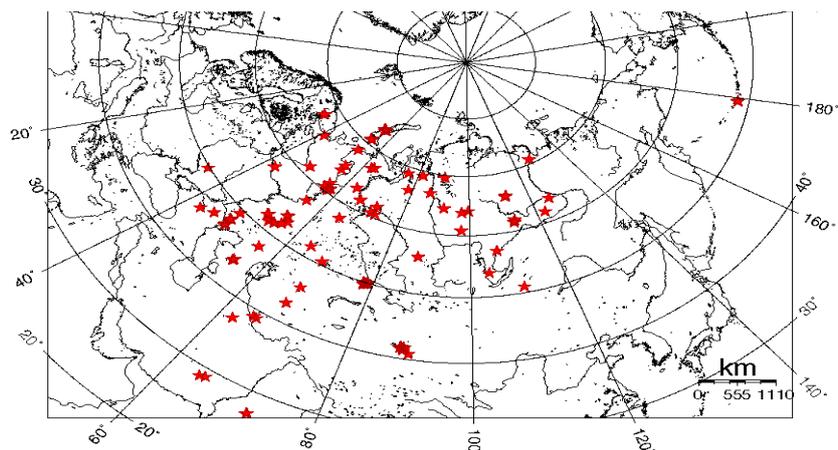


Рис.2. Местоположение калибровочных источников

### СБОР, АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ВРЕМЕН ПРОБЕГА РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

В основе работ по сейсмической калибровке лежал экспериментальный материал сейсмической регистрации, полученный в ходе различных сейсмологических исследований организациями РАН в 1965-1990 гг. Стационарные сейсмические наблюдения осуществлялись ГС РАН [Starovoi, 1999], сейсмические сети которой включали 71 опорную телесеismicкую станцию и около 350 региональных сейсмических станций, расположенных в сейсмоактивных районах бывшего СССР. Аппаратурное оснащение опорных станций - коротко-, средне- и длиннопериодные сейсмометры с гальванометрической регистрацией. Тип сейсмометров - СКМ-3, СК, СКД и СД. Частотный диапазон 0,002-5,0 Гц, динамический диапазон - около 40 Дб. Центр сбора, обработки и хранения телесеismicких данных находится в г. Обнинске, Калужской области.

Региональные сети сейсмических станций в России расположены в 9 сейсмоактивных регионах: Камчатка, Сахалин-Курилы, Магадан-Чукотка, Байкал, Якутия, Алтай-Саяны, Северный Кавказ, Дагестан, Кольский полуостров. Аппаратурное оснащение региональных станций - коротко- и среднепериодные сейсмометры с гальванометрической регистрацией, типа СКМ-3 и СК. Центры сбора, обработки и хранения данных региональных сетей расположены в столицах стран СНГ и крупных городах сейсмоактивных регионов.

Использовались также материалы регистрации разных лет, полученные постоянными и временными сейсмическими станциями КСЭ ОИФЗ РАН [Kornichev, 1999] в ходе выполнения работ направленных, главным образом, на решение задач сейсмического районирования, прогноза землетрясений, изучения региональных неоднородностей Земли. Системы наблюдений были развернуты в районах Северного Тянь-Шаня, Восточного и Северного Казахстана, Алтая и Саян, Прибайкалья, Украины,

Якутии, Средней Азии, Урала, Восточно-Европейской платформы, Забайкалья, Кавказа, Закавказья, Прибалтики, Южного Урала, Северо-Востока и Чукотки. Система наблюдений в каждом регионе представляла собой сеть из 5-15 станций, с расстоянием между ними от десятков до сотен километров.

Помимо сейсмологических материалов организаций РАН были использованы материалы регистрации сейсмических станций в Северной Евразии, представленных в бюллетене Международного сейсмологического центра (ISC) [Bulletin..., 1965-1990]. Общее количество станций, материалы которых были использованы для построения региональных годографов центральной части Северной Евразии, составило около 500. Их местоположение показано на Рис.3.

Сбор и систематизация времен пробега региональных сейсмических волн P, Pn, Pg, S, Sn и Lg, зарегистрированных постоянными и временными сейсмическими станциями от калибровочных источников, проводились по согласованной с организациями РАН методике интерпретации и измерения времен вступления региональных сейсмических волн. Это было необходимо для того, чтобы обеспечить идентичность измеряемых параметров в различных организациях. Собранные ГС РАН и КСЭ ОИФЗ РАН значения времен пробега сейсмических волн представлялись в согласованных форматах, после чего проводились оценка и анализ собранных значений времен пробега сейсмических волн для решения следующих вопросов: оценки качества данных, выявления явных ошибок в измерениях времен пробега, сравнения времен пробега в пределах различных геологических провинций. После этого добавлялись данные из бюллетеней МСМ и формировался окончательный бюллетень времен вступлений региональных сейсмических волн, зарегистрированных от калибровочных источников.

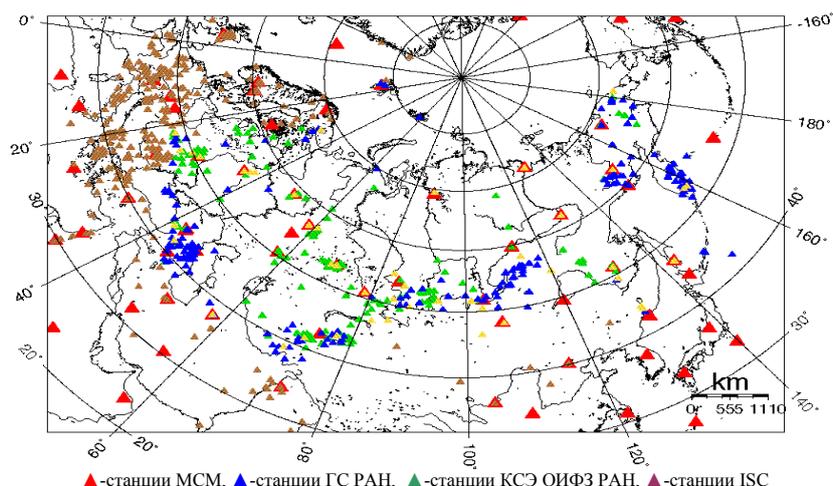


Рис. 3. Расположение сейсмических станций

### ПОСТРОЕНИЕ ГОДОГРАФОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

На основании проанализированных и систематизированных по сейсмическим регионам данных, были вычислены отклонения наблюдаемых значений времен пробега от времен, предсказываемых годографом IASPEI 91, проведено их сравнение, построены региональные годографы и оценены их погрешности. Региональные годографы для всех типов волн рассчитывались с использованием линейного

регрессионного анализа данных, которые группировались таким образом, чтобы добиться наилучшего приближения оцениваемой прямой линии к наблюдаемым значениям. Термин «наилучшее приближение» понималось как минимизированное среднеквадратическое отклонение значений времен пробега от осредняющего годографа. Уравнение регрессии и параметры разработанных региональных годографов представлены в табл.1, а сами региональные годографы показаны на рис.4.

Табл. 1. Параметры разработанных региональных годографов (глубина = 0 км)

$$\text{Общее уравнение: } T-R/V_{\text{ред}} = (A \pm \sigma_A) - (B \pm \sigma_B) \times R$$

Фаза	Расстояние, км	$V_{\text{ред}}$ , км/с	A	$\sigma_A$	B	$\sigma_B$	N	r	SD, с
I. Кайнозойские складчатые области									
Pn	200-1800	8.0	8.79	0.36	0.0033	0.0003	224	0.59	1.9
Sn	250-2000	4.62	12.12	1.23	-0.0020	0.0012	84	0.18	4.4
Pg	250-1200	6.0	1.25	1.19	0.0056	0.0016	57	0.43	2.4
Lg	200-2200	3.5	0.87	1.63	0.0045	0.0016	85	0.29	5.3
II. Западно-Сибирская платформа									
Pn	250-2300	8.0	8.84	0.54	0.0065	0.0004	89	0.90	1.7
Sn	300-2200	4.62	15.69	1.27	0.0036	0.0009	86	0.38	4.1
Pg	250-1200	6.0	-0.54	1.45	0.0052	0.0016	42	0.46	2.3
Lg	250-2200	3.5	-1.62	1.49	0.0034	0.0011	82	0.33	4.8
III. Казахский массив									
Pn	250-777	8.0	8.11	0.39	0.0026	0.0006	57	0.51	1.0
	778-2200	8.0	10.71	0.68	0.0061	0.0004	74	0.87	1.3
Sn	250-2000	4.62	15.96	0.86	0.0037	0.0007	82	0.49	2.9
Pg	300-1200	6.0	0.28	1.28	0.0045	0.0016	28	0.49	1.9
Lg	250-2300	3.5	-2.24	1.17	0.0027	0.0010	86	0.28	4.2
IV. Алтай и Саяны									
Pn	250-1600	8.0	8.40	0.62	0.0010	0.0008	62	0.23	1.6
Sn	300-2200	4.62	13.25	1.60	-0.0007	0.0011	57	0.08	4.2
Pg	300-1200	6.0	-0.93	3.05	0.0026	0.0031	25	0.17	3.3
Lg	250-2200	3.5	-6.60	1.47	-0.0020	2.1013	99	0.21	4.2
V. Байкальская рифтовая зона									
Pn	400-2000	8.0	6.83	0.59	0.0032	0.0006	282	0.87	1.3
Sn	400-2000	4.62	12.36	1.04	0.0008	0.0007	178	0.61	3.3
Pg	400-1200	6.0	-0.89	1.32	0.0037	0.0017	121	0.53	1.8
Lg	400-2500	3.5	-6.41	0.59	-0.0020	0.0004	245	0.34	4.0

Использованные обозначения: T – время пробега, с; R – эпицентральное расстояние, км;  $V_{\text{ред}}$  – скорость редуции, км/с;

N – количество данных; r – коэффициент корреляции; SD – среднеквадратическое отклонение, с.

Анализ построенных годографов показал значительные региональные отличия в предсказываемых временах пробега по сравнению с годографами IASPEI-91. Так, отклонения времен пробега от годографа IASPEI-91 для Pn волн на расстояниях от источника 1500...2000 км) составляют: для платформ - 8...-10 с, для палеозойских складчатых массивов - 4...-5 сек, для областей кайнозойской складчатости, а также Алтая и Саян – от -2 до +4 с. Для Sn волн отклонения от годографа IASPEI-91 составляют на тех же расстояниях: -15...-20 с, -8...-10 с и -5 ... +5 с, соответственно. Времена пробега волн Pg , характеризующие среднюю скорость в земной коре,

по величинам отклонений от годографа IASPEI-91, делятся на две группы: 1) платформы и палеозойские массивы и 2) тектонически активные области. Для первой группы характерны отклонения до 3...-5 с при расстояниях 700...1000 км. Времена пробега волн Pg , распространяющихся в тектонически активных областях, практически совпадают с годографом IASPEI-91. Времена пробега волн Lg характеризуются большими разбросами даже в пределах однородных провинций и практически не отличаются в различных провинциях. Кажущиеся скорости волн Lg для всех провинций приняты равными 3.55 км/с.

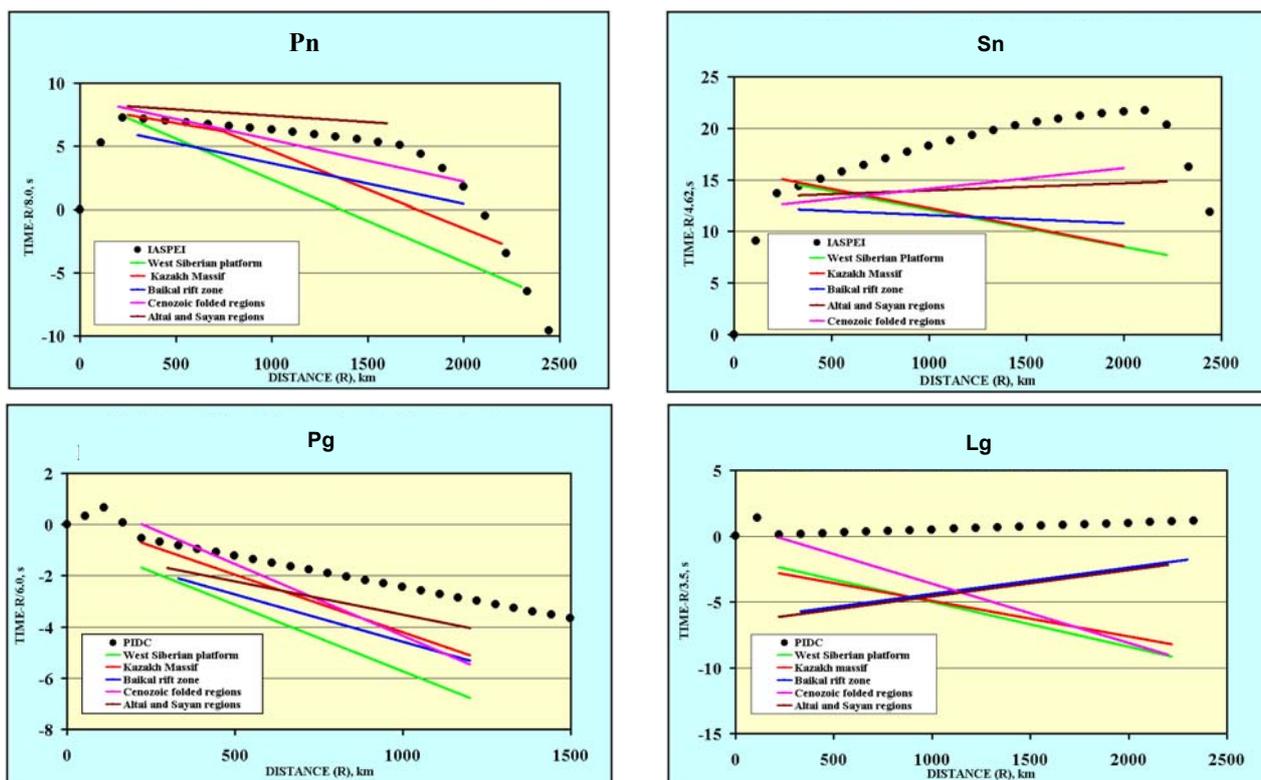


Рис.4. Региональные годографы геотектонических провинций центральной части Северной Евразии

Для построенных годографов были вычислены модельные ошибки, которые представляли собой среднеквадратические отклонения экспериментальных значений от оцениваемой прямой, рассчитанные в скользящем 2-х градусном окне с 50% перекрытием. Значения модельных ошибок для построенных региональных годографов приведены на рис. 5.

Как видно из рис.5, модельные ошибки, вычисленные для построенных годографов, оказались значительно меньше по сравнению с аналогичными ошибками годографов IASPEI-91.

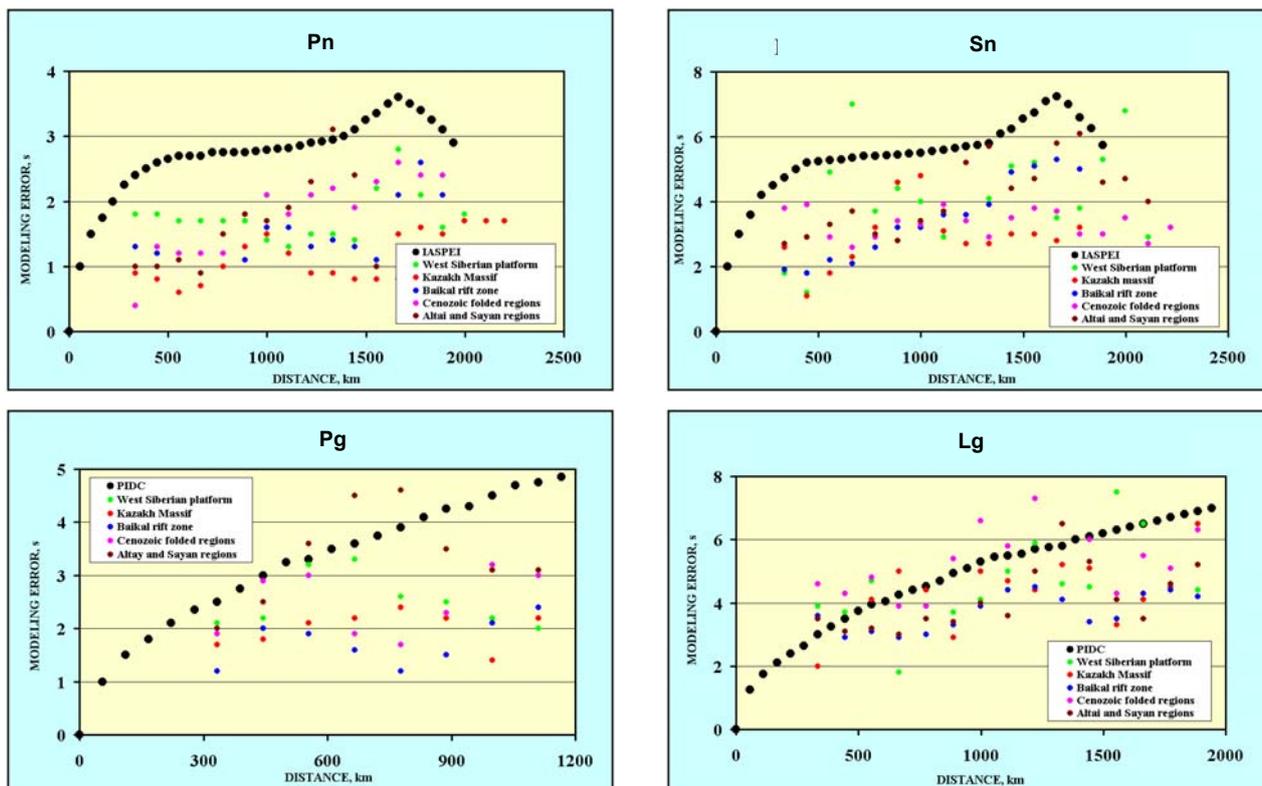


Рис. 5. Модельные ошибки региональных годографов

#### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСТРОЕННЫХ ГОДОГРАФОВ

Приведенные вновь полученные данные о временах пробега региональных сейсмических волн и их ошибках были применены к экспериментам по определению местоположения калибровочных ПЯВ, проведенных на СИП. С этой целью использовались материалы регистрации калибровочных взрывов сейсмическими станциями либо включенными в МСМ, либо станциями-суррогатами, находившимися на расстояниях не далее 300 км от станций МСМ в пределах однородных геотектонических провинций. Общий перечень и параметры таких сейсмических станций приведены в табл.2, а их размещение показано на рис.6.

Статистические оценки сравнения результатов определения местонахождения исторических взрывов с использованием региональных годографов и годографа IASPEI-91 (рис.7), оказались следующими:

- 90% источников при использовании региональных годографов приблизились к истинному эпицентру в среднем на расстояние 8.7 км;
- 76% источников при использовании региональных годографов приблизились к истинному эпицентру более чем на 20%, т.е. в среднем на расстояние 7.2 км;
- 10% источников при использовании региональных годографов отодвинулись от истинного эпицентра в среднем на расстояние 7.8 км;

- среднее отклонение от истинного эпицентра при использовании годографов IASPEI-91 и региональных годографов составило 18.9 км и 8.2 км, соответственно;
- средняя площадь эллипса ошибок составила 442 км<sup>2</sup> при использовании годографов IASPEI-91 и 327 км<sup>2</sup> при использовании региональных годографов;
- 33% истинных эпицентров были накрыты 90% эллипсом ошибок при использовании годографов IASPEI-91 и 80% - при использовании региональных годографов;
- в среднем эллипсы ошибок уменьшились на 115 км<sup>2</sup>;
- среднее отклонение оценок времени в очаге составило 1.1±1.0 сек при использовании годографов IASPEI-91 и - 0.5±0.8 сек при использовании региональных годографов.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ, ПРОВЕДЕННЫХ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ  
ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ, ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ**

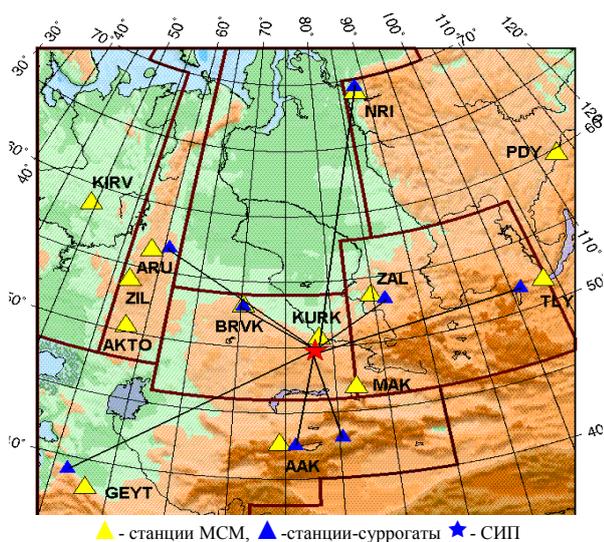


Рис. 6. Местоположение сейсмических станций МСМ и их суррогатов

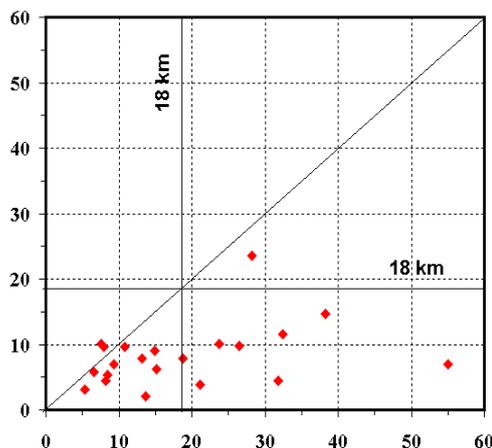


Рис. 7. Сравнение результатов оценки местоположения калибровочных источников с использованием региональных годографов (ось ординат) и годографов IASPEI-91 (ось абсцисс)

Табл. 2. Перечень и параметры сейсмических станций, расположенных в регионе СИП

Станции МСМ					Станции – суррогаты МСМ				
Код	Сеть	с.ш., град.	в.д., град.	Расстояние, град.	Код	Сеть	с.ш., град.	в.д., град.	Расстояние, град.
МАК	Первичная	46.8	82.0	3.8	NARY	КСЭ	43.1	80.3	6.8
ZAL	Первичная	53.9	84.8	5.6	ELT	ГС РАН	53.3	86.3	6.0
BRVK	Вспомога-тельная	53.1	70.3	6.1	BRV	ГС РАН	53.1	70.3	6.1
ААК	Вспомога-тельная	42.6	74.5	7.8	BOMR	КСЭ	42.5	75.9	7.6
ARU	Вспомога-тельная	56.4	58.6	13.6	SVE	ГС РАН	56.8	60.6	12.7
TLY	Вспомога-тельная	51.7	103.6	16.0	MOY	ГС РАН	51.7	101.0	14.3
GEYT	Первичная	37.9	58.1	18.9	VAN	ГС РАН	37.9	58.1	18.9
NRI	Первичная	69.0	88.0	19.8	NRI	ГС РАН	69.4	88.1	20.2

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных работ по калибровке сейсмических станций МСМ вся исследуемая территория центральной части Северной Евразии разделена на 5 геотектонических провинций на основе анализа времен пробега Pn волн и скоростного строения земной коры и верхней мантии: Западно-Сибирская платформа, Казахский массив, Алтай и Саяны, Байкальская рифтовая зона и Кайнозойские складчатые области.

Для калибровки станций МСМ были использованы материалы регистрации исторических ПЯВ, проведенных на СИП, а также некоторых ПЯВ, проведенных в центральной части Северной Евразии в мирных целях, станциями ГС РАН, КСЭ ОИФЗ РАН и МСМ. По этим материалам, на основе системати-

зации и анализа времен пробега сейсмических волн, были построены региональные годографы для основных типов сейсмических волн Pn, Pg, Sn и Lg и оценены их модельные ошибки.

Разработанные региональные годографы были использованы в экспериментах по релокации калибровочных источников на СИП. Сравнение оценок местоположения калибровочных источников, полученного с использованием региональных годографов и годографов IASPEI-91 показало, что использование региональных годографов приводит к общему уменьшению 90% эллипса ошибок в среднем на 115 кв.км при увеличении до 80% вместо 33% количества случаев покрытия эллипсом истинного источника.

### ЛИТЕРАТУРА

- Bocharov, V.S., S.A. Selentsov and V.N. Michailov, Characteristics of 92 Underground Nuclear Explosions at the Semipalatinsk Test Site, Atomaya Energia, Vol.87, Issue 3, 1989 (in Russian).
- Bulletin of the International Seismological Center. Edinburg, Scotland, 1966-1990
- CD/1398, Annex 2, Initial Plan for Improving event Location Through Calibration, Conference on Disarmament, 1996.
- P. Firbas and R.G.North, Development of calibration techniques for potencial use by the CTBT International Monitoring System. In Proceedings of NATO advanced research workshop: "Upper Mantle heterogeneities from active and passive seismology", Moscow 13 to 16 April 1997.
- B. Kennett (editor). IASPEI 1991 Seismological Tables, Research School of Earth Sciences, Australian National University, 1991.
- Kopnichev Yu. Archive of seismograms of nuclear and chemical explosions in the Eurasia reion being obtained by high-sensitivity stations of the Complex Seismological expedition, Calibration Workshop, 12-14 January 1999, Oslo, Norway.

7. Pavlenkova N.I. Crust and upper mantle structure in Northern Eurasia from seismic data. Advances in geophysics, v.37, Academic Press, 1996.
8. RF/US Calibration Working Group, Evaluation of the IMS Location accuracy of large chemical and nuclear explosions in Northern Eurasia and North America using regional and global Pn travel-times. In Proceedings of the 20th Annual Seismic Research Symposium on Monitoring the CTBT, 1998.
9. Starovoit O. Available seismic recordings on chemical and nuclear explosions in the former USSR, Calibration Workshop, 12-14 January 1999, Oslo, Norway. 9. Sultanov, D.D., J.R. Murphy, and Kh.D. Rubbibstein, A seismic source summary for Soviet-Peaceful Nuclear Explosions, Bull. Seismo. Soc. Am., 89, 1999.
10. X. Yang, R. North, C. Romney. PIDC Nuclear Explosion Database (Revision 2). CMR Technical Report, CMR-99/16, 1999.
11. Глубинное строение территории СССР. М.: Наука, 1991.
12. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР, с древнейших времен до 1975г. М.: «Наука», 1977.

**СОЛТУСТІК ЕВРАЗИЯНЫҢ ОРТАЛЫҚ БӨЛІГІН СЕЙСМИКАЛЫҚ КАЛИБРЛЕУ ҮШІН , СЕМЕЙ  
СЫНАУ ПОЛИГОНЫНДА ӨТКІЗІЛГЕН ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫ ҚОЛДАНУ**

**В.В. Кириченко, Ю.А. Краев**

*Western Services Corporation компанияның тіркелген өкілдігі*

Мақалада «ЯСБТШ мүддесінде Ресейдегі сесмоакустикалық зерттеулер» жобасының шегінде өткізілген зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Жобаның негізгі мәселелерінің біреуі «Ядролық сынауларға бәрін сыйдыратын тиым салу туралы Шартын» (ЯСБТШ) сақтауына құрастырылып жатқан Халықаралық мониторинг жүйесіне кіретін РФА сейсмикалық станцияларымен аймақтық қашықтықта тіркелетін сейсмикалық толқындардың жүріс уақытын калибрлеуін өткізуде.

**APPLICATION OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS CONDUCTED AT THE SEMIPALATINSK  
TEST SITE FOR THE SEISMIC CALIBRATION OF THE CENTRAL PART OF NORTHERN EURASIA**

**V.V. Kirichenko, Yu.A. Kraev**

*Western Services Corporation, Accredited Representative Office*

The paper presents the results of the study conducted within the framework of “Russian seismic-acoustic research in the interests of the CTBT.” One of the main objectives of the project is to calibrate travel times for seismic waves traveling at regional distances and being recorded by the seismic stations of the Russian Academy of Science that have been included in the international monitoring system in compliance with CTBT.

УДК 550.34:541.126(574)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГОДОГРАФОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНОК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ В КАЗАХСТАНЕ

<sup>1</sup>Старовойт О.Е., <sup>1</sup>Габсатарова И.П., <sup>2</sup>Краев Ю.А.

<sup>1</sup>Геофизическая служба Российской Академии наук, г. Обнинск

<sup>2</sup>Аккредитованное представительство Western Services Corporation, г. Москва, Россия

Геофизической службой РАН (ГС РАН) проводятся работы по совершенствованию методов обработки сейсмических данных с целью повышения точности местоопределения источников сейсмических событий и снижения магнитудного уровня представительности основных изданий ГС РАН – оперативного сейсмологического каталога и сейсмологического бюллетеня.

### ВВЕДЕНИЕ

Сейсмическая сеть Геофизической службы РАН (ГС РАН) включает более 150 сейсмических станций, объединенных в телесеismicкие, региональные и локальные сети. В Международную сеть мониторинга (МСМ) включено восемь сейсмических станций, входящих в телесеismicкую сеть РАН и участвующих в проведении сейсмического мониторинга Северной Евразии в режимах срочных донесений и текущей обработки данных. Геофизической службой РАН проводится комплекс работ, направленный на решение задачи калибровки станций Международной сети мониторинга (МСМ), расположенных на территории России. В частности, проводятся работы по совершенствованию методов обработки сейсмических данных с целью повышения точности местоопределения источников и снижения магнитудного уровня представительности основных изданий ГС РАН – оперативного сейсмологического каталога и сейсмологического бюллетеня. Повышение точности местоопределения сейсмических событий может быть достигнуто путем использования региональных годографов и расширения числа региональных сейсмических фаз, участвующих в определении гипоцентра. Калибровка времен пробега сейсмических волн на региональных расстояниях, регистрируемых станциями ГС РАН, является основной целью работы, проводимой в рамках субконтракта с компанией Science Applications International Corporation № 4400021068.

### Задача калибровки станций МСМ, расположенных на территории России

Постановка задачи исследований требует решения нескольких вопросов, основными из которых являются:

- разбиение территории Северной Евразии на регионы с учетом тектонической и сейсмической однородности для сбора данных о временах пробега региональных сейсмических волн;
- сбор и выделение фаз, определение времен их вступлений для региональных сейсмических волн;

- сбор и анализ данных о параметрах сейсмических станций, зарегистрировавших калибровочные события;
- разработка методики интерпретации и измерения времен вступления региональных сейсмических волн;
- сбор, анализ и оценка времен пробега региональных сейсмических волн калибровочных событий, зарегистрированных постоянными и временными сейсмическими станциями;
- построение годографов региональных сейсмических волн и оценка их погрешностей;
- оценка эффективности построенных региональных годографов путем переопределения местоположения калибровочных источников с использованием годографов - региональных и IASPEI-91.

Вся территория Северной Евразии была разбита на 11 регионов (Уломов В.И., 1998; Кириченко В.В., Краев Ю.А., 2000): I- Восточно-Европейская платформа; II- Кайнозойский складчатый пояс; III-Урал; 4- Западно-Сибирская платформа; 5- Казахский массив; 6- Алтае-Саянский регион; 7-Сибирская платформа, 8-Байкальская рифтовая зона; 9- Приамурье и Приморье; 10 - Северо-Восток и Чукотский полуостров; 11- Кирило-Камчаткий- и Сахалинский регион. В процессе выполнения субконтракта были собраны сейсмограммы с записями калибровочных событий на станциях, расположенных на территории Европейской части России, Кавказе, Урале, Сибири, Якутии и Северо-Востоке. Обработка сейсмограмм с выделением региональных фаз Pn, Pg, P, Sn, S, Lg на расстояниях от 200 до 3000 км проводилась с последующим внесением этих данных в специально созданную Базу Данных “Explosions”.

Источниками информации стали записи сейсмических станций, расположенных на расстоянии от 250 до 3000 км от калибруемых трасс во всем диапазоне изменения азимута в пределах северной части Евразии:

- стационарных сейсмических станций РАН и стран бывшего СССР,
- 256 мирных ядерных взрывов и ядерных испытаний на полигонах, данные о местоположении и времени проведения которых, были получены из

работ D.D.Sultanov, J.R.Murphy and Kh.D.Rubinstein, 1999, Bocharov V.S., Zelentsov S.A. and Mikhailov V.N., 1989, В.В Адушкин, В.А. Ан, В.М. Овчинников, Д.Н.Краснощеков, 1997 и др.

- станций Дагестанской локальной сети, региональных сетей станций Геофизической службы РАН Северного Кавказа, Алтай-Саян, Байкала, Якутии, Магадана, Камчатки и Сахалина.

**НАПОЛНЕНИЕ БД «EXPLOSIONS»**

База данных «Explosions» включает: данные о собранных 7 243 сейсмограммах с записями 256 калибровочных событий;

- 7 267 станция-записей, содержащих 12 839 времен вступлений сейсмических фаз, в том числе 6 986 вступлений, полученных впервые в результате обработки собранных сейсмограмм;
- 4 617 станция-записей, внесенных из архива стационарных бюллетеней опорных и региональных станций.

База данных создана на основе Microsoft Access для обеспечения работ по калибровке станций Международной сети мониторинга, расположенных на территории Северной Евразии. Она содержит таблицы: параметров 256 калибровочных событий; данных о местоположении станций сейсмических сетей ГС РАН и бывшего СССР; данных о собранных сейсмограммах с записями калибровочных событий; результатов обработки записей в виде времен прихода сейсмических фаз P,Pn,Pg,S,Sn и Lg.

**СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ «EXPLOSIONS»**

Структура базы данных приведена на рис. 1.

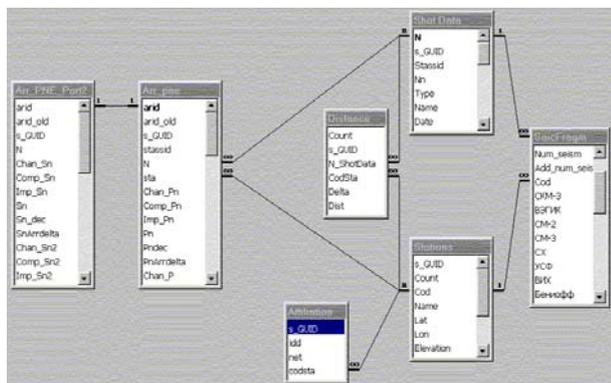


Рис. 1. Структура базы данных “Explosions”

Структура Базы Данных (БД) определена взаимосвязанными таблицами, предназначенными для хранения параметров взрывов, данных о сейсмических станциях, сведений о собранных наборах сейсмограмм для каждого из взрывов, результатов интерпретации записей взрывов с выделением сейсмических фаз и их времен вступлений.

Разработанные объекты БД поддерживают различные фазы сбора, интерпретации и подготовки данных для решения задач калибровки. Данные загружаются в основные таблицы, как путем импортирования, так и с помощью ручного ввода, для чего созданы удобные для пользователя электронные формы. "Запросы" позволяют проводить анализ данных и подготавливать отчеты для обмена и последующего использования в вычислительных программах. Связи между таблицами гарантируют ссылочную целостность данных. Создан блок, позволяющий создавать выборки для имитирующей сети МСМ.

БД содержит удобные формы-интерфейсы (рис.2) для ввода, контроля, исключающего грубые ошибки. БД обеспечивает возможность создания запросов для представления необходимой части информации в виде выборок для последующего использования в дальнейшей обработке, например, при построении годографов и локации эпицентров. Наполнение БД материалами об известных ядерных взрывах, проведенных в 1964-1998 годах на территории бывшего СССР, позволило обеспечить исходной информацией работы по построению годографов ряда тектонических провинций Северной Евразии и опробование их при определении местоположения калибровочных событий.

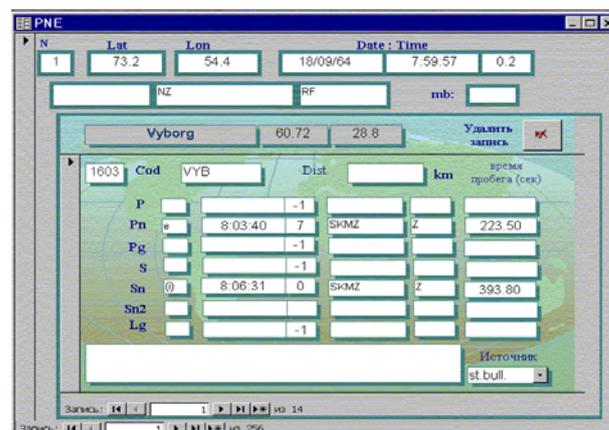


Рис.2. Форма PNE для ввода данных

**СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛОКАЦИИ**

На рис.3 приведено сравнение результатов локализации событий с использованием глобального годографа сейсмических фаз IASPEI-91 и региональных годографов.

Площадь эллипса ошибок при использовании годографа IASPEI-91 в среднем составляет 200 кв.км. При использовании региональных годографов эта площадь в 85% случаев уменьшается и достигает в среднем 150 кв.км.

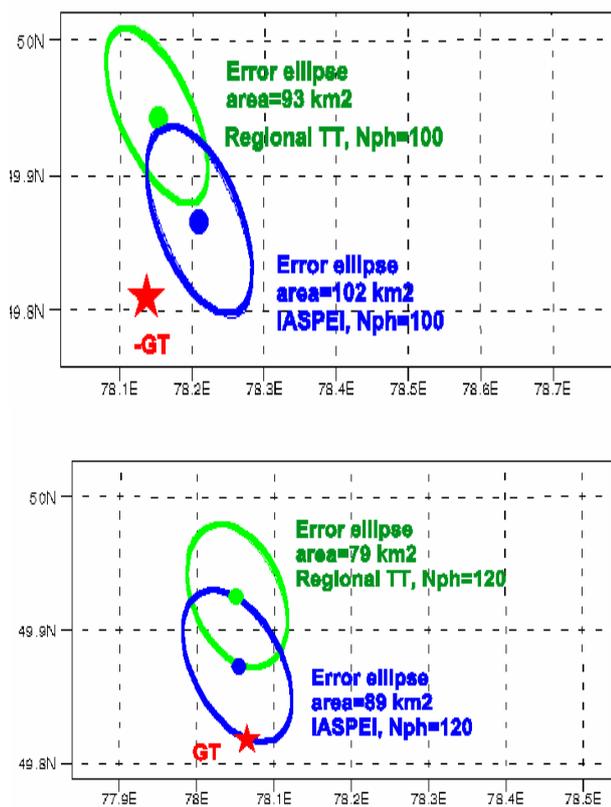


Рис. 3. Сравнение эллипсов ошибок

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана База данных «Explosions», позволяющая систематизировать данные о калибровочных событиях и осуществлять доступ к ним для решения задач калибровки. БД наполнена более 12 000 временами прихода региональных сейсмических фаз, которые были использованы для построения региональных годографов.

Региональные годографы применены для уточнения локации 21 калибровочного взрыва на площадках Дегелен и Балапан и трех химических взрывов 1997-1999гг на Семипалатинском испытательном полигоне.

Площадь эллипса ошибок при использовании годографа IASPEI 91 в среднем составляет 200 кв.км. При использовании региональных годографов эта площадь в 85% случаев уменьшается и достигает в среднем 150 кв.км.

Среднее расстояние от истинного положения эпицентра калибровочного события до эпицентра, определенного с использованием годографа IASPEI 91 составляет 15 км. При использовании региональных годографов это расстояние уменьшается в среднем до 9 км.

Для станций, расположенных в южных районах Средней Азии (горные районы Киргизии, Казахстана, Узбекистана и Таджикистана) необходимо дополнительное исследование для определения величины поправок, учитывающих сложность трассы.

### ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ КАЛИБРЛЕУ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ОРНАЛАСҚАН ЖЕРІН БАҒАЛАУЫН ЖАҚСARTY YШІН СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ АУМАҚТЫҚ ГОДОГРАФТАРЫН ҚОЛДАНУ

<sup>1</sup>О.Е. Старовойт, <sup>1</sup>И.П. Габсарова, <sup>2</sup>Ю.А. Краев

<sup>1</sup>РФА Геофизикалық қызметі

<sup>2</sup>Western Services Corporation компанияның тіркелген өкілдігі

РФА Геофизикалық қызметі (РФА ГК), сейсмикалық оқиғалардың дереккөздерінің орындарын табу дәлдігін жоғарлату және РФА ГК негізгі басылымдарында – жедел сейсмикалық каталог және сейсмикалық бюллетень – келістілігінің магнитудты деңгейін төмендету мақсатымен сейсмикалық деректерін өңдеу әдістерін жетілдіру бойынша жұмыстар өткізеді.

### APPLICATION OF REGIONAL TRAVEL TIME CURVES FOR THE IMPROVEMENT IN ESTIMATING THE LOCATION OF CALIBRATION EXPLOSIONS IN KAZAKHSTAN

<sup>1</sup>O.E. Starovoit, <sup>1</sup>I.P. Gabsatarova, <sup>2</sup>Yu.A. Kraev

<sup>1</sup>Geophysical Survey RAS,

<sup>2</sup>Western Services Corporation, Accredited Representative Office in Moscow

The Information Processing Center of the Geophysical Survey of Russian Academy of Science (GS RAS) works on improving the methods of seismic data processing. The goal of this work is to get better accuracy in locating seismic events and to reduce the magnitude level of seismic events representation in the GS RAS main publications - operative seismological catalogue and seismological bulletin.

УДК 550.34:528.23

**О НАДЕЖНОСТИ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЯВЛЕНИЯ****Овчинников В.М.***Институт динамики геосфер Российской Академии наук, г. Москва*

Рассмотрена задача оценки координат гипоцентра сейсмического явления на основе метода наименьших модулей (норма  $L_1$  в иностранной литературе). Проведена экспериментальная проверка теоретических выводов, которая показала, что для системы сейсмического контроля, действовавшей во время международного эксперимента по обмену сейсмическими данными в 1985 г., надежная оценка параметров гипоцентра по временам первых вступлений достигается при числе измерений более 9.

Определение координат и времени сейсмического явления составляет важную часть обработки данных в сейсмологической практике, но особую значимость эта задача приобретает в контексте Мониторинга Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Одной из наиболее трудных задач мониторинга является ассоциация измерений элементов волнового поля на отдельных сейсмических станциях с конкретным сейсмическим явлением [1-3]. При высокой чувствительности станций, входящих в систему глобального мониторинга, существует вероятность перемешивания измерений, относящихся к разным сейсмическим явлениям. При этом, по отношению к измерениям волнового поля, порожденного некоторым выделенным сейсмическим источником, все остальные измерения являются мешающими проведению точной и надежной оценки параметров явления. Такие мешающие измерения можно называть ложными (в терминах теории обнаружения) или грубыми (в терминах теории измерений).

Начальное описание сейсмического явления задается его пространственным положением и временем в очаге. Первичной информацией, на основе которой определяются параметры гипоцентра, являются времена вступлений различных сейсмических фаз, измеренные на сейсмических станциях, а при использовании данных станций сейсмического группирования и поляризационных характеристик на одиночной трехкомпонентной станции, привлекаются также данные об измеренных значениях параметра медленности (величина, обратная кажущейся скорости, которая, в свою очередь, связана с эпицентральной расстоянием) и азимута - направления на источник обнаруженного сигнала. Минимальное количество измеренных параметров для определения координат гипоцентра по временам первых вступлений составляет 4 времени вступления с различных станций. Использование сейсмических фаз, отличных от первых вступлений, а также измерение дополнительных параметров - азимута и медленности, может уменьшить количество станций. Например, достаточно измерений азимута, проведенных только на двух станциях сейсмического группирования. Даже при условии корректной иден-

тификации сейсмических фаз на различных станциях проблемой остается объединение этих фаз в группы, принадлежащие одному явлению, с последующим определением координат гипоцентра. Этот процесс далее будем называть обнаружением сейсмического источника, как процесс, состоящий из двух взаимосвязанных стадий - ассоциации (сортировка) данных и собственно оценки координат гипоцентра.

В сейсмологической практике обычно принято говорить об оценке координат гипоцентра источника, инструментальное определение которого имеет давнюю историю, восходящую к методу Гейгера [4]. Начиная с 60-х годов, для решения этой задачи применяются вычислительные процедуры, имеющие некоторые общие черты: оценка координат гипоцентра является результатом решения оптимизационной задачи, в которой используется минимизация невязок - расхождения между экспериментально измеренными значениями времени пробега волн Р и рассчитанными теоретически. Мерой расхождения служит сумма квадратов невязок на отдельных станциях, а влияние мешающих измерений устраняется методом выбраковки грубых измерений. Основные вычислительные особенности используемых подходов к оценке координат можно найти в [5-18].

Такой подход вполне оправдан, когда речь идет о землетрясениях с магнитудой больше 5.0. В этом случае имеется уверенность в том, что измеренные на станциях времена вступлений относятся к одному источнику. При уменьшении порогового уровня до магнитуд 3.5-4.0 задача усложняется. Требуется иное решение, так как в рамках этого метода оценки параметров гипоцентра по временам первых вступлений единственным способом получения надежной и точной оценки координат, которая зависит от избыточности измерений и расположения станций относительно эпицентра, является увеличение количества станций в системе наблюдений. Следует также отметить, что применение выбраковки при слишком жестких условиях может привести к глобальному минимуму, когда все измерения будут выбракованы. На необходимость поиска альтернативы методу с выбраковкой указывал еще Джеффрис [19].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Сейсмический источник в общем случае характеризуется пятью независимыми параметрами: временем в очаге, тремя пространственными координатами - широта, долгота и глубина, и энергией (магнитуда). Пусть имеется сеть из  $N$  сейсмических станций, на которых осуществляется обнаружение и измерение параметров различных составляющих волнового поля, генерированного некоторой совокупностью сейсмических источников. Обозначим через  $\Theta_\mu = (T_\mu, \varphi_\mu, \lambda_\mu, h_\mu, m_\mu)^T$  вектор искомых параметров  $\mu$ -го сейсмического источника ( $T$  – знак транспонирования) и через  $(U_{gk})^T$  – вектор  $g$ -го параметра ( $g \in G$ ), измеренного на  $k$ -ой станции ( $k \in K$ ). Множество  $G = \{g \mid U_{gk}\}$ , а множество  $K$  включает номера всех станций, на которых измерена амплитуда сигнала  $K = \{k \mid U_a > 0, 1 \leq k \leq N\}$ , то есть станций, на которых обнаружен сигнал.

Физический смысл составляющих вектора может быть различным, например,  $U_g$  может представлять вектор однотипных измерений времени вступления сигнала на станциях  $U_i = (U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{ik}, \dots, U_{iN})^T$ , азимута со станции на эпицентр  $U_\alpha = (U_{\alpha 1}, U_{\alpha 2}, \dots, U_{\alpha k}, \dots, U_{\alpha N})^T$ , угол падения (кажущаяся скорость или эпицентральное расстояние) сейсмической волны  $U_s = (U_{s1}, U_{s2}, \dots, U_{sk}, \dots, U_{sN})^T$ , разность времен вступлений сейсмических фаз на станции  $U_d = (U_{d1}, U_{d2}, \dots, U_{dk}, \dots, U_{dN})^T$  и т.д. Заметим, что различным типам сейсмических станций (одиночная трехкомпонентная станция, однокомпонентная или многокомпонентная система группирования) соответствует различный набор составляющих вектора  $U_{gk}$ . Обозначим через

$$\Omega = \bigcup_g U_g \quad (1)$$

множество, состоящее из совокупности измеренных параметров. Тогда задача будет состоять в том, чтобы разбить множество  $\Omega$  на подмножества  $\omega_\mu$  ( $\mu = 1, 2, \dots$ ;  $\mu$  – количество сейсмических источников, с которыми связан вектор параметров  $U_g$ ) и поставить каждому в соответствие параметры источника  $\Theta_\mu = (T_\mu, \varphi_\mu, \lambda_\mu, h_\mu, m_\mu)^T$ , где  $T_\mu$  – время в очаге,  $\varphi_\mu$  – широта,  $\lambda_\mu$  – долгота,  $h_\mu$  – глубина,  $m_\mu$  – магнитуда. При этом, разбиение надо осуществить таким образом, чтобы

$$\omega_{\eta_1} \cap \omega_{\eta_2} = 0 \quad (2)$$

То есть, каждое подмножество  $\omega_\mu$  характеризуется только ему присущим набором данных и соответствующим им вектором параметров  $\Theta_\mu$ . Сложность задачи состоит в том, что заранее не известны ни пространственно-временное положение сейсмического источника, ни количество источников, ни какие-либо из имеющихся данных, входящих в множество  $\Omega$ , относящихся к конкретному источнику.

### ОБЩИЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ

Обнаружение сейсмического источника включает два взаимосвязанных шага: ассоциация данных, то есть предварительный выбор данных, предположительно относящихся к одному источнику, и собственно оценка координат и времени в очаге. Общий метод решения состоит в сопоставлении измеренных параметров  $U_{gk}$  с соответствующими им теоретическими параметрами  $U_{gk} = f_{gk}(\Theta_\mu)$ . Формально задача заключается в том, чтобы найти такое значение параметра  $\Theta_\mu$  и количества источников  $\mu$ , для которых функция  $\psi(\Theta_\mu)$ , характеризующая согласованность данных, достигает экстремального значения

$$\psi(\Theta_\mu) \rightarrow \text{extr.} \quad (3)$$

В качестве функции  $\psi(\Theta_\mu)$  выбрана сумма взвешенных модулей невязок:

$$\psi(\Theta_\mu) = \sum_\mu \sum_{g \in G} W_g \sum_{k \in K} W_k |U_{gk} - f_{gk}(\Theta_\mu)|, \quad (4)$$

где  $W_g$  – коэффициенты, учитывающие относительное влияние параметра сигнала  $k$ -го типа на оценку  $\Theta_\mu$ , а  $W_k$  – характеризует неравноточность в пределах одного типа измерений.

Для решения задачи (2-4) используем метод локальной оптимизации [20, 21] при следующих предположениях:

1. Множество  $\Omega$  в основном содержит данные, относящиеся к одному источнику. При этом в отобранных для интерпретации данных присутствуют не только данные, относящиеся к конкретному источнику, но и данные, не относящиеся к нему, причем количество последних меньше, чем первых. Это предположение, как будет видно из рассмотрения экспериментальных данных, является допустимым.
2. Известно некоторое начальное приближение параметра  $\Theta = \Theta^0$ .
3. Для уравнения (4) допустимо линейное представление по  $\Theta$ .

Разлагая  $f_g(\Theta)$  в ряд Тэйлора в точке  $\Theta^0$  и удерживая члены первого порядка, для величин невязок получим

$$r_g = U_g - f_g(\Theta^0) = A_g \Delta \Theta, \quad (5)$$

где  $\Delta \Theta = \Theta - \Theta^0$ ,  $A_g$  – матрица частных производных по  $\Theta$ , строки которой  $a_{gi} = (\partial f_g(\Theta) / \partial \Theta)_{\Theta = \Theta^0}$ . Уточненная оценка  $\Theta$  может быть получена из выражения

$$\Theta^{k+1} = \beta \left( \sum_{g \in G} A_g^T W_g A_g + \alpha I \right)^{-1} \sum_{g \in G} W_g A_g^T r_g + \Theta^k, \quad (6)$$

где  $\alpha$  – параметр регуляризации;  $\beta$  – параметр демпфирования;  $k$  – номер итерации  $I$  – единичная матрица.

При  $\beta=1$ ,  $\alpha=0$  выражение (6) представляет стандартное решение метода наименьших квадратов со специально выбранными весами  $W_g$ , позволяющее найти минимум суммы модулей невязок (4).

В общем виде схема решения задачи (4) при использовании в качестве основных измерений времен вступления может быть представлена следующим образом. Вначале задается некоторое приближенное значение  $\Theta_{\mu}=(T_{\mu}, \varphi_{\mu}, \lambda_{\mu})^T$ . Фиксируется временной интервал, в котором могут находиться сигналы от выбранного источника  $t_i \in [t_b, t_e]$ . Рассчитываются для каждого времени вступления  $t_i \in [t_b, t_e]$  время в очаге  $T_{0i}=t_i-g(\Delta_i)$  ( $g(\Delta_i)$  – годограф) и вычисляется среднее время в очаге  $T_0=1/n \sum T_{0i}$ , которое используется в качестве начального приближения. Находятся поправки к нулевому приближению по формуле (6). Так как формула (6) представляет итерационную процедуру, то для ее завершения устанавливается правило, опирающееся на анализ функции  $\psi(\Theta)$  и поправок  $\Delta\Theta^k$ . Возможны следующие комбинации, определяющие ход дальнейших вычислений:

1.  $\psi(\Theta^{k+1}) < \psi(\Theta^k)$ ,  $\Delta\Theta^k < \Delta\Theta^0$  - переход к новой итерации.
2.  $\psi(\Theta^{k+1}) > \psi(\Theta^k)$ ,  $\Delta\Theta^k < \Delta\Theta^0$  - завершение вычислений.
3.  $\psi(\Theta^{k+1}) < \psi(\Theta^k)$ ,  $\Delta\Theta^k > \Delta\Theta^0$  - переход к новой итерации.
4.  $\psi(\Theta^{k+1}) > \psi(\Theta^k)$ ,  $\Delta\Theta^k > \Delta\Theta^0$  - корректировка  $\Delta\Theta^k$  с помощью параметра  $\beta$  (например  $\beta^{k+1} = \beta^k/2$ ) и переход к пункту 1.

Если имеются данные о координатах сейсмического источника с одиночной трехкомпонентной станции или со станции группирования, то они принимаются в качестве начального приближения и далее используется формула (6).

**СВЕДЕНИЕ ЗАДАЧИ МИНИМИЗАЦИИ СУММЫ МОДУЛЕЙ НЕВЯЗОК К РЕШЕНИЮ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ СО СПЕЦИАЛЬНО ВЫБРАННЫМИ ВЕСАМИ**

Покажем, что с помощью специально выбранных весовых коэффициентов  $W_{ii}$  задачу (4) можно решить в рамках вычислительных схем метода наименьших квадратов. Для простоты, рассмотрим только случай измерения переменной одного типа, например, времени вступления, то есть  $U_i = t_i$  - время вступления на  $i$ -ой станции. Покажем, что методом наименьших квадратов можно построить сходящуюся последовательность при нахождении минимума функции следующего вида

$$\Psi(\Theta, \Theta^*) = \sum (U_i - g_i(\Theta))^2 W_i, \quad (7)$$

где  $W_i = (|U_i - g_i(\Theta^*)|)^{-1}$  и  $g_i(\Theta)$  – время пробега волны, рассчитанное по годографу, а  $\Theta^*$  – искомое решение. Таким образом, величины невязок времен пробега, полученные на  $k$ -ом шаге, служат весовыми коэффициентами при расчете на  $k+1$  шаге. Вычисления продолжают до тех пор, пока не будет показано, что

$$\Psi(\Theta, \Theta^*) > \Psi(\Theta^*, \Theta^*). \quad (8)$$

Покажем теперь, что, если выполняется условие (1.8), то  $\Theta^*$  обращает в минимум выражение  $\sum |U_i -$

$g(\Theta)|$ . В некоторой достаточно малой  $\varepsilon$ -окрестности  $\Theta^*$  имеют место следующие соотношения:

$$\Psi(\Theta, \Theta^*) = \sum |U_i - g(\Theta)| / 2W_i = \sum (|U_i - g(\Theta^*)| + \delta_i) / 2W_i, \quad (9)$$

где  $\delta_i = |U_i - g(\Theta)| - |U_i - g(\Theta^*)|$ .

Из (9) следует, что  $\Psi(\Theta, \Theta^*) - \Psi(\Theta^*, \Theta^*) = \sum \delta_i + 0.5 \sum (\delta_i)^2 W_i \geq 0$ .

Так как второе слагаемое убывает быстрее первого при  $\Theta \rightarrow \Theta^*$  ( $\delta_i \rightarrow 0$ ), то существует достаточно малая окрестность точки  $\Theta^*$ , в которой при любых  $\Theta$  выполняется условие  $\sum \delta_i > 0$ .

$$\text{Но } \Psi(\Theta) = \sum |U_i - g(\Theta)| = \sum (|U_i - g(\Theta^*)| + \delta_i) = \Psi(\Theta^*) + \sum \delta_i.$$

Следовательно, точка  $\Theta^*$ , доставляющая минимум функции (7), является также точкой, доставляющей минимум функции (4). Таким образом, предложенный критерий качества в виде суммы модулей невязок не требует существенных изменений в вычислительных процедурах, которые опираются на метод наименьших квадратов. Однако метод наименьших модулей обладает рядом преимуществ, которые будут показаны ниже. В частности, он обладает робастностью (устойчивостью), т.е. можно сформулировать условия, при которых грубые измерения не будут оказывать влияния на оценку параметров сейсмического источника.

**УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ**

Рассмотрим простую модель экспериментального материала, которая включает два типа измерений, отобранных для интерпретации: первый тип связан с интерпретируемым сейсмическим источником и для него

$$r_i = \left( \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \right), \quad i=l+1, \dots, n; \quad (10)$$

другой тип не относится к интерпретируемому источнику и для него

$$r_i = \left( \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j + \eta_i \right), \quad i=1, 2, \dots, l, \quad (11)$$

причем  $\eta_i$  могут принимать произвольные значения и  $n > m$ . Тогда, очевидно, что при использовании для определения уравнений (10) будет получено точное решение, а при использовании уравнений (11) оцениваемый параметр будет иметь смещение.

Задача нахождения минимума суммы модулей невязок может быть сведена к стандартной задаче линейного программирования и на этой основе изучены свойства решения. Приведем доказательство необходимых условий, опираясь на свойства прямой и двойственной задач линейного программирования. Пусть оцениваемый вектор параметров имеет некоторое смещение, обусловленное влиянием второго типа измерений, т.е.  $x_j = x_j + \delta x_j$ . В соответствии с (4),  $\delta x_j$  должно удовлетворять следующему соотношению

$$\left\{ \sum_{i=1}^l \left( \sum_{j=1}^m |x_j a_{ij} - \eta_i| \right) + \sum_{i=l+1}^n \sum_{j=1}^m |\delta x_j a_{ij}| \right\} =$$

$$= \sum_{i=1}^l |\delta x a_i - \eta_i| + \sum_{i=l+1}^n |\delta x a_i| \Rightarrow \min_{\delta x} \quad (12)$$

Очевидно, что оценка параметров будет устойчивой к измерениям второй группы данных, если  $\delta x = 0$ .

Задача определения  $\delta x$  из (12) эквивалентна следующей задаче линейного программирования [32]

$$L(z) = - \sum_{j=1}^n z_j \Rightarrow \max \quad (13)$$

$$z_i + a_i \delta x \geq \eta \quad i=1, 2, \dots, l \quad (14)$$

$$z_i + a_i \delta x \geq 0 \quad i=l+1, l+2, \dots, n \quad (15)$$

$$z_i - a_i \delta x \geq -\eta_i \quad i=1, 2, \dots, l \quad (16)$$

$$z_i - a_i \delta x \geq 0 \quad i=l+1, l+2, \dots, n \quad (17)$$

$$z_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (18)$$

Прямой задаче (13-18) соответствует двойственная задача линейного программирования [34]

$$\sum_{i=1}^n \eta_i (u_i + u_{i+n}) \Rightarrow \min \quad (19)$$

$$u_i - u_{i+n} \geq -1 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (20)$$

$$u_i \leq 0 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (21)$$

$$u_{i+n} \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (22)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i (u_i + u_{i+n}) = 0 \quad (23)$$

Из (10-22) следует, что

$$-1 \leq u_i + u_{i+n} \leq 1 \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (24)$$

Поэтому линейная форма (19) ограничена снизу величиной  $-\sum_{i=1}^l |\eta_i|$ . Пусть система линейных уравне-

ний (23) имеет решение. Тогда максимум линейной формы прямой задачи равен минимуму линейной формы сопряженной задачи [34]. Но из (12) это достигается при  $\delta x = 0$ . Таким образом, необходимыми условиями устойчивости решения является условие существования решения двойственной задачи.

Из (12-24) можно видеть, что для получения устойчивой оценки, каждый вектор-строка  $a_p$ , соответствующий грубому измерению, должен быть представлен в виде линейной комбинации векторов  $a_i (i \neq p)$  с коэффициентами разложения по модулю, не большими 1, причем, среди векторов  $a_i$  должно быть  $m$  линейно независимых, т.е. должно выполняться [25].

$$\sum_{i \in I_\mu} |a_{ij}| \geq \sum_{i \in I_\mu} |a_{ij}|, \quad (25)$$

где  $I_\mu$  - множество индексов, соответствующих грубым измерениям.

### ИЗБЫТОЧНОСТЬ ДАННЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ КООРДИНАТ ЭПИЦЕНТРА

Предположим, что задача (19-23) имеет решение, и номера столбцов, вошедших в базис и соответствующих точным измерениям, занимают первые  $m$  строк. Обозначим через  $A_B$  квадратную матрицу, составленную из коэффициентов  $a_{ij}$ , соответствующих этим уравнениям. Рассмотрим систему

$$\sum_{i=1}^n \mu_i c_{ij} = 0, \quad j=1, 2, \dots, m,$$

где  $c_{ik} = \sum_{j=1}^m a_{ij} b_{jk}$ ,  $k=1, 2, \dots, m$  и  $b_{jk} = a_{jk}^{-1}$  элементы

матрицы, обратной  $a_{jk}$ . В соответствии с построением матрица  $|c_{ij}|$  будет состоять из двух блоков - верхние  $m$  строк являются единичной матрицей, а нижний блок из элементов  $c_{ij}$ . Из неравенства (25) вытекают два важных следствия. Положим, что  $|c_{ij}| \geq |c_{ij}|$  и пусть число элементов, входящих в мно-

жество  $I_\mu$ , равно  $l$ . Тогда естественно потребовать, чтобы

$$l \leq n - l - l, \quad (26)$$

поскольку только при этом условии может быть удовлетворено неравенство (25). По существу, используется принцип голосования, в соответствии с которым для правильного принятия решения требуется, по крайней мере, большинства голосов, то есть свойства решения определяются свойствами наиболее представительных в выборке измерений. Но, в силу построения матрицы  $||c_{ij}||$ , в ней не менее  $m-l$  элементов, которые равны нулю. Поэтому неравенство (26) приводится к виду  $n \geq 2l+m$ .

Обозначим через  $n_0 = n-l$  количество информативных измерений в выборке. Тогда, для  $n_0$  получим неравенство

$$n_0 \geq l+m. \quad (27)$$

Положим теперь, что  $|c_{ij}| \leq |c_{ij}|$ . Тогда условие (25) выполняется при любом числе грубых измерений, удовлетворяющих неравенству

$$n \geq l+m \quad (28)$$

Для численных оценок рассмотрим данные по величине среднего числа неассоциированных вступлений в прототипе МЦД в Вашингтоне в период международного эксперимента по обмену сейсмическими данными в 1984 г. Под ложными сигналами (грубыми измерениями) будем понимать все вступления, которые оказались неассоциированными с каким-либо сейсмическим источником из выпускаемого центром бюллетеня явлений. Такие данные за 13 дней октября и ноября 1984 г. приведены в табл. 1.

Табл. 1. Количество неассоциированных сигналов в МЦД

Месяц	Октябрь						Ноябрь						
	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
День	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N	366	333	251	295	243	276	269	198	291	286	430	282	203

В среднем количество неассоциированных сигналов составляет  $286 \pm 63$  в сутки. Для глобально расположенной сети станций контроля время пробега волны Р по апертуре системы составляет 30 мин. Именно в таком временном интервале могут находиться времена вступлений от некоторого сейсмического источника. В результате получаем, что на таком временном интервале могут присутствовать около 6 сигналов, не относящихся к интерпретируемому источнику. Из неравенства (27) вытекает, что требуемая избыточность данных, при которой возможно осуществить правильную интерпретацию экспериментального материала, составит  $n \geq 3 + 12 = 15$  при фиксированной глубине источника и  $n \geq 4 + 12 = 16$  при включении глубины в число определяемых параметров. Далее, полагая, что эффективность алгоритма без выбраковки грубых измерений эквивалентна алгоритму с выбраковкой, получаем, что количество данных, при котором можно говорить об уверенной интерпретации сейсмического источника по алгоритмам с выбраковкой составляет  $n_0 \geq 9$ .

Если же выполняется менее жесткое условие (28), то  $n \geq 9$  при фиксированной глубине, и  $n \geq 10$  при включении глубины в число определяемых параметров. Переходя к алгоритмам с выбраковкой, которые используются в практике определения координат гипоцентра по временам вступлений волн Р и РКР, для последнего случая получим  $n_0 \geq 3$  и  $n_0 \geq 4$ , соответственно. Последний результат показывает, что определение координат при выполнении специ-

фических условий может быть проведено при минимально необходимом количестве измерений, соответствующих числу определяемых переменных.

Для оценки величины избыточности измерений, при которой не наблюдается ложных тревог, используем материалы Сейсмологического бюллетеня МЦД за 1984 г. Подготовка бюллетеня и процедура принятия решения об обнаружении сейсмического источника в МЦД включала два этапа: вначале автоматически по поступающим данным определялись координаты источника при  $n \geq 3$ , а затем проводилась дообработка полезных источников человеком-интерпретатором с целью устранения ложных источников, которые в итоговом бюллетене помечались знаком "rejected". Эти данные послужили экспериментальным материалом, на котором были проверены условия избыточности, при которой ложных тревог не наблюдается. На Рис.1, 2 приведены гистограммы распределения числа "истинных" и "ложных" источников в зависимости от избыточности n.

Распределения, приведенные на рис.1,2, показывают, что безошибочная классификация источников возможна при  $n_0 \geq 10$ . Одновременно данные на рис.1,2 позволяют построить рабочую характеристику обнаружения МЦД, показанную на рис.3.

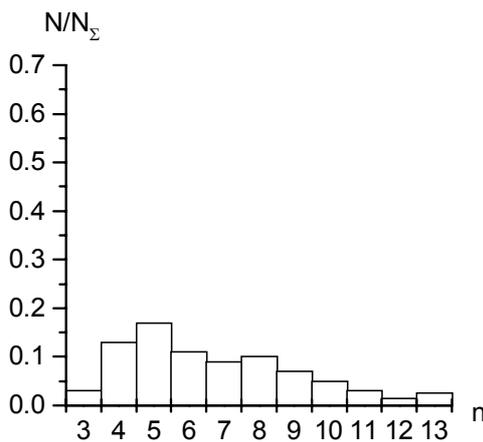


Рис.1. Распределение сейсмических источников, обнаруженных в МЦД, по величине избыточности

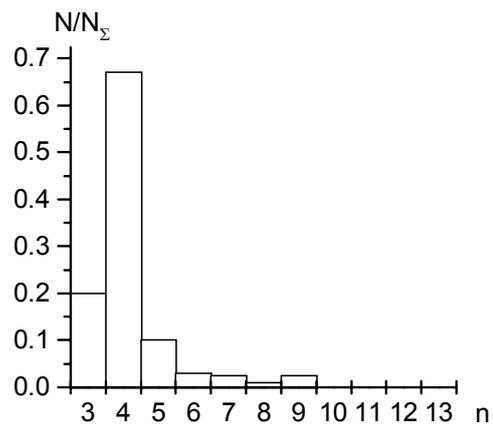


Рис.2. Распределение "ложных источников" по величине избыточности

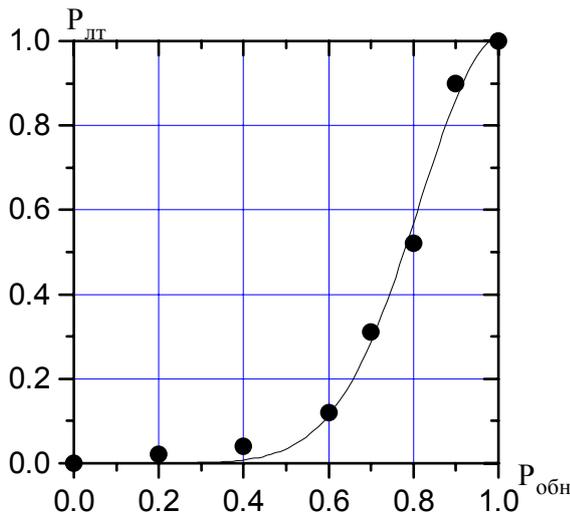


Рис. 3. "Рабочая характеристика" системы обработки

По аналогии с обнаружением сигналов на фоне помех, где параметром служит отношение сигнал/шум, здесь параметром является величина избыточности данных. Из Рис. 3 видно, что при  $n=5$  вероятность ложной тревоги  $P_{лт}=0.2$ , а вероятность правильного обнаружения  $P_{обн}=0.7$ . При дальнейшем увеличении избыточности  $P_{лт}$  убывает, достигая нуля при  $n=10$ . Вероятность обнаружения при этом оказывается  $P_{обн}=0.3$ .

Таким образом, для повышения вероятности обнаружения следует искать дополнительные возможности, позволяющие уменьшить величину избыточности данных. Дополнительным подтверждением корректности, полученных в работе аналитических оценок избыточности, служат результаты статистического моделирования, представленные в [23]. В этом эксперименте использовалась гипотетическая сеть сейсмических станций, рекомендованная для контроля за запрещением испытаний ядерного оружия. Каталог данных, по которым проводилось определение координат, включал данные по явлениям с  $m_b=2.1$ . Испытывались три процедуры оценки координат, примерно одинаковые в вычислительном плане, но различающиеся правилами принятия решения по величине избыточности: одна, разработанная в Швеции (избыточность данных  $n \geq 4$ ) и две, разработанные в США, причем в одной из них избыточность  $n \geq 5$  (глубина входит в число определяемых параметров) и во второй -  $n \geq 3$ .

Качество оценки характеризовалось суммой абсолютных величин ошибок в определении широты и долготы источника. Ложными считались те источники, отклонение эпицентров которых превышало  $10^0$ . Из 142 явлений, полученных по шведской программе, 8 оказались ложными. При этом ложные источники имели избыточность от 3 до 10. Это означает, что при избыточности в 10 измерений можно корректно определить координаты сейсмических явлений, не допуская ложных решений. Для амери-

канских программ были получены такие результаты: при применении процедуры 1 получено 5 ложных тревог с избыточностью 5, а процедура 2 дала 14 ложных тревог, причем 9 из них были с избыточностью больше 5.

Таким образом, получены аналитические оценки избыточности, которые хорошо согласуются с результатами имитационного эксперимента и экспертными оценками экспериментальных данных бюллетеня МЦД. Следовательно, простая аналитическая оценка (36) является хорошим описанием свойств экспериментального материала, для которой необходимо только знание средней величины потока неассоциированных сигналов в МЦД.

#### СОГЛАСОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕЖНЫХ УРОВНЕЙ ОБРАБОТКИ

Обработка сейсмических данных является двух-уровневой. В связи с этим правильность принятия решения на верхнем уровне оказывается зависящей от выбора рабочих характеристик обнаружителей сигналов на уровне станционной обработки.

Рассмотрим следующую модель. Пусть количество станций в сети контроля  $N$ . Поток ложных сигналов с них характеризуется средней интенсивностью, одинаковой для всех станций  $\lambda_i = \lambda$ . Тогда для среднего числа ложных (грубых) измерений  $N_{cp}$ , имеющих место на временном интервале интерпретации  $\Delta t$ , получим  $N_{cp} = N\lambda\Delta t$ .

Далее, пусть правило принятия решения об обнаружении сейсмического источника требует избыточности  $N_0$ . Используя соотношение (27) получим  $N_0 \geq m + 2 N\lambda\Delta t$ , откуда

$$\lambda \geq (N_0 - m) / 2 N\Delta t \quad (29)$$

Из выражения (29) видно, что для правильного принятия решения требуется согласованный выбор количества станций в сети и временной интервал, на котором интерпретируются данные, а также интенсивность потока ложных сигналов на нижнем уровне обработки. В частности, при  $N_0 = m$ , получаем  $\lambda = 0$ . Это естественный результат, показывающий, что при числе измерений, равном числу определяемых параметров, среди интерпретируемых измерений не должно быть ложных. При минимальной избыточности  $N_0 - m = 1$   $\lambda \leq 1 / 2 N\Delta t$ . Таким образом, чем большее число станций входит в состав сети контроля, тем более жесткие требования предъявляются к качеству функционирования алгоритмов обработки на нижнем уровне (сейсмическая станция).

Из (29) также следует, что при высоком уровне потока ложных сигналов с сейсмических станций возможность правильной интерпретации может быть обеспечена за счет уменьшения параметра  $\Delta t$ . Отметим, что этот параметр может быть уменьшен на основе предварительного задания начального решения в вычислительном алгоритме. Можно по-

лагать, что именно это обстоятельство лежит в основе многоканального обнаружения сейсмического источника сетью станций, предложенного в [24].

Приведем оценку величины  $\lambda$  для сети контроля, действовавшей в период международного эксперимента в 1984 г. Для нее  $N=75$ ,  $\Delta t=30$  мин.,  $m=3$ . Возьмем, в соответствии с результатами предыдущего раздела,  $N_0=15$ . При этих значениях для средней величины потока ложных сигналов получим  $\lambda \leq 4$  1/сутки. Сопоставим эту величину с оценками из экспериментальных данных. Число неассоциированных сигналов (ложных - в рассматриваемом контексте) в МЦД за 6-ти часовые интервалы

меняется от 30 до 135 на интервал. Средний уровень составляет 64 сигнала в сутки, что для отдельной станции соответствует примерно 3-4 сигнала в сутки. Эта величина подтверждается также данными, полученными на станции SLL ( $\varphi=60^{\circ}.28$  с.ш.,  $\lambda=13^{\circ}.19$  в.д.), для которой  $\lambda=3 \pm 1.5$  1/сутки. Отсюда следует, что при существующей практике определения координат по временам вступлений не допускается ложных тревог при избыточности  $N_0-m \geq 9$ . Приведенные данные показывают, что станции, участвовавшие в международном эксперименте, удовлетворяли полученным ограничениям на величину потока ложных сигналов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Adams R.D., Hudhes A.A., Mc Gregor D.M. Analysis procedures of the International Seismological Centres. *Physics of the Earth and Planet. Inter.*, 1982, v.30, №2-3, pp.85-93.
2. Anderson K. R. Robust earthquake location using M-estimates. *Phys. Of the Earth and Planet. Inter.*, 1982, v.30 №2-3, pp.119-130 .
3. Blandford R., Gonz J. Automatic Association, The VELA Program, A Twenty-five Year Review of Basic Research, 1985, p.559
4. Geiger L. Herdbestimmung bei Erdbeben aus den Ankunftszeiten Nachrichten der Koniglichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Gottingen, Mathematisch-Physikalische-Klasse, 1910, pp.331-349.
5. Bolt B.A. Earthquake location for small networks using the generating inverse matrix. *Bull. Sesm. Soc. Am* , 1970, v. 60, pp. 1823-1828.
6. Bolt B.A. The revision of earthquake epicenters, focal depth and origin times using a high-speed computer. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 1960, v.3, №4, pp. 433-465.
7. Buland R. The mechanics of locating earthquakes. *Bull. Sesm. Soc. Am.*, 1976, v. 6, pp 173-187.
8. Jordan T.H. Svedrup, Teleseismic location techniques and their application to earthquake clusters in the South Central Pasific, *Bull. Sesm. Soc. Am* , v. 71, 1981.
9. Kennett B.L.N., Sambridge M.S. Eathquake location: genetic algorithms for teleseisms. *Phys. Earth. Planet. Int.*, v. 75, pp. 103-110.
10. Lienert B., Berg E., Frazer L. Hypocenter: an earthquake location method using centered, scaled, and adaptively damped least squares. *Bull. Sesm. Soc. Am* , 1986. V. 76, №3 pp. 771-783.
11. Lienert B.R., Assessment of Earthquake Location Accuracy and Confidence Region Estimates Using Known Nuclear Tests. *Bull. Sesm. Soc. Am* , 1997. V. 87, №5 pp. 1150-1157.
12. Lienert B.R., Havskov, A computer program for locating earthquakes both globally and locally, *Seism. Res. Lett.*, 1995.V.66 p. 26-40
13. Lomnitz C. A fast epicenter location program. *Bull. Sesm. Soc. Am.*, 1977, v. 67, pp. 425-431.
14. Matusura M. Bayesian Estimation of Hypocenter with origin time eliminated, *J. Phys. of the Earth and Planet. Inter.*, v.32, №6, 1984, pp. 469-483.
15. Slunga R. International seismological datacenter. An algorithm for associating reported arrivals to aglobal seismic network into groups definig seismic events. FOA Report, C-20386-T1, 1980, Stockholm.
16. Пятацкий-Шапиро и др. Определение эпицентров землетрясений на цифровой ЭВМ, ДАН СССР, 1964, т.151, с.254-257.
17. Кондорская Н.В., Желанкина Т.С. Мебель С.С., Вартанова Л.Ю., Некоторые результаты применения электронной вычислительной машины при обработке сейсмических наблюдений. *Выч. Сейсм. Вып. 1*, Наука, 1966.
18. Епифанский ЭПИ-74 Вычислительная сейсмология, 1975
19. Jeffreys H. An alternative to rejection of observations, *Proc.Royal Soc. Ser. B*, 1932, v.137, p.78-87.
20. Цыпкин Я.З. Оптимизация в условиях неопределенности, ДАН, 1976, т.228, №6, с. 1303-1309.
21. Вагнер Исследование операций, т.2, М., Мир, 1973.
22. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Линейное программирование, М., Наука, 1969.
23. Ohlsson H. Investigation of a computer algorithm for automatic association of arrivals using synthetic data, Report, Stokholm, 1982.
24. Ringdal F., Kvaerna T., A multi-channel processing approach to real-time network detection, phase association and threshold monitoring. *Bull. Sesm. Soc. Am* ,1989, v. 79 pp.1927-1940.
25. Жесан А.В. Предварительный метод определения минимальной модели для надежного определения ориентации твердого тела с помощью метода наименьших модулей, Труды 6-го симпозиума по проблеме избыточности в информационных системах, 1974.

**СЕЙСМИКАЛЫҚ ОҚИҒАНЫҢ КООРДИНАТТАРЫН БАҒАЛАУЫНЫҢ СЕҢІМДІЛІГІ ТУРАЛЫ**

**В.М. Овчинников**

*Ресей Ғылыми Академиясының Геосфера динамикасы институты*

Ең кіші модульдер (шетел әдебиетінде  $L_1$  нормасы) әдісі негізінде сейсмикалық оқиғалардың ішкіндігінің координаттарын бағалау мәселелері қаралған. 1985 ж. сейсмикалық деректермен айырбастасу жөнінде халықаралық эксперимент кезінде болған сейсмикалық бақылау жүйесі үшін ішкіндігінің параметрлерін бірінші ену уақыттары бойынша сенімді бағалауына, өлшеулердің саны 9 көбірек болғанында жетуін көрсеткен теориялық қорытындыларының эксперименталдық тексеруі өткізілген.

**ABOUT ROBUST ESTIMATION OF HYPOCENTER PARAMETERS  
OF SEISMIC EVENT BY SPARSE SEISMIC NETWORK**

**V.M. Ovchinnikov**

*Institute of Geospheres Dynamics, RAS*

The present study is an attempt to estimate hypocenter coordinates of a seismic event using a method of the least modules ( $L_1$  standard in the foreign literature). Theoretical conclusions have been validated experimentally. The validation found that robust estimation of hypocenter parameters using time of the first arrival with the seismic control system under operation during the international experiment on seismic data exchange in 1985 is only possible if the number of measurement is over 9.

УДК [550.312:551.16]:550.34

## О СКАЧКЕ ПЛОТНОСТИ НА ГРАНИЦЕ ВНУТРЕННЕГО ЯДРА ЗЕМЛИ ПО ЗАПИСЯМ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Краснощеков Д.Н., Овчинников В.М.

*Институт динамики геосфер Российской Академии наук, г. Москва*

Проведена оценка минимального значения скачка плотности с помощью экспериментальных волновых форм, отражённых от границ ядро - мантия (PcP) и внутреннее - внешнее ядро (PKiKP) Земли, на расстоянии  $6^\circ$ . Используются цифровые сейсмические записи группы Зеренда - Восточный - Чкалово, зарегистрировавшей подземные ядерные взрывы, проведенные на Семипалатинском испытательном полигоне в 70-х годах. Расчеты, проведенные в рамках модели PREM, показывают, что полученное отношение волн PcP к PKiKP соответствует минимальному значению скачка плотности -  $0,38 \text{ г/см}^3$ .

В представляемой работе приведены новые данные о волнах, отраженных от границы внутреннего ядра Земли – волна PKiKP, и проведена оценка скачка плотности на этой границе на основе отношений амплитуд волн, отраженных от границы мантия-внешнее ядро (PcP) и внутреннее-внешнее ядро (PKiKP) - рис. 1. Амплитуда волн, отраженных от границы двух сред с различными физико-механическими свойствами, при малых углах падения сильно зависят от скачка плотности на границе раздела. Именно поэтому волны PKiKP являются чувствительным инструментом исследования границы внутреннего ядра Земли.

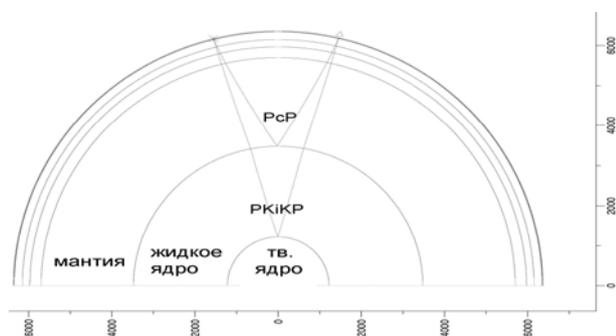


Рис. 1. Схема распространения волн PcP и PKiKP

Первые публикации, связанные с волнами PKiKP от подземных ядерных взрывов, вышли в свет в начале 70-х годов. Автором одной из них, Брюсом Болтом, была дана методика вычисления скачка плотности по отношению амплитуд волн PcP и PKiKP [1]. В работе [1] приведены амплитуды волн, отраженных от обеих границ ядра, на основе которых определено максимальное значение скачка плотности, составившее  $1,8 \text{ г/см}^3$ . В то же время автор считал, что наиболее вероятным значением скачка плотности является величина  $0,9 \text{ г/см}^3$ . Волновые формы были зарегистрированы группой ЛАСА на расстоянии  $10,9^\circ$  от подземного ядерного взрыва Фолтлес, проведенного в Неваде (магнитуда - около 6). Эти данные расходились с оценками, выполненными на основе анализа расщепления собственных мод Земли, которые ограничи-

вали значение скачка плотности диапазоном значений  $0,25 - 0,8 \text{ г/см}^3$  [2]. Волна PKiKP в работах Болта, также как и в последующих работах, посвященных этой теме, выделялась за счет суммирования каналов группы (например, [3]). В работе Суриа [3] были опубликованы амплитуды волн PKiKP, зарегистрированных различными станциями, в том числе группой Варрамунга, от события на расстоянии  $22^\circ$  градусов, по которому был определен скачок плотности, составивший  $1,35 - 1,66 \text{ г/см}^3$ . В [3] высказывается предположение о том, что волна, отраженная от границы внутреннего ядра, может быть выделена на малых расстояниях (до  $30^\circ$  градусов) только после суммирования вертикальных каналов группы. В работе Ширера и Мастерса [4] максимальное значение скачка плотности ограничено величиной  $1,0 \text{ г/см}^3$ . При определении авторы не прибегали к процедуре суммирования, и однозначного выделения волновой формы PKiKP удалось достичь только на двух из 4900 записей. Если волновую форму волны не удавалось выделить на фоне шума, то в качестве ее максимального значения принималась максимальная амплитуда на пятисекундном интервале вокруг времени ожидаемого вступления волны. В [4] делается вывод о том, что наблюдение волн PKiKP на малых расстояниях возможно только в случае ее фокусировки на неоднородностях, расположенных на трассе. В целом, за почти 30-летний период с момента первого опубликования данных об обнаружении волн PKiKP, работы, содержащие амплитуды этих волн, появлялись всего несколько раз.

Волновая форма PKiKP была впервые выделена в 1997 г. на записи одиночного вертикального канала [5]. Было также оценено значение скачка плотности на границе внутреннего ядра. В качестве сейсмических данных были использованы записи 10-ти подземных ядерных взрывов, проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне и зарегистрированных сейсмической станцией Боровое (расстояние  $6^\circ$  градусов). Однозначное выделение PKiKP на всех записях взрывов достигалось за счет частотной фильтрации в полосе  $0,2 - 1,0$  секунд.

Это позволяло значительно улучшить соотношение сигнал-шум, преобладающий период колебаний которого составляет 2 секунды. К сожалению, амплитуда коды на временах ожидаемого вступления волны, отраженной от границы ядро-мантия (PcP), в десятки раз больше, чем для соответствующего интервала времени волны PkiKP. Поэтому выделение волны, отраженной от границы ядро-мантия, не представлялось возможным. В связи с этим для определения амплитуды этой волны было использовано теоретическое соотношение амплитуд волн первого вступления и волны PcP — 0,005. Полученный скачок плотности составил 0,6 г/см<sup>3</sup> при условии наличия тонкого высокоскоростного слоя в подошве жидкого ядра.

Авторы некоторых работ (например, [6]) полагают, что амплитуда волны, отраженной от границы ядро-мантия (PcP), особенно на малых эпицентральных расстояниях, подвержена сильной вариации в зависимости от расположения станции наблюдения, сейсмического источника и т. д. Это обстоятельство следует учитывать при использовании указанного выше амплитудного соотношения.

Отличие настоящей работы от ранее выполненных, состоит в том, что амплитуда волны PcP оценивается на основе фактических записей временных выносных цифровых сейсмических станций. Это записи станций Зеренда, Восточный, Чкалово, зарегистрировавшие подземные ядерные взрывы, проводившиеся в 1977--1979 гг. Максимальная амплитуда волны PcP оценивалась после процедуры равновесного суммирования нормированных записей с введением временных задержек.

На рис. 2 показано взаимное расположение регистрирующих станций Нарын, Маканчи, Курчатов, группы Боровое и испытательных полигонов - Лоб-Нор, Семипалатинского. В таблице даны несейсмологические исходные данные [9,8,5], а также расстояния в градусах от соответствующих взрывов до регистрирующих станций.

Как видно из табл. 1, диапазон охваченных расстояний для имеющихся данных - от 5,5 до 17,5 градусов. На рис. 3 приведены фрагменты сейсмограмм, отвечающих временам первых вступлений продольных волн и волн PkiKP. Исходные записи на последнем интервале отфильтрованы в диапазоне 1-5 Гц. Трассы выровнены на время в очаге.

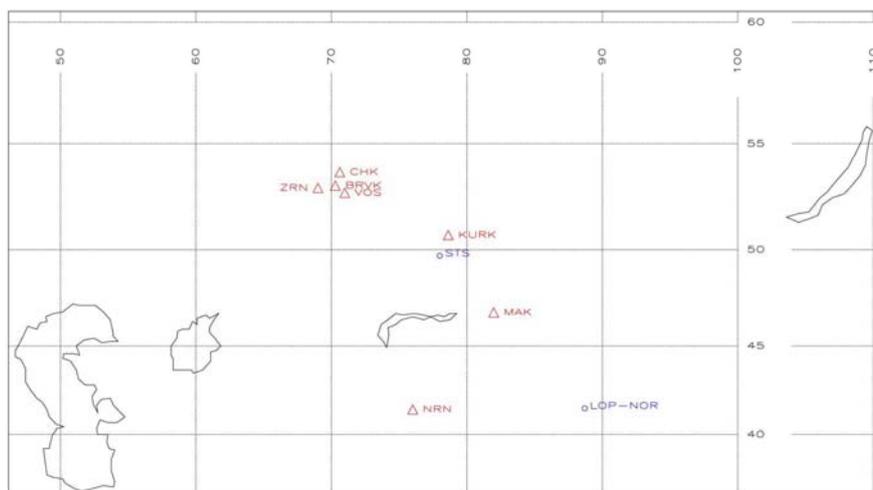


Рис. 2. Карта расположения испытательных полигонов - Семипалатинского, Лоб-Нор, и станций регистрации

Табл. 1. Несейсмологические данные о взрывах и расстояние в градусах до регистрирующих станций

Дата	широта	долгота	Время в очаге	m <sub>b</sub>	NRN	BRVK	CHK	VOS	ZRN	KURK	MAKZ
30.12.71	49,76	78,037	06:21:00,2	5,8	8,45	-	-	-	-	-	-
15.11.87	49,8987	78,7579	03:31:09,215	6,0	-	6,145	-	-	-	-	-
07.10.94	41,574	88,68	03:25:57,80	5,9	-	16,86	17,07	16,33	17,44	11,473	7,1007
30.11.77	49,9673	78,8743	04:06:59,94	5,89	-	-	6,302	-	-	-	-
23.06.79	49,9148	78,8456	02:57:00,11	6,16	-	-	6,321	5,656	-	-	-
07.07.79	50,0332	78,9891	03:46:59,87	5,84	-	-	-	-	6,859	-	-
04.08.79	49,9031	78,8876	03:56:59,67	6,13	-	-	6,35	5,686	-	-	-

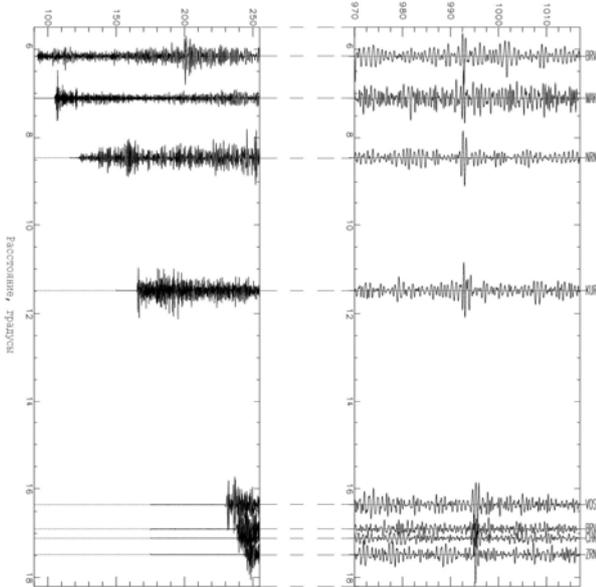


Рис. 3. Сейсмограммы ПЯВ, зарегистрированные цифровыми станциями Зеренда, Чкалово, Боровое, Восточный, Курчатов, Нарын и Маканчи

Как следует из рис.3, волновые формы, отраженные от границы внутреннего ядра, имеют гиперболический годограф с кажущейся скоростью распространения более 500 км/с.

Более детально волновые формы представлены на рис. 4. Время пробега волн РКiKP в диапазоне расстояний 5,5-17,5 градусов составляет 992-995 секунд. Как видно из рис.4, волна РКiKP однозначно выделяется после применения к исходным записям взрывов полосовой частотной фильтрации и отвечает волновой форме с максимальной амплитудой в 20-тисекундном интервале вокруг ожидаемого времени вступления. Одно-полупериодные вступления с частотой 1,5 Гц имеют амплитуду, в 2-4 раза превышающую уровень шума после фильтрации. Частотный состав полученных фаз постоянен и практически не изменяется от записи к записи. Лёгкость выделения волны РКiKP не может быть отнесена за счёт особых условий в точке отражения, особенностей на трассе распространения или непосредственно под станцией: записи проведены станциями, расположенными в различных геолого-геофизических условиях, в диапазоне азимутов от 5 до 340 градусов. Точка отражения смещается по поверхности внутреннего ядра приблизительно на 800 километров в различных азимутах. Необходимо отметить, что зафиксированные амплитуды волны РКiKP по абсолютному значению лежат в диапазоне 4-12 нм, что превышает теоретически рассчитанные амплитуды отраженных волн в рамках модели PREM, максимальное значение которых для взрывов с магнитудой 6, составляет 4 нанометра. Это обстоятельство позволяет предположить наличие высокоскоростного слоя в основании жидкого ядра.

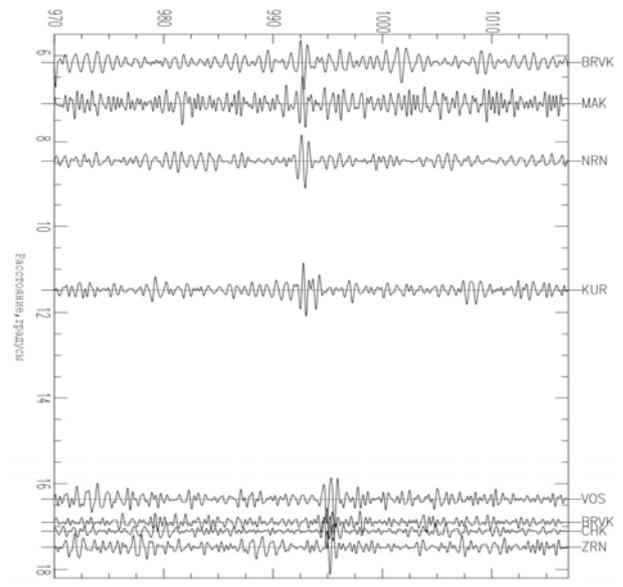


Рис. 4. Волны, отражённые от границы внутреннего ядра Земли (PKiKP)

Некоторые вступления, такие как например, на станциях Курчатов, Боровое или Чкалово, сопровождаются последующими колебаниями аналогичной формы и сходной частоты.

На рис.5 приведена запись взрыва, проведенного 4 августа 1979 г. и зарегистрированного станцией Чкалово и группой станций “Ожерелье” — Z-компонента основного выносного пункта и 6 вертикальных каналов “Ожерелья”. Амплитудно-частотные характеристики этой системы позволяли регистрировать смещения, величиной единицы нанометров, что определило выделение волны РКiKP на записях этой станции. Как и в предыдущем случае, к записям одиночных вертикальных каналов применялась частотная фильтрация. Всего, как указано в таблице, удалось обнаружить шесть записей взрывов, зарегистрированных группой “Ожерелье” в диапазоне расстояний 5,6-6,8 градуса, что составляет 42 вертикальных канала.

Амплитуда исходных записей на временах ожидаемых вступлений составляет 330 и 29 отсчетов - до фильтрации и 125 и 10 - после фильтрации для волн PсP и РКiKP, соответственно. Если шум полностью случаен — как во времени, так и в пространстве, метод направленного суммирования позволяет уменьшить амплитуду шума в корень из N раз, где N — количество суммируемых трасс [7]. Согласно теоретическим представлениям, суммирование 42-х трасс со введенными временными задержками уменьшит уровень шума в 6,5 раз. Модельные расчеты показывают, что амплитуды волн, отраженных от обеих границ ядра, приблизительно одного и того же порядка, и это позволяет надеяться на выделение волны PсP.

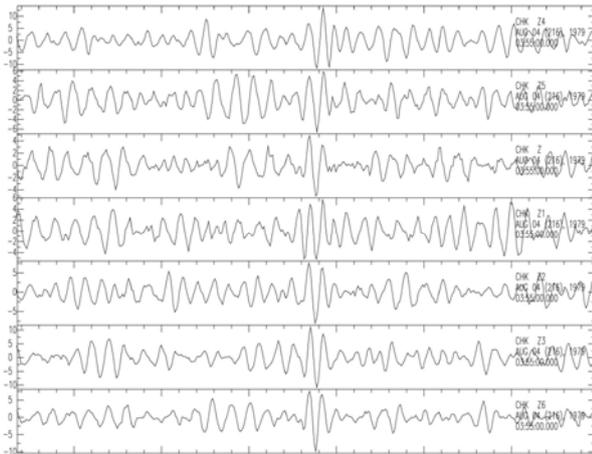


Рис. 5. Отражения от границы внутреннего ядра на запись взрыва, произведенного на Семипалатинском полигоне 4 августа 1979 г., зарегистрированной на выносном пункте Чкалово

На рис.6 приведены результаты суммирования 42-х трасс. Верхняя трасса отвечает суммированию с задержками, вычисленными для выделения волн PKiKP, а нижняя — для волн PcP. Левая часть рисунка представляет интервал времен предполагаемых вступлений волн PcP, правая — волн PKiKP. Внесение временных сдвигов с последующим суммированием не позволило достичь доминирования какой-либо волновой формы в левой части рисунка, а, следовательно, добиться выделения волны, отраженной от границы жидкого ядра Земли.

На рис.7 приведены трассы из левой части предыдущего рисунка (рис.6), наложенные друг на друга. Внесение временных задержек не сказалось на волновом пакете, хотя 512-ая секунда (время предполагаемого вступления волны PcP) достаточно заметно отличается для этих двух сигналов. Несмотря на то, что волна PcP не видна и не может быть однозначно выделена на фоне мощных вступлений, обусловленных реверберацией в коре и верхней мантии, можно оценить ее максимальную амплитуду. В качестве первого приближения можно использовать максимальную амплитуду в пятисекундном диапазоне ожидаемого времени вступления. Хотя, как указывалось выше, амплитуда на 512-ой секунде в 1,5 — 2 раза ниже, чем в среднем по представленному интервалу, это значение не может быть взято в качестве точной амплитуды волны PcP. Амплитудное отношение волн PcP и PKiKP, определенное таким образом, составило 0,25.

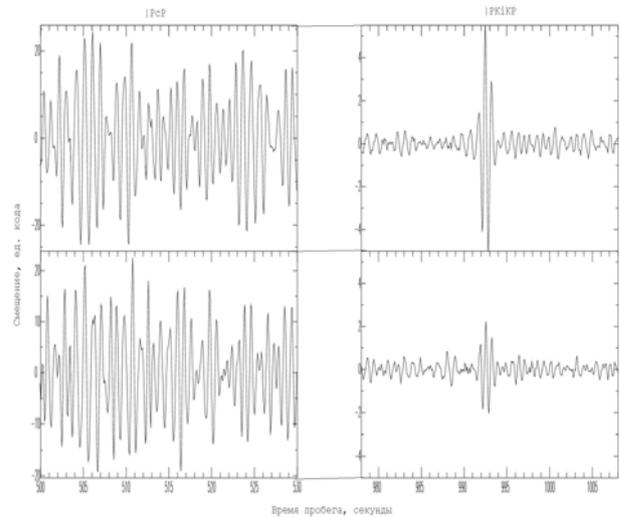


Рис. 6. Результат суммирования со временными задержками (верхняя трасса — для выделения волн PKiKP, нижняя — для волн PcP)

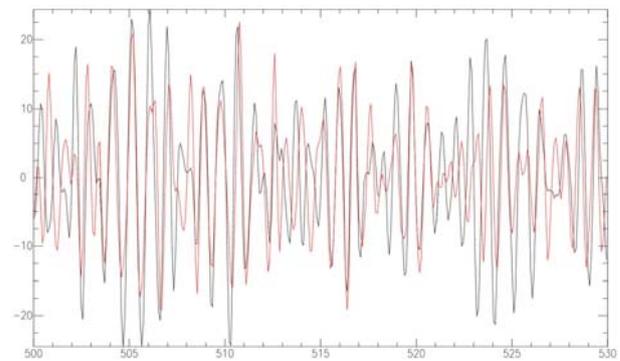


Рис. 7. Наложение результатов суммирования 42-х трасс с задержками PKiKP и PcP в 30-ти секундном интервале вокруг предполагаемого времени вступления волны PcP

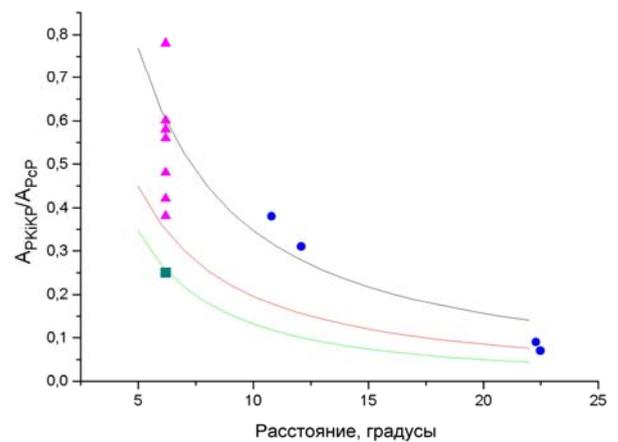


Рис. 8. Зависимость отношения амплитуд волн PKiKP и PcP от расстояния

Определенный скачок плотности на границе внутреннего ядра будет являться минимальным значением. На рис.8 представлены кривые, отвечающие скачкам плотности 0,38, 0,6, 1,8 г/см<sup>3</sup>. Это - зеленая, красная и черная линии, соответственно. Приведенные модельные представления были вычислены на основе модели PREM. Полученное значение отношения амплитуды волн PKiKP и PcP (зеленый квадрат) ложится на модельную кривую, соответствующую скачку плотности 0,38 г/см<sup>3</sup>. Десять значений амплитудных отношений, опубликованных ранее [5], представлены красными треугольниками. Волна PcP, как указывалось выше, не была выделена на анализируемых записях, и для оценки ее амплитуды

был использован масштабный коэффициент 0,005, связывающий амплитуду волны PcP с максимальной амплитудой первого вступления продольных волн. На рис.8 синими точками обозначены опубликованные значения амплитудных отношений по записям групп ЛАСА и Варрамунга.

Таким образом, значение отношения амплитуды волн PKiKP и PcP, полученное по результатам регистрации подземного ядерного взрыва, произведенного на Семипалатинском испытательном полигоне, не противоречит ранее опубликованным данным и ограничивает значение скачка плотности снизу величиной 0,4 г/см<sup>3</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bolt B.A., Qamar I., Nature, 1970, 228, p. 148-150.
2. Masters T.G., Geophys. J. RAS, 1979, 57, p. 507-534.
3. Souriau A., Souriau M., Geophys. J. Int., 1989, 98, p. 39-54.
4. Shearer P., Masters G., Geophys. J. Int., 1990, 102, p. 491-498.
5. В.В. Адушкин и др., ДАН, 1997, 354, № 3, с. 382-385.
6. Л.П. Винник, Г.Г. Дашков, Изв. АН СССР, Физика Земли, 1970, № 1, с. 7-16.
7. К. Аки, П. Ричардс, Количественная сейсмология, Т. 2, М.: Мир, 1983.
8. NNCRK, Technical documentation, contributed by the National Nuclear Centre of the Republic of Kazakhstan, Oslo Workshop on IMS Location Calibration, January 1999.
9. В.С. Бочаров, С.А. Зеленцов, В.Н. Михайлов, Атомная энергия, 1989, 67, с. 210-214.

### ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРЫН ЖАЗУЫ БОЙЫНША ЖЕРДІҢ ІШКІ ЯДРОСЫНЫҢ ШЕҚАРАСЫНДА ТЫҒЫЗДЫҚТЫҢ КЕНЕТ ӨЗГЕРУІ ТУРАЛЫ

Д.Н. Краснощёков, В.М. Овчинников

*Ресей Ғылыми Академиясының Геосфера динамикасы институты*

6° кашықтықта, Жердің ядро-мантия (PcP) және ішкі-сыртқы ядро (PKiKP) шекараларынан шағылысқан эксперименталды толқындық нысандары арқылы тығыздықтың кенет өзгеруінің ең төменгі мәні бағалауы өткізілген. Семей сынау полигонында 70 –ші жылдарда өткізілген жер астындағы ядролық жарылыстарды тіркеген Зеренді-Восточный-Чкалово тобының цифрлы сейсмикалық жазбалары қолданылған.

### THE DENSITY JUMP AT THE INNER CORE BOUNDARY USING UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION RECORDS

D.N.Krasnoshchekov, V.M. Ovchinnikov

*Institute for Dynamics of the Geospheres, Russian Academy of Science, Moscow*

This paper presents the estimation of the minimum jump value using experimental wave forms reflected from the boundary between the Earth core and mantle (PcP) and the one between the inner and outer core (PKiKP) at a distance of 6°. Digital seismic records of underground nuclear tests conducted at the Semipalatinsk test site in 70s by Zerenda-Vostochny-Chkalovo seismic array have been used.

УДК 550.34.541.126(574.41)

**ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И МАГНИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ЗАПИСЯМ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ 1997-2000 ГГ.  
НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

Михайлова Н.Н., Германова Т.И., Аристова И.Л.

*Институт геофизических исследований ИЯЦ РК, Курчатов*

Для пятнадцати химических взрывов, произведенных в 1997 – 2000 г.г. на Семипалатинском испытательном полигоне, определены значения энергетического класса  $K$  и магнитуды  $MPV$ . Установлено, что при одной и той же мощности взрывов их энергетические характеристики по сейсмическим записям существенно варьируют в зависимости от глубины заложения заряда, состояния геологической среды в месте взрыва и ряда других факторов.

В 1997 – 2000 г. на площадках Балапан и Дегелен Семипалатинского испытательного полигона была произведена серия химических взрывов в целях калибровки Международной системы мониторинга (IMS) ДВЗЯИ. Самыми сильными были калибровочные взрывы на массиве Дегелен – Омега-1 (1998г.), Омега -2 (1999 г.), Омега -3 (2000 г.) Их мощность составила 100 тонн. Калибровочные взрывы на площадке Балапан имели меньшую мощность - мощность четырех из них составила 25 тонн, наименьшего - 2 тонны.

Задачами настоящей работы являлось определение энергетических и магнитудных характеристик всех взрывов по сейсмическим записям, их классификация по сейсмическому эффекту, а также изучение связи полученных характеристик с мощностью взрывов и глубиной заложения заряда.

Всего в работе использованы записи 15 взрывов мощностью от 2 до 100 тонн. Сведения о взрывах приведены в табл. 1, 2. Из таблиц видно, что условия проведения взрывов довольно разнообразны. Одни из них проводились в скважинах на различной глубине - от 2м до более, чем 600 м, другие – в штольнях.

Регистрация взрывов проводилась сейсмическими станциями, как временно установленными специально для регистрации конкретных событий, так и стационарными, ведущими непрерывную регистрацию событий в системе сейсмического мониторинга ИЯЦ РК. На всех станциях велась цифровая регистрация. Естественно, что каждое из событий было зарегистрировано разными системами наблюдений: слабые взрывы – только ближайшими станциями, далекие станции смогли записать только сильнейшие события. Максимальный диапазон изменения эпицентральных расстояний составил 0 - 14°.

Известно, что магнитудная классификация сейсмических событий, происшедших на близких рас-

стояниях, представляет собой значительную проблему. В Международном центре данных в Вене и в Национальных центрах, как, например, в Центре данных Российской геофизической службы, наиболее применяемой шкалой для оценки сейсмических событий является шкала  $m_b$ . Магнитуда определяется по объемным волнам, преимущественно продольным  $P$  - волнам, на расстояниях более 20°. Используются калибровочные кривые, которые достаточно стабильны на этих расстояниях и позволяют получать устойчивые оценки [1-2]. На меньших расстояниях магнитуда  $m_b$  либо вообще не определяется, либо для этого используются региональные калибровочные кривые, которые специально разрабатываются разными организациями.

В советской практике обработки сейсмических данных широкое распространение получила классификация событий по энергетическим классам  $K$ , введенная Раутиан Т.Г. [3]. В последние годы опубликован ряд работ, где эта классификация используется и для химических взрывов, в том числе слабых, поскольку она позволяет проводить определения на расстояниях, начиная от 10 км.

В Казахстане в качестве региональной кривой для определения магнитуд используется калибровочная кривая для магнитуды  $MPV$ , являющейся аналогом магнитуды  $m_b$ , разработанная Михайловой Н.Н., Неверовой Н.П. [4]. Она широко применяется при обработке землетрясений и включается в каталог, составляемый Институтом сейсмологии МОН РК [5]. В последние годы калибровочная кривая была скорректирована Михайловой Н.Н. в соответствии с результатами работ по согласованию региональных и телесеismicких определений [6], и в таком виде она была использована в настоящих исследованиях.

**ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И МАГНИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ  
ЗАПИСЯМ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ 1997-2000 гг. НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

Табл. 1. Основные параметры химических взрывов на площадке Балапан

Дата взрыва	Время взрыва (GMT)	Координаты		Масса заряда, кг	Глубина заложения заряда, м	Штольня
		φ, N	λ, E			
13.07.1997	08.11.0.799	49° 52' 42,8"	78° 45' 36,4"	5000	630	1389
03.08.1997	08.07.20,04	49° 56' 28,2"	78° 47' 09,6"	25000	50	1311
31.08.1997	07.08.39,179	49° 53' 01,3"	78° 48' 53,1"	25000	300	1381
28.09.1997	07.30.15,126	49° 52' 45,9"	78° 50' 57,6"	25000	550	1349
13.07.1998	10.44.56,363	49° 52' 48,5"	78° 41' 31,4"	2028	20	1386
14.07.1998	05.11.35,570	49° 55' 53,3"	78° 47' 13,7"	2028	20	1327
14.07.1998	08.19.39,296	49° 54' 46,4"	78°44' 55,6"	2028	20	1330
14.08.1998	04.28.52,815	50° 02' 08,4"	79° 00' 41,1"	2028	13	1409
14.08.1998	05.39.24,970	50° 03' 27,2"	78° 56' 19,3"	2028	2,5	1419
15.08.1998	02.40.59,116	49° 52' 20,6"	78° 38' 52,0"	2028	14	1383
15.08.1998	05.05.11,156	49° 52' 42,8"	78° 45' 36,4"	2028	9	1389
17.09.1998	07.19.40,551	49° 58' 51,7"	78° 45' 21,2"	25040	28	1071-bis

Табл. 2. Основные параметры химических взрывов на массиве Дегелен (Омега - 1, - 2, - 3)

Дата взрыва	Время взрыва (GMT)	Координаты		Масса заряда, кг	Абсолютная отметка, м	Штольня
		φ, N	λ, E			
22.08.1998	05.00.18,904	49° 46' 00,0"	77° 59' 27,0"	100000	695	214
25.09.1999	05.00.06,0	49° 46' 54,68"	77° 57' 58,68"	100000	660,3	160-b
29.07.2000	06.10.04,25	49° 46' 54,68"	77° 57' 58,68"	100000	664,2	160-c

Итак, для энергетической и магнитудной классификации химических взрывов были использованы две шкалы – энергетических классов К и магнитуд MPV. При определении энергетического класса события использовалась максимальная амплитуда в Р- и S- фазах сейсмических волн на короткопериодных каналах типа СКМ. Далее расчет К производился по формуле

$$K=1,8 \lg(A_p + A_s) + \sigma_1(\Delta), \quad (1)$$

где  $A_p$  и  $A_s$  – максимальная амплитуда Р и S – волн в микронах;  $\sigma_1(\Delta)$ -калибровочная функция для  $A_p + A_s$  в диапазоне расстояний от 10 до 3000 км. Для определения MPV измерялась амплитуда и период Р - фазы для момента времени, когда колебательная скорость максимальна. Измерения проводились на короткопериодном канале типа СКМ. Значение MPV рассчитывалось по формуле

$$MPV = \lg(A/T) + \sigma_2(\Delta), \quad (2)$$

где А и Т – амплитуда и период Р-волны,  $\sigma_2(\Delta)$ -калибровочная кривая в диапазоне расстояний от 10 до 1000 км.

Определения значений К и MPV были проведены по 166 записям химических взрывов. По совокупности данных была рассчитана корреляционная зависимость магнитуды MPV как функции от К, которая имеет вид:

$$MPV=0,44K - 0,25. \quad (3)$$

Поскольку станционные поправки не известны для К и MPV разных станций, и при каждом взрыве использовалась разная система станций регистрации, для корректности сопоставления разных определений далее была использована система опорных станций, по которым и были определены значения К и MPV как среднее по всем опорным станциям. В табл. 3 приведены значения К и MPV, определенные описанным способом. Корреляционная зависимость

с использованием только этих значений получилась следующей:

$$MPV=0,46K - 0,47 \quad (4)$$

Табл. 3. Результаты определения энергетических характеристик калибровочных взрывов

Дата взрыва	Масса заряда, кг	К	MPV
13.07.1997 (194)	5000	5,09	1,88
03.08.1997 (215)	25000	7,75	3,24
31.08.1997 (243)	25000	7,10	2,92
28.09.1997 (271)	25000	5,73	3,17
13.07.1998 (194)	2028	6,39	2,37
14.07.1998 (195)	2028	5,44	1,97
14.07.1998 (195)	2028	6,18	2,26
14.08.1998 (226)	2028	5,55	1,77
14.08.1998 (226)	2028	4,54	1,57
15.08.1998 (227)	2028	5,60	1,88
15.08.1998 (227)	2028	6,24	2,00
22.08.1998 (234)	100000	8,81	3,7
17.09.1998 (260)	25040	7,40	2,97
25.09.1999 (268)	100000	8,51	3,19
29.07.2000 (211)	100000	7,64	2,94

Как видно из табл.3, значения энергетических классов для взрывов мощностью от 2 до 100 тонн отвечают диапазону значений 4,54 – 8,81. Магнитуда MPV при этом равна 1,57 – 3,70.

Были исследованы зависимости К и MPV от массы заряда Y. На рис.1 представлена подобная зависимость. Из него видно, что при одном и том же значении массы заряда, сейсмический эффект может различаться довольно значительно. Для 2-х тонных и 25 тонных взрывов разброс значений К достигает двух единиц. На рис.1, помимо полученной зависимости, нанесена зависимость  $K=7,0+1,55 \lg Y$ , согласно работе [7] – прямая линия. Эта зависимость является ограничением сверху для экспериментальных точек  $K=f(Y)$  по большому количеству химических взрывов, произведенных в разных регионах бывшего Советского Союза, включая Семипалатинский испытательный полигон. Значения, которые получены по исследуемым взрывам, не выходят из

области, ограниченной данной прямой и осью  $Y$ . Однако видно, что сейсмический эффект исследуемых взрывов намного меньше того, каким он мог бы быть в других районах при той же мощности взрывов. Имеет место дефицит сейсмической энергии более чем в одну единицу класса. Это может быть следствием состояния геологической среды, в том числе ее значительной раздробленности в районе взрывов и, возможно, других факторов. На рис.1 нанесены также четыре значения энергетических классов, заимствованные из [7], для калибровочных взрывов, произведенных в 1978, 1985 и 1987г., мощностью 600, 500 и 5000 тонн, соответственно. В сравнении с другими данными эти значения также отражают существующий дефицит выделяемой сейсмической энергии. Сейсмический эффект, наиболее близкий к предельно возможному, имеет только взрыв, произведенный в 1978 г.

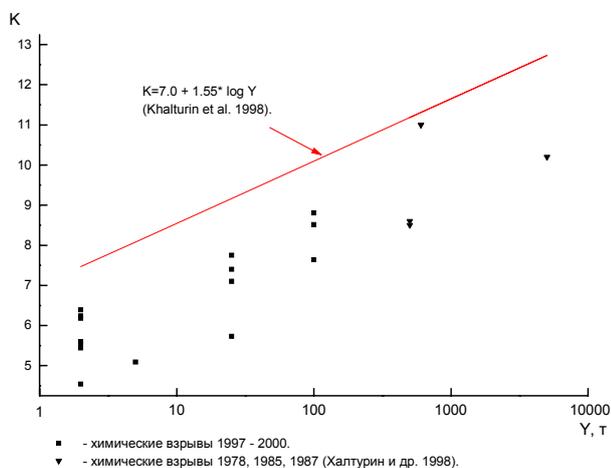


Рис. 1. Зависимость энергетического класса от мощности взрыва

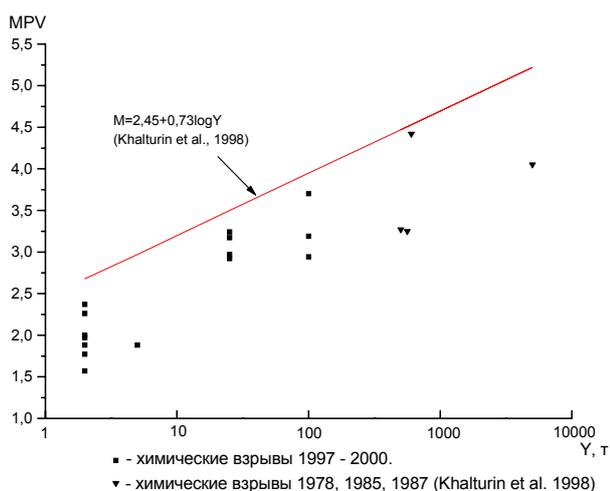


Рис. 2. Зависимость магнитуды MPV от мощности взрыва  $Y$

На рис.2 аналогичная зависимость построена для магнитуды MPV. Здесь ограничивающей является зависимость  $M = 2,45 + 0,73 \log Y$ , согласно [7]. Рис.2 подтверждает, что магнитуда всех исследуемых взрывов меньше, чем возможно при тех же массах зарядов.

Сопоставление сейсмических эффектов химических взрывов одной и той же мощности позволило выявить некоторые факторы, существенно влияющие на его значение. Наиболее интересным было сопоставление эффектов от трех калибровочных взрывов на массиве Дегелен – Омега 1, 2, 3. На рис. 3 приведен пример записей всех трех взрывов по трем компонентам, полученных сейсмической станцией Чкалово. Отчетливо видно, что наиболее интенсивные колебания наблюдались при взрыве Омега-1. Записи взрывов Омега-2 и Омега-3 отличаются значительно меньшей амплитудой колебаний, особенно это относится к последнему взрыву - Омега-3. Это отразилось и на энергетических параметрах событий. При первом взрыве энергетический класс составил 8,81, при последнем - 7,64. Магнитуда MPV первого взрыва - 3,7, последнего - 2,94.

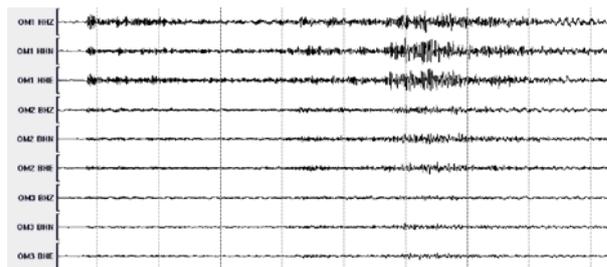
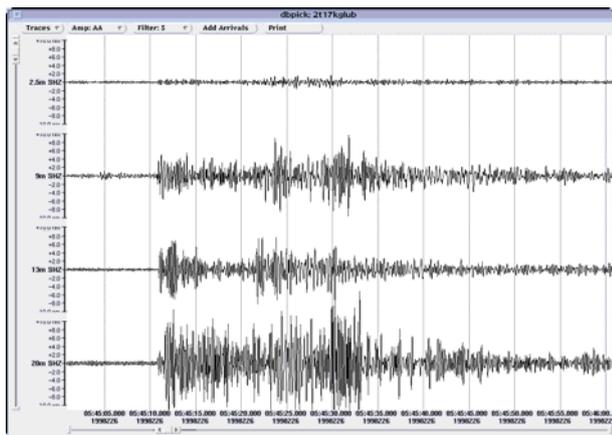


Рис. 3. Сейсмограммы станции Чкалово по трем калибровочным взрывам Омега –1 (3-х компонент - сверху), Омега –2 (3х- компонент - в середине), Омега –3(3-х компонент - внизу)

Факт снижения энергетических параметров взрывов был отмечен и Международной системой мониторинга. В 1998 г. взрыв Омега-1 был зарегистрирован десятью станциями и сейсмическими группами IMS. Значение магнитуды в каталоге REB, составленном в прототипе Международного центра данных PIDC,  $m_b = 3,8$ . Взрыв Омега-2 зарегистрирован только 5 станциями и группами, входящими в IMS. При этом было определено значение  $m_b = 3,7$ . Последний взрыв Омега-3 был зарегистрирован только одной станцией IMS и не попал в обработку Международного центра данных. Объяснением столь большой разницы в сейсмическом эффекте может быть существенное различие в свойствах горных пород в районе взрыва. Взрывы Омега-2 и Омега-3 были проведены практически в одном и том же месте. Горизонтальные штольни располагались одна над другой всего лишь в 5 метрах друг от друга. Единственной разницей являлось то, что взрыв Омега-3 был произведен в среде, предварительно разрушенной во время взрыва Омега-2. За счет тре-

щиватости массива значительная часть энергии была погашена и сейсмический эффект оказался ослабленным. Следовательно, условия в районе взрыва оказывают существенное влияние на сейсмический эффект.

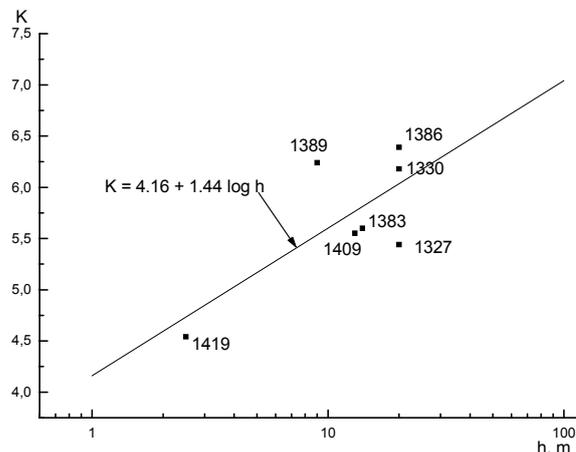
На рис 4 приведены сейсмограммы для четырех двухтонных взрывов, проведенных на площадке Балапан, зарегистрированные одной из станций сейсмической группы “Курчатов-крест” – KUR-17. Как показано в Табл.1, взрывы произведены в скважинах. При этом, глубина заложения заряда изменялась от 2,5 до 20 м.



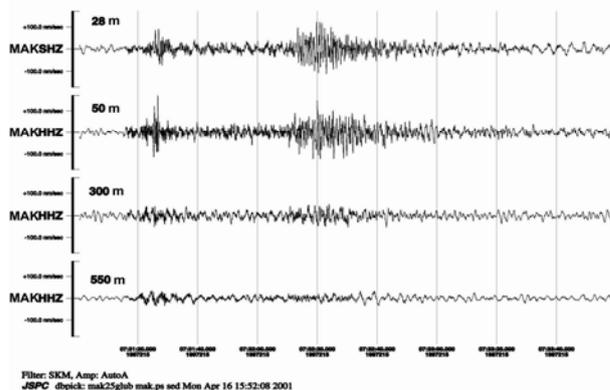
*Рис. 4. Сейсмограммы вертикальной компоненты, записанные станцией KUR-17, во время двухтонных взрывов на площадке Балапан*

Из рис.4 видно, что амплитуда записей взрывов, произведенных на различной глубине, различается значительно. Причем, наблюдается рост амплитуды сигналов с увеличением глубины заложения зарядов. Эта тенденция находит свое отражение и на другой зависимости - энергетического класса события как функции глубины заложения заряда (рис.5). Аппроксимация экспериментальных точек, несмотря на их большой разброс, позволила получить соотношение:  $K = 4,16 + 1,44 \log h$ . Однако при одинаковой массе взрывчатого вещества, равной 25-тоннам, с ростом глубины заложения заряда в интервале от 28 м до 550м, характер зависимости резко меняется. Максимальная интенсивность колебаний при одних и тех же расстояниях наблюдается при глубинах заложения зарядов 28 – 50м (рис.6, 7), затем она резко уменьшается и становится минимальной при наиболее глубоком заложении заряда. Отмеченная тенденция находит отражение и в другой построенной зависимости - энергетического класса от глубины заложения заряда для исследуемой мощности взрывов. На рис.8 приведены данные непосредственно для 25-тонных взрывов. Здесь же даны классы взрывов, соответствующие мощностям 2 тонны и 5 тонн, приведенные к мощности 25-тонн с помощью зависимости  $K$  от  $Y$  (рис.1). Полученная зависимость имеет экстремум в области глубины заложения заряда 20-50 м. Для этих глубин характерен

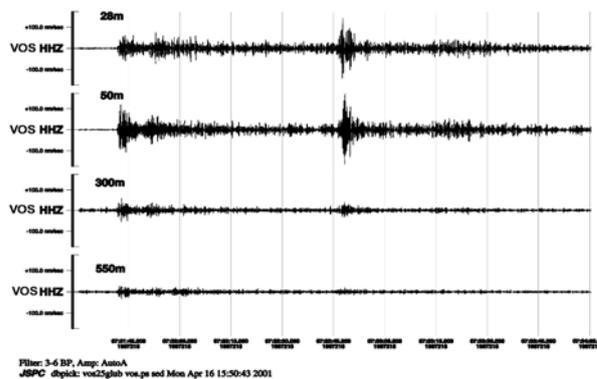
наибольший вклад энергии взрыва в ее сейсмическую часть, т.е. в генерацию сейсмических волн. Приведенная зависимость, по-видимому, не является универсальной, а отражает фактические данные именно для рассматриваемых скважинных химических взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне, поскольку техника проведения взрывов может быть различной.



*Рис. 5. Зависимость энергетического класса двухтонных взрывов от глубины заложения заряда*



*Рис. 6. Сейсмограммы вертикальной компоненты, записанные станцией Маканчи, для четырех 25-тонных взрывов*



*Рис. 7. Сейсмограммы вертикальной компоненты, записанные станцией Восточное, для четырех 25-тонных взрывов*

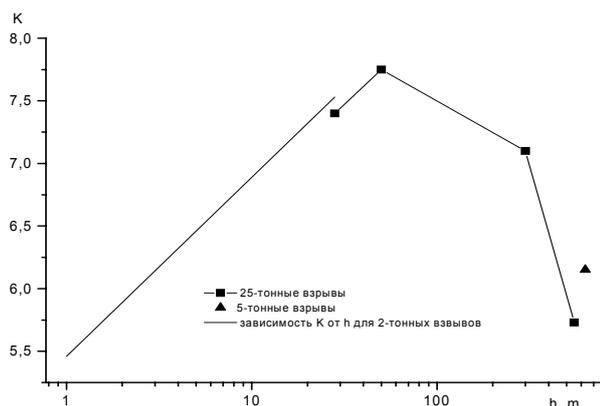


Рис.8. Зависимость энергетического класса события от глубины заложения заряда для 25-тонных взрывов (5-тонный и 2-тонные взрывы приведены к 25-тонным)

Таким образом, в результате использования шкалы энергетических классов и региональной магнитудной шкалы удалось провести классификацию калибровочных взрывов, выполненных в период 1997-2000 гг. на двух площадках Семипалатинского испытательного полигона по величине их сейсмического эффекта. Показано, что на значения энергетического класса и региональной магнитуды влияют различные факторы, в том числе наиболее существенно - мощность взрыва, глубина заложения заряда, характеристика окружающей среды в области взрыва, а также, по-видимому, механизм проведения взрывов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Veith K.F., Clawson G.E. Magnitude from shortperiod P-wave data.- BSSA, 1972, 62, №2.
2. Инструкция о порядке производства и наблюдений на сейсмических станциях единой системы сейсмических наблюдений СССР. М., ИФЗ АН СССР, 1982г. 269с.
3. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях 3000 км. // Труды ИФЗ АН СССР. №32 (199), 1964г. с.72-98.
4. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Калибровочная функция для определения магнитуды MPVA землетрясений Северного Тянь-Шаня. // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. Алма-Ата, Наука, 1986г.,с.41-47
5. Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня.(отв.сост. Неверова Н.И.) //Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. Москва, 2000г., с.214-220.
6. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П., Калмыкова Н.А. Энергетические и магнитудные характеристики землетрясений в практике сейсмологических наблюдений на Северном Тянь-Шане //Землетрясения Северной Евразии 1993 гю Москва, 1999г. с.60-64.
7. V.Khalturin, T.G. Rautian, P.G. Richards. The Seismic Signal Strength of Chemical Explosions. //BSSA, Vol.88, №6, December 1998.Pp 1511-1524.

### СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ 1997-2000 ж.ж. ХИМИЯЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖАЗБАЛАРЫ БОЙЫНША ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ МАГНИТУДАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН АНЫҚТАУ

Н.Н. Михайлова, Т.И. Германова, И.Л. Аристова

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты

Семей сынау полигонында 1997-2000 ж.ж. өткізілген 15 химиялық жарылысқа энергетикалық  $K$  класстың және  $MPV$  магнитудасының мәні анықталған. Жарылыстардың қуаты бірдей болғанымен, энергетикалық сипаттамалары оқтамның терендігіне, жарылыс аумағындағы ортаның күйіне және өзге факторларға байланысты едәуір түрленетіні анықталды.

### ESTIMATION OF ENERGY AND MAGNITUDE CHARACTERISTICS BASING ON THE SEISMIC RECORDS OF CHEMICAL EXPLOSIONS OF 1997-2000 DETONATED ON THE FORMER SEMIPALATINSK TEST SITE

N.N. Mikhailova, T.I. Germanova, I.L. Aristova

Institute of Geophysical Research NNC RK

The values of Energy class  $K$  and  $MPV$  magnitude were calculated for 15 chemical explosions conducted in 1997 – 2000 on the former Semipalatinsk Test Site. It was estimated that at one and the same yield energy characteristics can vary significantly depending on the depth of burial, medium around the explosion and other factors.

УДК [621.039.9+550.348]: 007(511)

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЕЙСМИЧЕСКОМУ РАСПОЗНАВАНИЮ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПОЛИГОНАХ ИНДИИ И ПАКИСТАНА

<sup>1)</sup>Копничев Ю.Ф., <sup>1)</sup>Шепелев О.М., <sup>2)</sup>Соколова И.Н.

<sup>1)</sup>Комплексная сейсмологическая экспедиция ОИФЗ РАН, г. Талгар

<sup>2)</sup>Институт геофизических исследований ИЯЦ РК, г. Курчатов

По данным сейсмической станции Талгар, расположенной в Северном Тянь-Шане, изучена структура короткопериодных сейсмических полей подземных ядерных взрывов, произведенных на полигонах Похаран и Чагай, а так же землетрясений с эпицентрами, близкими к этим полигонам. Рассмотрены записи 37 событий, имеющих магнитуды 4.1-5.9, на эпицентральных расстояниях 1600-2290 км от станции. Анализировались отношения амплитуд различных фаз продольных и поперечных волн при узкополосных фильтрах с центральными частотами 0.3, 0.6, 1.25, 2.5 Гц. Определены параметры, обеспечивающие наиболее эффективное разделение взрывов и землетрясений для каждого из двух полигонов.

### ВВЕДЕНИЕ

Интерес к решению задач распознавания сейсмических событий в Индии и Пакистане очень велик, так как эти регионы еще мало изучены. Сейсмическая станция Талгар является одной из немногих станций в мире, расположенных на региональных расстояниях относительно испытательных полигонов Индии, Пакистана и Китая, одновременно. При таких расстояниях на динамических характеристиках регулярных сейсмических волн сильно отражаются неоднородности поля поглощения в литосфере и астеносфере. На наш взгляд недостаточно использовать корректирующие параметры, зависящие только от расстояния. Поэтому для более корректного решения задач распознавания необходимо сопоставлять записи взрывов и землетрясений из сравнительно небольших районов. С целью получения представительной выборки данных авторами использованы записи сейсмического архива КСЭ, накопленные за длительный срок наблюдений. Для того чтобы исключить эффекты, связанные с различием частотных характеристик регистрирующих приборов, при обработке записей, полученных разнородной аппаратурой, применялась узкополосная частотная фильтрация.

Ниже описываются результаты исследований по распознаванию ядерных взрывов на полигонах Похаран, расположенном в западной части Индии, Чагай, расположенном на юго-западе Пакистана, и близких к ним землетрясений. В отличие от некоторых публикаций последних лет [4, 14, 15], в статье использованы данные по взрывам и землетрясениям за значительно более длительный период времени (1973-1999 г.г.), рассмотрены как отношения основных сейсмических фаз к  $P_n$ , так и отношения этих фаз к  $P$ , для исследований использовались события только из сравнительно небольших районов Азии, в пределах которых находятся полигоны.

### СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для исследований использовались записи, полученные на станции Талгар (TLG) Комплексной сейсмологической экспедиции Объединенного института физики Земли РАН. Координаты станции Талгар (TLG) - 43.249° северной широты и 77.223° восточной долготы, высота над уровнем моря - 1120 м. На рис. 1. приведено расположение эпицентров исследуемых событий. Это - два района, прилегающих соответственно к испытательным полигонам в Индии и Пакистане.

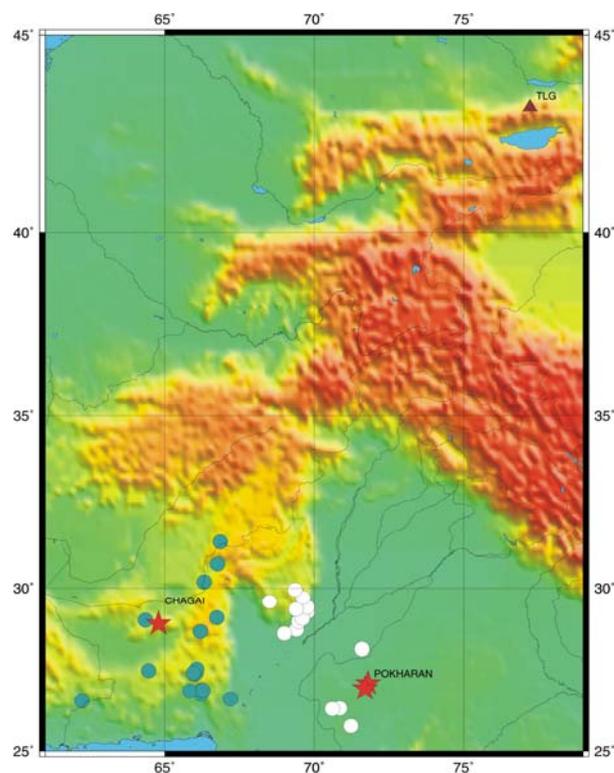


Рис. 1. Расположение сейсмических станций и эпицентров сейсмических событий

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЕЙСМИЧЕСКОМУ РАСПОЗНАВАНИЮ ПОДЗЕМНЫХ  
ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПОЛИГОНАХ ИНДИИ И ПАКИСТАНА**

*Табл. 1. Параметры событий из района испытательного полигона Похаран*

Дата	Время	Широта	Долгота	Глубина, км	Тип	mб
11/15/1973	17:10:22.2	29.261	69.773	33	землетрясение	5.1
2/09/1974	4:07:37.7	28.729	69.405	33	землетрясение	4.9
5/18/1974	2:34:55.3	26.949	71.704	0	ПЯВ	5.0
12/30/1977	23:22:39.3	28.972	69.480	17	землетрясение	4.8
1/02/1978	23:49:55.2	29.069	69.611	32	землетрясение	4.6
5/19/1985	1:29:07.5	29.345	69.393	33	землетрясение	4.7
11/03/1985	19:41:08.2	25.788	71.236	33	землетрясение	4.8
11/08/1991	15:13:44.1	26.323	70.607	22	землетрясение	5.6
11/20/1991	12:10:31.6	26.335	70.861	19	землетрясение	4.5
4/04/1995	15:29:52.6	28.148	71.604	21	землетрясение	4.8
6/16/1995	21:11:08.4	29.419	69.292	33	землетрясение	4.1
7/11/1995	23:45:44.0	29.704	69.625	23	землетрясение	4.6
6/21/1996	00:32:52.4	28.612	68.999	33	землетрясение	4.8
3/03/1997	2:28:33.2	29.578	68.511	33	землетрясение	4.7
5/11/1998	10:13:41.7	27.105	71.802	0	ПЯВ	5.2
6/26/1998	1:23:52.6	29.949	69.359	33	землетрясение	4.9
6/26/1999	21:54:10.9	30.098	69.444	33	землетрясение	5.3
6/29/1999	00:57:56.9	30.01	69.372	33	землетрясение	4.9
7/12/1999	03:42:16.9	30.069	69.419	33	землетрясение	5.4

*Табл. 2. Параметры событий из района испытательного полигона Чагай*

Дата	Время	Широта	Долгота	Глубина, км	тип	mб
4/28/1980	7:04:41.7	27.492	64.462	34	землетрясение	5.4
10/02/1984	2:23:43.7	26.782	66.205	33	землетрясение	4.8
10/02/1984	3:19:40.2	26.889	66.209	7	землетрясение	5.2
8/08/1991	11:12:38.4	26.879	65.848	53	землетрясение	5.3
9/15/1991	2:12:24.9	30.724	66.763	26	землетрясение	4.6
1/20/1992	8:58:22.5	27.398	65.994	27	землетрясение	5.2
1/21/1992	22:07:58.9	26.632	67.198	26	землетрясение	5.4
2/05/1992	23:41:36.8	31.365	66.858	33	землетрясение	5.0
3/09/1992	16:59:28.6	27.424	66.044	19	землетрясение	4.9
4/24/1992	7:07:23.9	27.55	66.065	25	землетрясение	5.9
7/14/1992	4:24:28.2	30.181	66.32	33	землетрясение	4.6
8/23/1992	21:32:48.7	27.43	65.956	33	землетрясение	4.6
8/28/1992	0:50:50.4	29.087	66.74	9	землетрясение	5.5
9/18/1992	23:52:35.7	28.669	66.193	24	землетрясение	4.9
6/25/1997	7:13:13.2	26.897	66.276	33	землетрясение	4.7
1/05/1998	16:58:35.2	29.013	64.352	19	землетрясение	4.9
5/28/1998	10:16:15.2	28.902	64.789	0	ПЯВ	4.8
5/28/1998	20:32:46.5	26.576	62.23	47	землетрясение	4.7

Примечание: ПЯВ - подземный ядерный взрыв.

Применительно к Индийскому испытательному полигону рассматривался район, ограниченный координатами 25.5°-30.5° северной широты и 68.8°-71.8° восточной долготы. Было обработано 19 записей событий с эпицентрными расстояниями от 1600 до 2000 км и магнитудами mб от 4.1 до 5.4. Также было обработано 18 записей событий из района, прилегающего к Пакистанскому испытательному полигону и ограниченного координатами 26.5°-31.5° северной широты и 62.2°-67.2° восточной долготы. Диапазон магнитуд mб – 4.1-5.9. Диапазон эпицентральных расстояний – 1670-2290 км. Параметры обработанных событий приведены в табл. 1 и 2.

В настоящей работе использовались данные, полученные аппаратурой разных типов:

- СКМ-3 с полосой пропускания - 0.5-9 Гц [1];
- аппаратура ЧИСС, имеющая несколько каналов в частотном диапазоне 0.022-45 Гц [3];
- сейсмометры СМГ-3 с полосой пропускания 0.03-80 Гц [2].

Таким образом, использование разнородных данных позволило охватить достаточно большой период времени (с 1973 года по 1999).

### МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Методика обработки данных, использованная в данной работе, в целом аналогична методике, описанной в [5]. Использовались фильтры с центральными частотами 0.3 Гц, 0.6 Гц, 1.25 Гц и 2.5 Гц, фильтр с центральной частотой 5 Гц не использовался. Измерялись максимальные амплитуды в волнах P, Pn, Sn, S, Sm, Lg, а также в коде Lg. Времена вступления фаз Pn, Sn, S, Lg определялись по годографу КСЭ [9]. Sm – условное обозначение волны, приходящей после вступления Sn до вступления Lg и имеющей максимальную амплитуду в этом временном интервале. Если амплитуда Sn превышала все амплитуды в этом интервале, то считалось, что Sm совпадает с Sn. Время вступления волны Sm для разных компонент определялось независимо, то есть фактически на каждой компоненте определялись различные волны, условно названные Sm. В коде Lg измерения проводились в интервалах времени  $600 \pm \Delta t$ , где величины  $\Delta t$  были равны 10 с для частот 0.3, 0.6 и 1.25 Гц и 5 с для частоты 2.5 Гц (время t отсчитывается от начала излучения в очаге). Эта фаза обозначалась с600. Волновая фаза Pn опреде-

лялась как первое видимое вступление, что соответствует годографу. Фаза P обозначена условно. Время ее вступления определялось в частотных диапазонах с центральными частотами 1.25 Гц и 2.5 Гц как волнового цуга, вступающего через 3-5 с после Pn. Амплитуда Pn определялась как максимум во временном интервале от начала вступления Pn до вступления P. Амплитуда P замерялась во временном окне около 5 с. от начала вступления фазы. В тех случаях, когда волновые фазы не выделялись или выделялись очень слабо, замеры амплитуды соответствующей волны не проводились.

Для анализа были использованы логарифмы отношения амплитуд Sn, S, Sm, Lg и с600 к амплитудам Pn и P, измеренным на той же компоненте (вертикальной или горизонтальной). Так как на записях ЧИСС была представлена только вертикальная компонента, то замеры на горизонтальных компонентах использовались как вспомогательная информация. Для распознавания событий рассматривались следующие характеристики логарифмов амплитудных отношений: средние выборочные значения для взрывов и землетрясений; дисперсии по выборке; коэффициент качества разделения; пороговое значение, при котором происходит разделение взрывов и землетрясений; ошибки типа «ложная тревога» и «пропуск цели» [5].

#### АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

**Индийский испытательный полигон.** Было обработано 19 записей событий с эпицентрными расстояниями от 1600 до 2000 км, из них 17 записей землетрясений и 2 записи ядерных испытаний (18 мая 1974 г. и 11 мая 1998г.). Ядерное испытание 13 мая 1998 г., заявленное индийским правительством, обна-

ружить не удалось, несмотря на то, что были просмотрены сейсмограммы за 24 часа (по 12 часов до и после заявленного времени). Это не удалось сделать и некоторым другим исследователям [12,17].

По описанной выше методике проводились измерения по всем перечисленным волновым фазам: P, Pn, S, Sn, Sm, Lg и с600 - Рис.2. На количество замеров существенно повлияло отношение сигнал/шум в рассматриваемых частотных диапазонах. В диапазоне с центральной частотой 0.6 Гц было обработано 18 событий, в диапазоне с центральной частотой 1.25 Гц – 19 событий, в диапазоне с центральной частотой 2.5 Гц – 9 событий. Во всех трех частотных диапазонах наблюдается безошибочное разделение подземных ядерных взрывов и землетрясений для параметров S/P, Sn/P, Sm/P и Lg/P, измеренных на вертикальной компоненте. Наиболее высокие коэффициенты качества разделения оказались в частотном диапазоне около 2.5 Гц. Самым эффективным параметром в этом частотном диапазоне оказался параметр Sm/P, коэффициент качества разделения для него равен 4.95. Однако на частоте 2.5 Гц существенное влияние оказывает уровень шумов, что ограничивает количество пригодных для изучения записей. Более оптимальным является частотный диапазон около 0.6 Гц. Для параметра Sm/P коэффициент качества разделения на этой частоте равен 3.14. Для параметра Sn/P этот коэффициент выше, но волновую фазу Sn часто не удается выделить. Параметры S/Pn, Sn/Pn, Sm/Pn, Lg/Pn и с600/Pn оказались неэффективными во всех рассмотренных частотных диапазонах. Данные по эффективности распознавания приведены в табл. 3 и на рис. 3.

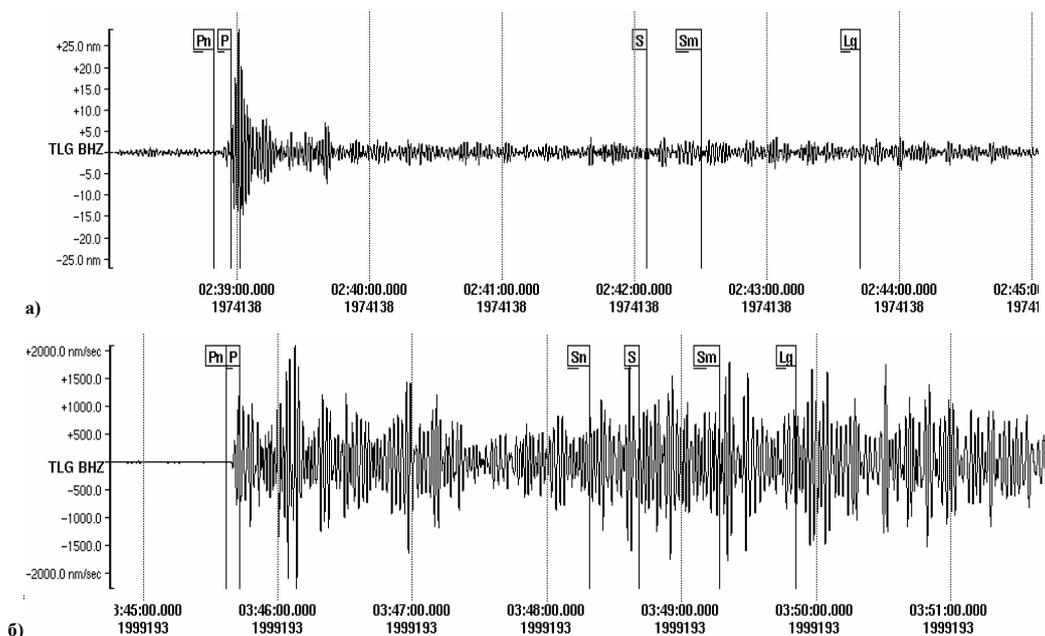


Рис. 2 Сейсмограммы подземного ядерного взрыва на полигоне Похаран 18 мая 1974 г.,  $\Delta = 1875$  км (а) и землетрясения 12 июля 1999 г.,  $\Delta = 1620$  км (б). Станция TLG, фильтр с центральной частотой 0.6 Гц

Табл. 3. Ошибки распознавания событий из района полигона Похаран. Станция TLG, канал Z

Фильтр, Гц	Параметр	S/P	Sn/P	Sm/P	Lg/P	c600/P	S/Pn	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c600/Pn
0.6	Пороговое значение	-0.568	-0.735	-0.480	-0.480	-0.685	-0.202	-0.286	-0.1101	-0.0249	-0.4028
	пропуск цели	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	1.000	0.5	0.5	0.5
	ложная тревога	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.667	1.000	0.5	0.5	0.5
1.25	Пороговое значение	-0.827	-0.926	-0.763	-0.908	-1.267	-0.351	-0.535	-0.2563	-0.4438	-0.9986
	пропуск цели	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333	0.000	0	0.5	0
	ложная тревога	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0	0.6667	0
2.5	Пороговое значение	-0.906	-0.804	-0.906	-0.984	-	-0.344	-0.326	-0.3444	-0.4408	-
	пропуск цели	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.167	0.000	0.5	0.5	-
	ложная тревога	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.444	0.000	0.6667	0.5	-

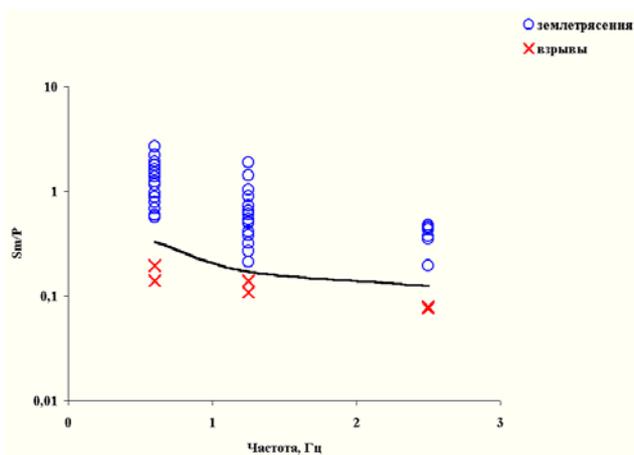


Рис. 3. Распределение отношений Sm/P для взрывов и землетрясений из района испытательного полигона Похаран. Станция Талгар, канал Z

Пакистанский испытательный полигон. Было обработано 18 записей событий с эпицентрными расстояниями от 1670 до 2290 км, в том числе запись подземного ядерного взрыва 28 мая 1998г. Сигнал от испытания 30 мая 1998 г. на сейсмограмме обработать не удалось из-за наложения сигнала от предше-

ствовавшего ему сильного землетрясения в Афганистане (30 мая 1998 г. 06:22, Mb = 5.9) [8,17].

Проводились измерения по всем перечисленным волновым фазам: P, Pn, S, Sn, Sm, Lg и c600 (рис.4). В диапазоне с центральной частотой 0.3 Гц было обработано 15 записей, в диапазоне с центральной частотой 0.6 Гц – 17 записей, в диапазоне с центральной частотой 1.25 Гц – 15 записей. Использование отношений типа X/Pn во всех частотных диапазонах оказалось менее эффективным, чем использование отношений типа X/P. Для параметров S/P, Sn/P, Sm/P, Lg/P и c600/P, замеренных на вертикальной компоненте, наилучшее выделение взрыва наблюдается в диапазоне частот около 1.25 Гц. В диапазоне около 0.6 Гц для этих параметров, кроме S/P, разделение также достаточно эффективное. Однако в диапазоне частот около 0.3 Гц для тех же параметров не наблюдается никакого разделения (рис.5). Самым эффективным оказался параметр Sm/P, замеряемый на вертикальной компоненте в диапазоне частот около 1.25 Гц. Коэффициент качества разделения для этого параметра равен 3.4. Данные по эффективности распознавания приведены в табл. 4 и на рис.5.

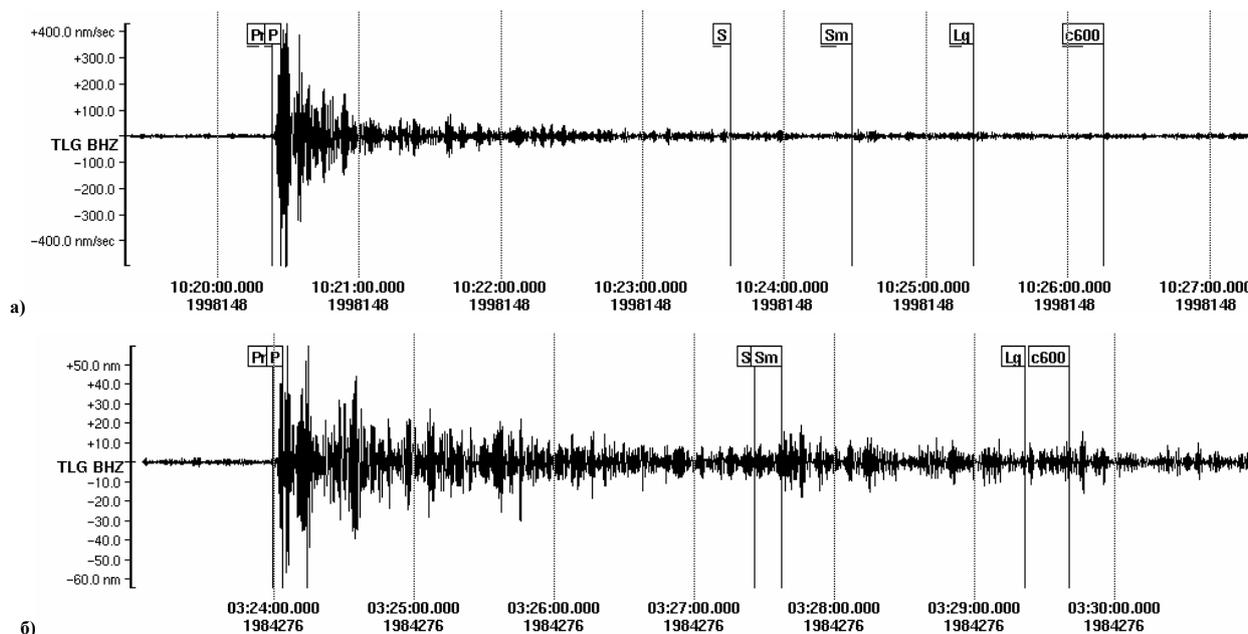


Рис. 4. Сейсмограммы подземного ядерного взрыва на полигоне Чагай 28 мая 1998 г.,  $\Delta = 1940$  км (а) и землетрясения 2 октября 1984 г.,  $\Delta = 2070$  км(б). Станция TLG, фильтр с центральной частотой 1.25 Гц

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЕЙСМИЧЕСКОМУ РАСПОЗНАВАНИЮ ПОДЗЕМНЫХ  
ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПОЛИГОНАХ ИНДИИ И ПАКИСТАНА**

Табл. 4. Ошибки распознавания событий из района испытательного полигона Чагай. Станция TLG, канал Z

Фильтр, Гц	Параметр	S/P	Sm/P	Lg/P	c600/P	S/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c600/Pn
0.3	Пороговое значение	-0.015	0.055	-0.234	-0.193	-	-	-	-
	пропуск цели	0.500	1.000	1.000	0.000	-	-	-	-
	ложная тревога	0.750	1.000	1.000	0.000	-	-	-	-
0.6	Пороговое значение	-0.973	-0.905	-1.071	-1.215	-0.798	-0.798	-0.735	-1.174
	пропуск цели	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000
	ложная тревога	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	1.000
1.25	Пороговое значение	-1.239	-1.140	-1.276	-1.353	-1.040	-1.062	-1.277	-1.314
	пропуск цели	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
	ложная тревога	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000

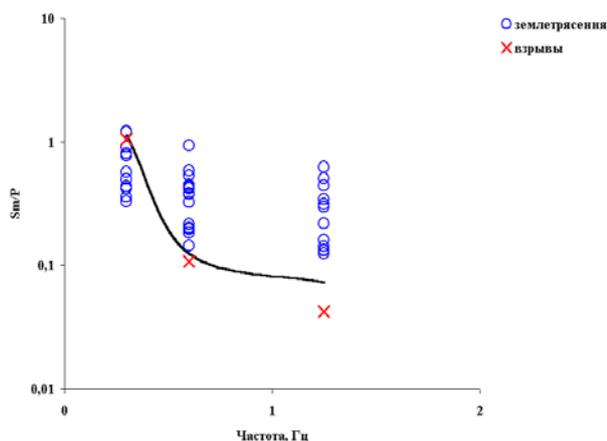


Рис. 5. Распределение отношений Sm/P для взрывов и землетрясений из района испытательного полигона Чагай. Станция Талгар, канал Z

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

В целом авторы придерживались методики, описанной ранее [5]. Однако в данной работе существенная роль была отведена использованию двух фаз, характеризующих продольные волны: Pn и P. Использование фазы Pn показало, как правило, ее низкую эффективность для распознавания событий как в районе полигона Чагай, так и полигона Похаран. В то же время, параметры типа X/P оказались значительно лучше, чем параметры X/Pn, по величине

коэффициента качества разделения и количеству ошибок (Табл. 3 - 4). Так, для полигона Похаран наиболее эффективный параметр типа X/Pn - Sm/Pn, в диапазоне 1.25 Гц имеет величину коэффициента качества разделения 1.2, а параметр Sm/P в частотном диапазоне 2.5 Гц имеет значение 4.95. Аналогичная картина наблюдается и для полигона Чагай.

Самым эффективным для распознавания событий на обоих полигонах оказался параметр Sm/P, замеренный на вертикальной компоненте. Полученный результат хорошо согласуется с данными, полученными ранее для полигона Лобнор [5,6,7,10], где использование волновой фазы Sm, замеренной на вертикальной компоненте, также показало её высокую эффективность. Частотные диапазоны, наилучшие в смысле распознавания, также хорошо согласуются для всех трех полигонов. Коэффициенты качества разделения увеличиваются при приближении к диапазону с центральной частотой 5 Гц. Однако в этом диапазоне не всегда удается провести замеры из-за влияния эпицентральных расстояний и частотных характеристик аппаратуры. Согласованность результатов позволяет продолжать исследования по систематизации критериев распознавания подземных ядерных взрывов для других полигонов Центральной и Южной Азии с целью создания методики обнаружения ядерных испытаний в реальном времени.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Аранович З.И., Кирнос Д.П., Токмаков В.А. и др. Основные типы сейсмометрических приборов. // Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974, с. 43-117.
2. Беляшова Н.Н., Малахова М.Н. Сейсмологическая сеть национального ядерного центра Республики Казахстан как составная часть международной системы мониторинга ядерных испытаний. // Вестник НЯЦ РК Геофизика и проблемы нераспространения. Курчатов, 2000, с. 13-16.
3. Запольский К.К. Частотно-избирательные сейсмические станции ЧИСС. // Экспериментальная сейсмология. М.: Наука, 1971, с. 20-36.
4. Кедров О.К., Люкз Е.И. Распознавание ядерных взрывов и землетрясений в Евразии по сейсмическим данным на региональных расстояниях. // Физика Земли. 1999, № 9, с. 52-75.
5. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Распознавание ядерных взрывов и землетрясений на региональных расстояниях для полигона Лобнор. Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, вып.2, 2000, с.65-77
6. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов на полигоне Лобнор. Мониторинг ядерных испытаний и их последствий. Тезисы докладов. Международная конференция. 21-25 августа 2000 г. Боровое. Казахстан. С.27.
7. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов на индийском полигоне Похаран. Мониторинг ядерных испытаний и их последствий. Тезисы докладов. Международная конференция, Боровое. Казахстан. с.26.

8. Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И. Индийский и Пакистанский подземные ядерные взрывы 1998 г. по данным Казахской сейсмической сети наблюдений. Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, вып.2, 2000, с. 53-64.
9. Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра. // В кн. Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР. Наука, Москва, 1964, с.63-87.
10. Шепелев О.М., Соколова И.Н. Методика идентификации подземных ядерных взрывов из района полигона Лобнор по Казахстанским сейсмическим станциям. Международный семинар "Технологии ядерной энергетики.", Астана, 2000, с.102.
11. Bernard M., Reiter D., Rieven S., et al. Development of a 3-D model for improved seismic event location in the Pakistan/India region. // 21<sup>st</sup> Seismic Research Symposium, Las Vegas, 1999, 374-382.
12. Canty M. J., Schlittenhardt J., Satellite data Used to Locate Site of 1998 Indian Nuclear Test. EOS, 2001, v. 82, N3.
13. Gupta, V., and F. Pabian, Investigating allegations of Indian nuclear test preparations in the Rajasthan Desert, 1996.
14. Fisk M., Bootone S., et al. Event characterization using regional seismic data. // 21<sup>st</sup> Seismic Research Symposium, Las Vegas, 1999, 427-437.
15. Murphy J., Sultanov J., et al. Application of Soviet PNE data to the improvement of seismic monitoring capability. // 21<sup>st</sup> Seismic Research Symposium, Las Vegas, 1999, 534-541.
16. Rogers A.J., Lay T., Walter W.R. and Mayeda K.M. A comparison of regional phase amplitude ratio measurement techniques. // Bull. Seism. Soc. Amer., 1997, Vol. 87, № 6.
17. Wallace, T.C., The May 1998 India and Pakistan nuclear tests, Seism. Res. Lett., 69, 386-393, 1998.

**ИНДИЯ МЕН ПАКИСТАН ПОЛИГОНДАРЫНДА ЖЕР СІЛКІНІСІ МЕН ЖЕР АСТЫНДАҒЫ  
ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ АЙЫРЫП ТАҢУЫ БОЙЫНША ЗЕРТТЕУЛЕР**

<sup>1</sup>Ю.Ф. Копничев <sup>1</sup>О.М. Шепелев, <sup>2</sup>И.Н. Соколова

<sup>1</sup>РҒА ЖФБИ Кешенді сейсмологиялық экспедициясы

<sup>2</sup>ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты

Солтүстік Тянь-Шаньда орналасқан Талғар сейсмикалық станциясының деректері бойынша Похаран және Чагай полигондарында өткізілген жер астындағы ядролық жарылыстардың, сондай-ақ эпиорталықтары осы полигондарға жақын жер сілкіністердің қысқапериодты сейсмикалық өрістердің құрылымы зерттеліп білінген. Станциядан 1600-2290 км. эпиорталықтық қашықтықтағы, 4,1-5,9 магнитудасымен 37 оқиғалардың жазбасы қаралған. 0,3; 0,6; 1,25; 2,5 Гц. орталықтық жиіліктерімен таржолалы сүзгіде кума және көлденең толқындардың әр түрлі фазалардың амплитудаларының қатынасы талданған. Екі полигонның әрқайсысына жарылыстар мен жер сілкіністерді тиімді айыруын қамтамасыз ететін параметрлері анықталды.

**A STUDY OF SEISMIC DISCRIMINATION BETWEEN UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS  
AND EARTHQUAKES AT INDIAN AND PAKISTAN TEST SITES**

<sup>1</sup>Yu.F. Kopnichev, <sup>1</sup>O.M. Shepelev., <sup>2</sup>I.N. Sokolova

<sup>1</sup>Complex Seismological Expedition of the Joint Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Talgar

<sup>2</sup>Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

Using data from Talgar seismic station located in the Northern Tien-Shan, we have studied the structure of short-period seismic fields for underground nuclear explosions (conducted at Pokharan and Chagai Hills test sites) and earthquakes with epicenters close to these test sites. The records of 37 seismic events with the magnitudes between 4.1 and 5.9 and epicenters 1600–2290 km away from the station have been studied. Amplitude ratios have been analyzed for different phases of longitudinal and shear waves and narrow-band filters with the central frequencies of 0.3, 0.6, 1.25, and 2.5 Hz. The optimal parameters have been determined for each test site, thus allowing the most effective discrimination between explosions and earthquakes.

УДК [550.348+621.039.9]:007(511)

## РАСПОЗНАВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА ПОЛИГОНЕ ЛОБНОР

Антонова Л.В., Аптикаев Ф.Ф.

*Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии наук, г. Москва*

Оценивается эффективность распознавания землетрясений и ПЯВ на полигоне Лобнор с использованием различных критериев по записям, полученным двумя сейсмическими группами станций - Талгарской и Зерендинской.

Рассматриваются взрывы на полигоне Лобнор, зарегистрированные двумя компактными группами сейсмических станций. Землетрясения также выбраны из районов, примыкающих к полигону. Поправки вводились только за магнитуду и расстояние, рельеф и внутреннее строение среды на трассе очаг - пункт наблюдения не учитывались.

Основными характеристиками взрывов и землетрясений считаются величины, полученные в ISC (дата, координаты, магнитуда  $MB$ ). Рассматривались записи землетрясений с эпицентрами на территории, примыкающей к испытательному полигону. Эта территория ограничена параллелями  $38^\circ$  и  $44.2^\circ$  северной широты и меридианами  $83^\circ$  и  $91.1^\circ$  восточной долготы. Нами использовано 107 записей землетрясений с магнитудой  $4.4 \leq MB \leq 6.1$  и 21 запись подземных ядерных взрывов (ПЯВ) с магнитудой  $4.5 \leq MB \leq 6.2$ .

В основном использовались сейсмограммы, полученные на двух постоянно действующих станциях Талгар и Зеренда, расположенных от полигона Лобнор на расстояниях около 950 км и 1950 км, соответственно. Обработка материалов этих станций производилась отдельно. Совместно с записями станции Талгар обработано несколько землетрясений, записанных северо-тянь-шаньскими станциями Курменты, Чарын, Орто-Мерке, Чилик, работавшими в разное время с 1964 по 1969 гг. В дальнейшем будем называть эту группу станций Талгарской. Совместно с записями станции Зеренда обработано несколько записей землетрясений и взрывов, зарегистрированных станциями Боровое, Макинка, Восточное, Чкалово, расположенными, как и Зеренда, в пределах Кокчетавского кристаллического массива. Сюда же отнесены станции Комплексной сейсмологической экспедиции Объединенного института физики Земли РАН, организованные в рамках Советско-Американского проекта: Карасу, Каркаралинск, Баянаул.

Анализ распределения взрывов по магнитуде и расстоянию показывает, что на полигоне имеются, по крайней мере, две площадки, на более далекой из которых производились более мощные взрывы. Все записи получены на короткопериодной широкополосной трехкомпонентной аппаратуре типа СКМ-3 с настройкой маятника на период  $T_0 = 1.5$  с. Максимальное увеличение каналов в разное время для

станций Талгарской группы составляло 40-80 тысяч. Для станций Зерендинской группы увеличение каналов изменялось в пределах 120-240 тысяч. Используемая аппаратура обладала ограниченным динамическим диапазоном, вследствие чего записи сильных взрывов и землетрясений по большей части оказались нечитаемыми.

Измерялись максимальные амплитуды и соответствующие им периоды, а также время наступления максимума  $t_{\text{rise}} = t_{\text{max}} - t_1$  в продольных волнах  $Pn$  и  $Pg$  на вертикальной компоненте. Измерения в волнах  $S$ ,  $Lx$ ,  $Lg$ ,  $LQ$ ,  $LR$  проводились на записях как вертикальной, так и горизонтальной компонент.

Выяснилась довольно сложная волновая картина на региональных (до 2500 км) расстояниях, что в некоторых случаях не позволяло надежно идентифицировать вступления различных типов волн. В таких случаях для необходимых измерений выбирались участки записи, соответствующие годографу. Для уменьшения погрешности объединялись оценки однотипных волн. Например, наряду с амплитудами волн типа  $Pn$  и  $Pg$  широко использовалось понятие "максимальной амплитуды" в группе продольных волн различного типа. На расстояниях свыше 1000 км были формально определены продольные волны типа  $1P$  и  $2P$ . Символом  $1P$  обозначены волны с кажущимися скоростями, превышающими скорость волн  $Pg$ . На расстояниях свыше 1000 км - это, обычно, волны типа  $Pn$ , реже  $Pg$ . Символом  $2P$  обозначены волны, кажущиеся скорости которых меньше, чем у волн  $Pg$ , и больше, чем у волн  $S$ . Годограф волн  $2P$  проходит примерно посередине временного интервала между годографами волн  $Pg$  и  $Sn$ . Строго говоря, в волнах  $1P$  и  $2P$  могут присутствовать волны самого различного генезиса, включая обменные и интерференционные. Как правило, максимальные амплитуды наблюдались в группе волн  $1P$ . Столь же условно - выделение волн типа  $Lx$ , предшествующих волнам  $Lg$ . Кажущиеся скорости волн  $Lx$  меньше, чем у волн  $S$  и больше, у волн  $Lg$ .

Основными измеряемыми параметрами были логарифмы отношения амплитуд различных волн. Для простоты эти отношения обозначены символом  $LgH/P_{\text{max}}$  - логарифм отношения максимальной амплитуды волны  $Lg$ , зарегистрированной на горизонтальной компоненте, к максимальной амплитуде волн  $P$ . Измерялись также логарифмы периодов колебаний

в различных волнах и времена нарастания амплитуд (от вступления до максимальной амплитуды).

На первой стадии обработки исходных данных искалась зависимость каждого параметра  $X$  от магнитуды  $MB$  и логарифма расстояния  $lgR$  для землетрясений:

$$X = a MB + b lgR + C.$$

Зависимость параметров от магнитуды и расстояния для взрывов, с точностью до постоянной, принималась такой же, как для землетрясений. Заметим, что для многих рассмотренных параметров вообще не обнаружена зависимость от магнитуды и расстояний (в рассматриваемых диапазонах). Это облегчает применение критериев в тех случаях, когда расстояние и, следовательно, магнитуда зарегистрированного сейсмического источника были не известны.

На второй стадии обработки на основании полученных зависимостей наблюдаемые значения параметров  $X$  для землетрясений и взрывов приводились к условиям  $MB = 5.0, R = 950 \text{ km}$  - для станций Талгарской группы и  $MB = 5.0, R = 1950 \text{ km}$  - для станций Зерендинской группы. Затем проверялось распределение приведенных к стандартным условиям значений параметра  $X$  на соответствие нормальному (Гауссовому) закону. Оказалось, что все рассмотренные величины достаточно хорошо аппроксимируются нормальным законом. Таким образом, распределение каждого параметра  $X$  характеризуется средним значением и величиной стандартного отклонения. Если распределения значений  $X$  для землетрясений и взрывов существенным образом различаются, эта величина может служить критерием для определения типа сейсмического источника. В качестве примера на нижеприведенном рисунке показаны соответствующие распределения, полученные для станции Зеренда.

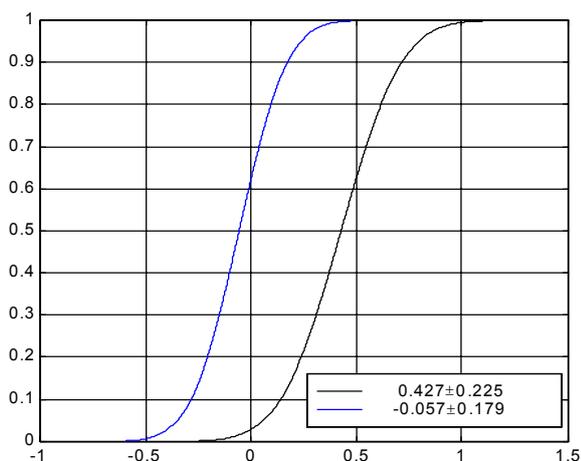


Рис. Интегральные распределения логарифма отношения амплитуды волны Релея к максимальной амплитуде в группе продольных волн. Станция Зеренда. Вертикальная компонента канала СКМ-3. Черная линия – землетрясения, синяя – подземные ядерные взрывы.

Для удобства путем перемены местами числителя и знаменателя можно определять параметр (критерий)  $X$  таким образом, чтобы среднее значение критерия для землетрясений было больше, чем для взрывов. Для каждого критерия вычислялось теоретическое пороговое значение  $X(5\%)$ , при котором пропускается 5% взрывов (ошибка типа "пропуск цели"). Соответственно пороговому значению  $X(5\%)$  определялась и доля  $Y(5\%)$  землетрясений, которые могут быть приняты за взрывы (ошибка типа "ложная тревога"). Кроме того, в выборке экспериментальных данных оценивалось максимальное значение критерия для взрывов, т.е. порог  $X(0\%)$ , при котором не пропускается ни один взрыв. Определялась и доля ложных тревог  $Y(0\%)$ . Незначительная несогласованность теоретических и экспериментальных оценок, связанная с ограниченностью выборки данных по взрывам, а также отклонениями распределения параметров от нормального, может служить мерой точности полученных результатов.

В процессе исследований анализировались следующие параметры (символ логарифмирования опущен):  $Pg/Pn, LgH/Pmax, LgZ/Pmax, LxH/Pmax, LxZ/Pmax, LRH/Pmax, LRZ/Pmax, SH/Pmax, LgZ/Pg, SnZ/Pg, LgZ/Pn, SnZ/Pn, SH/SZ, LgH/LgZ, LQH/LRH, Tr, Tpg, Ts, TLg, tPn-rise, tPg-rise$ . Символ  $tP-rise$  обозначает время нарастания амплитуды волны  $P$  от момента вступления до момента наступления максимума. Для Талгарской и Зерендинской группы станций наблюдаются различные волны, например, волны  $Sn$  на расстояниях около 2000 км выделяются плохо, и для взрывов удалось оценить параметры  $SnH/Pmax$  и  $SnH/SnZ$  всего в двух случаях.

Измерения амплитуд проводились как в смещениях трасс на сейсмограммах (в миллиметрах), так и в амплитудах колебаний грунта (в микронах). При расчете колебаний грунта в какой-то мере учитывается частотная характеристика аппаратуры, а фильтрация, как известно, может усилить или ослабить различия между параметрами сейсмических колебаний при землетрясениях и взрывах. Кроме того, измерения амплитуд на записи свободны от ошибок, связанных с оценками периода колебаний и с нестабильностью амплитудно-частотных характеристик аппаратуры. Априори отдавать предпочтение тому или иному способу измерения амплитуд нельзя. Если значения критериев при измерениях амплитуд на грунте и на сейсмограмме имели коэффициент корреляции менее 0.7, то использовались оба способа измерения амплитуд. Например, коэффициент корреляции между величинами  $lg(LRZ/Pmax, mm)$  и  $lg(LRH/Pmax, mm)$  равен  $K = 0.62$ . Проверка показала, что ошибочные оценки (пропуск цели или ложная тревога) при применении этих параметров совпали только в одном случае. Некоторые параметры, например, величины, характеризующие поляризацию колебаний ( $LgZ/LgH, SZ/SH, LxZ/LxH$ ) оказались независимыми ни от магнитуды, ни от расстояния, ни,

главное, от типа сейсмического источника и не могли служить критериями распознавания взрывов и землетрясений.

Другие параметры, например  $LQH/LRH$ , оказались малоэффективными для Зерендинской группы станций и совсем непригодными для Талгарской группы станций. Для трети землетрясений вообще не удалось произвести измерения амплитуд этих волн вследствие низкого уровня колебаний на записях короткопериодной аппаратуры, не приспособленной для регистрации поверхностных волн.

Группа параметров, характеризующая частотно-временные характеристики различных типов сейсмических волн, обладает относительно низкой эффективностью распознавания. Однако, учитывая иную природу этих критериев, можно было ожидать, что их применение позволит различить природу некоторых событий, для которых применение других критериев не дает результата.

Поскольку различные критерии не являются полностью скоррелированными, можно последовательно применять различные критерии или составить из отдельных критериев комплексные, более эффективные критерии. При этих способах коррелированность отдельных критериев не влияет на точность конечных результатов, последовательное применение этих критериев позволяет существенно улучшить разделение взрывов и землетрясений. В качестве такого комплексного критерия для Талгарской группы станций выбран

$$SumT = \lg(T_p) + \lg(T_{pg}) + \lg(T_{Lg}) + \lg(T_s).$$

Ранее было установлено, что для станции Талгар по величине  $\lg(T_p)$ , при условии 5% пропуска землетрясений, наблюдается 84% ложных тревог. Ана-

логично для критериев  $\lg(T_{pg})$ ,  $\lg(T_{Lg})$  и  $\lg(T_s)$  наблюдается 73%, 57% и 41% ложных тревог, соответственно, а стандартные отклонения для землетрясений и ПЯВ равны  $0.121 \pm 0.208$  и  $-0.220 \pm 0.128$ , соответственно. Теоретически при пороге  $X(5\%) = -0,009$  пропускается 5% взрывов при 27% ложных тревог. Фактически при пороге  $X(0\%) = -0,025$ , при котором не пропускается ни один взрыв, наблюдается 24 % ложных тревог. Включение даже малоэффективного критерия  $\lg(T_p)$  в комплексный критерий уменьшило количество ложных тревог на 5%. В некоторых случаях добавление малоэффективных критериев ухудшало качество комплексного критерия. По-видимому, объединять в комплексный критерий целесообразно параметры с близкими значениями стандартных отклонений.

Дальнейшее усложнение комплексного критерия позволило повысить эффективность распознавания природо сейсмических источников:

$$Sum1 = SumT + \lg(LRH/Pmax, mm),$$

$$Sum2 = \lg(T_p) + \lg(T_{pg}) + \lg(T_{Lg}) + \lg(T_s) + \lg(LxZ/Pmax) + \lg(LRZ/Pmax) + \lg(SnZ/Pn),$$

$$Sum3 = SumT + \lg(LRH/Pmax, mk) + \lg(LRZ/Pmax, mk).$$

Для Зерендинской группы станций наилучшим комплексным критерием оказалась комбинация:

$$Sum4 = \lg(T_p) + \lg(T_s) + \lg(T_{Lg}) + \lg(LRZ/Pmax) + \lg(LgZ/Pmax).$$

Результаты сопоставления параметров распознавания для взрывов и землетрясений по материалам Талгарской и Зерендинской групп станций сведены в табл. 1 и табл. 2, соответственно.

Табл. 1. Эффективность распознавания землетрясений и ПЯВ с использованием различных критериев для каналов типа СКМ. Талгарская группа станций

Критерий X	Параметры распределения X		Пропуск ПЯВ 5%		Без пропуска ПЯВ	
	Взрывы	Землетрясения	Порог	Ложные тревоги, %	Порог	Ложные тревоги, %
$\lg(Pg/Pn, mm)$	$-0.094 \pm 0.084$	$0.014 \pm 0.195$	0.044	56	0.039	59
$\lg(LgZ/Pmax, mm)$	$0.184 \pm 0.184$	$0.472 \pm 0.187$	0.487	53	0.585	69
$\lg(LxZ/Pmax, mm)$	$-0.103 \pm 0.166$	$0.132 \pm 0.152$	0.170	60	0.165	61
$\lg(LRH/Pmax, mk)$	$0.029 \pm 0.140$	$0.473 \pm 0.213$	0.260	18	0.215	12
$\lg(LRZ/Pmax, mk)$	$-0.057 \pm 0.179$	$0.427 \pm 0.225$	0.235	20	0.285	26
$\lg(LgZ/Pn, mk)$	$0.229 \pm 0.194$	$0.723 \pm 0.290$	0.548	27	0.639	36
$\lg(LgZ/Pg, mk)$	$0.329 \pm 0.176$	$0.631 \pm 0.220$	0.618	48	0.640	50
$\lg(SH/Pmax, mm)$	$0.050 \pm 0.165$	$0.257 \pm 0.167$	0.321	65	0.321	74
$\lg(SnZ/Pg, mm)$	$0.045 \pm 0.156$	$0.273 \pm 0.167$	0.302	57	0.340	72
$\lg(SnZ/Pn, mm)$	$-0.033 \pm 0.167$	$0.286 \pm 0.199$	0.242	41	0.240	44
$\lg(Tpn)$	$-0.068 \pm 0.058$	$-0.019 \pm 0.075$	0.027	73	0.080	94
$\lg(Tpg)$	$-0.019 \pm 0.075$	$0.068 \pm 0.058$	0.025	73	0.080	94
$\lg(Tlg)$	$-0.068 \pm 0.060$	$-0.018 \pm 0.076$	0.126	39	0.095	49
$\lg(Ts)$	$-0.041 \pm 0.043$	$0.048 \pm 0.082$	0.030	41	0.028	44
$\lg(tPg\ rise)$	$1.553 \pm 0.063$	$1.615 \pm 0.080$	1.657	70	1.690	84
$-\lg(tPn\ rise)$	$-1.145 \pm 0.251$	$-0.830 \pm 0.466$	-0.732	58	-0.445	70
Sum T	$-0.0220 \pm 0.128$	$0.121 \pm 0.208$	-0.010	27	0.025	24
Sum 1	$-0.176 \pm 0.177$	$0.554 \pm 0.229$	0.115	7	0.185	13
Sum 2	$-0.449 \pm 0.401$	$0.578 \pm 0.381$	0.170	6	0.320	13
Sum 3	$-0.270 \pm 0.292$	$0.934 \pm 0.424$	0.210	5	0.370	9

**РАСПОЗНАВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА ПОЛИГОНЕ ЛОБНОР**

Табл. 2. Эффективность распознавания землетрясений и ПЯВ с использованием различных критериев для каналов типа СКМ. Зерендинская группа станций

Критерий X	Параметры нормального распределения X		Пропуск ПЯВ 5%		Без пропуска ПЯВ	
	Взрывы	Землетрясения	Порог	Ложные тревоги, %	Порог	Ложные тревоги, %
lg (LgZ/Pmax, mk)	- 0.303 ± 0.247	0.325 ± 0.294	0.105	23	0.020	16
lg (LxZ/Pmax, mm)	- 0.587 ± 0.234	-0.334 ± 0.281	- 0.202	68	- 0.180	69
lg (LRZ/Pmax, mk)	- 0.057 ± 0.179	0.427 ± 0.225	0.237	20	0.285	26
lg (LRH/Pmax, mk)	0.033 ± 0.139	0.462 ± 0.216	0.260	18	0.215	12
lg (2P/1P, mm)	- 0.725 ± 0.225	- 0.522 ± 0.212	- 0.355	76	- 0.365	79
lg (SH/Pmax, mm)	- 0.516 ± 0.192	- 0.157 ± 0.254	- 0.200	43	- 0.180	45
lg (LQH/LRH, mk)	0.120 ± 0.136	0.234 ± 0.164	0.344	75	0.275	58
lg (Tp)	- 0.078 ± 0.087	- 0.005 ± 0.084	0.133	74	0.115	77
lg (TlgH)	0.152 ± 0.038	0.245 ± 0.064	0.215	32	0.225	39
lg (Ts)	0.111 ± 0.050	0.198 ± 0.070	0.193	47	0.208	51
Sum T	- 1.136 ± 0.533	0.406 ± 0.769	- 0.254	20	- 0.320	17
Sum 4	- 0.683 ± 0.391	0.554 ± 0.558	- 0.040	14	- 0.095	11

**ВЫВОДЫ**

Данные, полученные в результате исследований и приведенные в таблицах, позволяют сделать вывод о том, что, используя высокочастотную аппара-

туру, можно разделять взрывы и землетрясения не хуже, чем по известному магнитудному критерию  $MS - MB$ . Преимуществом высокочастотной аппаратуры является ее более высокая чувствительность.

**ЛОБНОР ПОЛИГОНЫНДА ЖЕР СІЛКІНІСТЕР МЕН ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫ АЙЫРЫП ТАҢУ**

Л.В. Антонова, Ф.Ф. Аптикаев

*РФА О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасының бірлескен институты*

Талғар және Зеренді сейсмикалық топтарымен алынған жазбалары бойынша әр түрлі критерийлерін қолданып, Лобнор полигонындағы жер сілкіністер мен жер астындағы ядролық жарылыстарды айырып таңу тиімділігі бағаланады.

**DISCRIMINATION BETWEEN EARTHQUAKES AND UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS AT LOPNOR TEST SITE**

I.V. Antonova, F.F. Aptikaev

*Shmidt United Earth Physic Institute RAS*

This paper evaluates, using different criteria, the effectiveness of discrimination between earthquakes and underground nuclear explosions at Lopnor test site. The records obtained from Talgar and Zerenda seismic arrays have been used for the present study.

УДК 550.34(574.41)

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРУКТУРЕ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ  
ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В РАЙОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА**<sup>1</sup>Копничев Ю.Ф., <sup>2</sup>Соколова И.Н.<sup>1</sup>Комплексная сейсмологическая экспедиция ОИФЗ РАН, г. Талгар<sup>2</sup>Институт геофизических исследований ННЦ РК, г. Курчатов

По записям калибровочных химических взрывов в районе Семипалатинского испытательного полигона (СИП), полученным близкими станциями, изучена структура поля поглощения в земной коре и верхней мантии в районах площадок Дегелен и Балапан. Анализировались характеристики огибающих короткопериодной волны на частотах 1.25 и 5 Гц. Показано, что в районе Балапана, где проходят две крупные зоны глубинного разлома, наблюдается аномально сильное поглощение S-волн в диапазоне глубин 10-120 км. В районе Дегелена на таких же глубинах поглощение существенно более слабое. В то же время на глубинах более 200 км в районе полигона добротность резко возрастает.

Предполагается, что пространственно-временные вариации структуры поля поглощения связаны с подъемом ювенильных флюидов по крупным зонам глубинного разлома, обусловленным длительным и интенсивным воздействием мощных взрывов. Такой механизм позволяет объяснить также существование крупной тепловой аномалии в районе северо-восточного Казахстана, включающем СИП.

**ВВЕДЕНИЕ**

Воздействие подземных ядерных взрывов (ПЯВ) приводит к существенной перестройке среды в непосредственной близости от очагов – образуются полости и зоны трещиноватости, заметно изменяется уровень подземных вод. Вместе с тем, до сих пор практически ничего не известно о возможных изменениях структуры среды на сравнительно больших глубинах в земной коре и, тем более, в верхней мантии. В настоящей работе рассматриваются неоднородности структуры поля поглощения S-волн в районе северо-восточного Казахстана, в котором расположен Семипалатинский испытательный полигон (СИП).

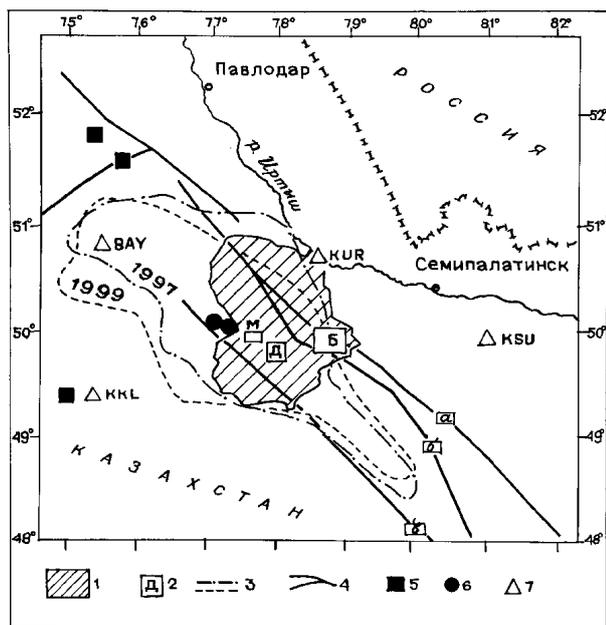
С 1949 г. по 1989 г. в районе СИП было проведено 466 ядерных испытаний, в том числе 30 наземных, 88 воздушных и 348 подземных [1]. ПЯВ проводились, начиная с 1961 г., их максимальная мощность составляла порядка 150 кт в тротиловом эквиваленте. По количеству испытаний СИП уступает только полигону в штате Невада (США). В связи с этим территория СИП является уникальной природной лабораторией, в которой можно изучать эффекты, связанные с интенсивным и достаточно продолжительным техногенным воздействием на геологическую среду в тектонически «спокойном» районе.

**ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ**

Район СИП находится на северо-восточной окраине обширной Казахской платформы. Территория района приурочена к области сочленения двух крупных региональных структур: каледонской –

Чингиз-Тарбагатайской, и герцинской – Иртыш-Зайсанской. Границей между ними служит Калба-Чингизский глубинный разлом, который, по существу, является областью интенсивных тектонических движений на протяжении всей геологической истории. Район характеризуется широким развитием интрузивного магматизма. Интрузивные образования представлены магматическими породами самого разнообразного состава - от ультрабазитов до щелочных гранитоидов. На большей части территории СИП палеозойский фундамент перекрыт сравнительно тонким слоем палеогеновых и более молодых осадочных пород. Максимальная мощность их составляет несколько сотен метров.

Подавляющее большинство ПЯВ в районе СИП было произведено на двух площадках (Рис.1) – Дегелен (более 200) и Балапан (более 100). Кроме того, 25 взрывов было осуществлено на площадке Муржик [1]. На площадке Дегелен заряды помещались в штольнях, пройденных в горном массиве, на двух других – в скважинах, ниже тонкого слоя осадочных пород. Начиная с 1976 г., почти все достаточно сильные взрывы (более 20 кт) проводились на площадке Балапан. Существенно, что в районе площадки Балапан проходят два крупных глубинных разлома (Рис.1) – Калба-Чингизский и Чинрауский [2], по геофизическим данным достигающие границы Мохо. В районах площадок Дегелен и Муржик выделены достаточно мелкие разрывные нарушения [2]. Еще один крупный глубинный разлом – Главный Чингизский, проходит несколько южнее этих площадок. Средняя мощность земной коры в районе полигона составляет 44 км [3].



1 – территория СИП; 2 – площадки: М- Муржик, Д – Дегелен, Б – Балапан; 3 – границы области температурной аномалии в 1997 и 1999 гг; 4 – главные зоны разлома: а – Чинрауская, б – Калба-Чингизская, в – Главная Чингизская; 5 – наиболее крупные карьеры в окрестностях СИП; 6 – эпицентры местных землетрясений; 7 – сейсмические станции.

Рис.1. Карта района исследований

В 1997-99 г.г. довольно большой район северо-восточного Казахстана, включающий СИП, характеризовался очень яркой тепловой аномалией [4]. Как видно из рис.1, тепловая аномалия занимает площадь, примерно в 3 раза больше, чем территория СИП. Она вытянута в северо-западном – юго-восточном направлении, и ее центр существенно смещен к северо-западу по отношению к центру полигона. В зимние месяцы в этом районе отсутствовал снежный покров, и температура поверхности была приблизительно на 10° С выше, чем в окружающих областях.

Район СИП характеризуется слабой сейсмической активностью. Известно 2 землетрясения, произошедших на территории полигона - 20.03.1976 г. ( $m_b=5.1$ ) и 26.03.1996 г. ( $m_b=4.2$ ) [5] (рис.1).

В окрестностях СИП, на расстояниях до 300 км от сейсмической станции KUR, расположен ряд промышленных карьеров. По интенсивности взрывных работ среди них, безусловно, доминируют карьеры в районах Экибастуза и Майкаина, к северо-западу от полигона (рис.1). До начала 90-х годов здесь достаточно часто производились сравнительно сильные химические взрывы (мощностью несколько десятков тонн тнт). Относительно мощные взрывы (до 50 тонн тнт) регулярно проводились в эти годы также на карьере ГОК Карагайлы (в 26 км к западу от сейсмической станции KKL). В 90-е годы количество и мощность взрывов на этих и других карьерах существенно уменьшились.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Рассматривались сейсмограммы 6 калибровочных химических взрывов мощностью до 100т, проводившихся в 1997-2000 г.г. в районе СИП [3], данные по которым приведены в табл.1.

Табл. 1. Параметры калибровочных взрывов

Дата	Время	Широта (°N)	Долгота (°E)	Масса заряда, кг
08/03/1997	8:07:20.040	49.9412	78.7860	25000
08/31/1997	7:08:38.750	49.8837	78.8148	25000
08/22/1998	5:00:18.904	49.7667	77.9908	100000
09/17/1998	7:19:40.551	49.9810	78.7559	25040
09/25/1999	5:00:05.800	49.7819	77.9663	100000
07/29/2000	6:10:04.250	49.7819	77.9663	100000

Сейсмограммы получены трехкомпонентными цифровыми станциями REFTEK, установленными на эпицентральных расстояниях до 250 км. Станции оборудованы сейсмометрами STS-1, STS-2, CMG-3, CMG-40T, K213-S и L4C. Использовались также записи трех цифровых станций BAY, KKL и KSU (рис.1), установленных в ходе совместных советско-американских работ по сейсмическому контролю ядерных взрывов в 1987-88 г.г. (запись велась сейсмометрами GS-13) [6]. Анализировались записи калибровочных химических и ядерного взрывов, произведенных в районе СИП. И, наконец, для сравнения анализировались записи местных землетрясений и карьерных взрывов, полученные 40 цифровыми станциями REFTEK, расположенными в районе Центрального Тянь-Шаня, а также станциями BRVK и MAK, расположенными на северной и восточной окраинах Казахской платформы (рис.2). В общей сложности обработано более 200 записей взрывов и землетрясений.

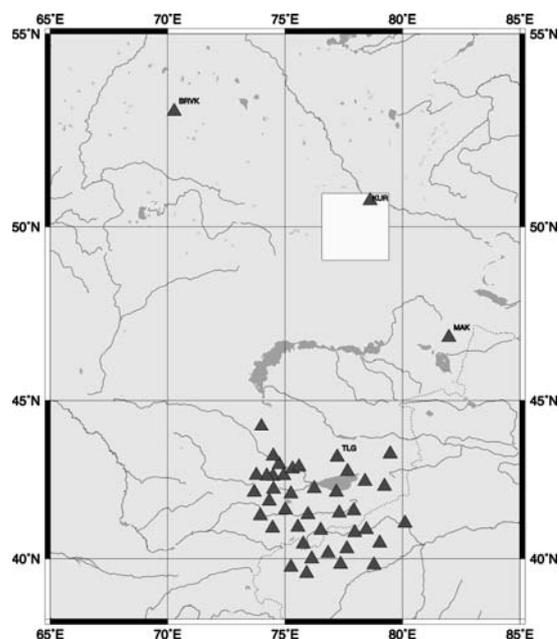


Рис.2. Расположение цифровых сейсмических станций, записи которых использованы в работе. Прямоугольник - положение СИП

**МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

Анализ записей местных взрывов и землетрясений. При интерпретации записей близких взрывов использовался метод, основанный на анализе характеристик короткопериодной S-коды. Ранее, [8-10]), путем всестороннего анализа экспериментальных данных - направлений подхода волн, кажущихся скоростей и поляризации волновых групп в коде, пространственно-временных характеристик огибающих и т.д., - было установлено, что в районе Центральной Азии на частотах около 1 Гц, кода местных землетрясений и карьерных взрывов сформирована, главным образом, поперечными волнами, отраженными от многочисленных субгоризонтальных границ в земной коре и верхней мантии. При такой схеме формирования коды участки относительно быстрого и медленного затухания амплитуд в коде связаны с проникновением S-волн в слои соответственно сильного и слабого поглощения. Глубины этих слоев определяются в предположении формирования коды однократно отраженными волнами. Поглощение характеризовалось эффективной добротностью  $Q_s$ , которая определялась по затуханию амплитуд в коде с помощью формулы

$$A(t) \sim \exp(-\pi t / Q_s T) / t,$$

где  $T$  – период колебаний, время  $t$  отсчитывается от начала излучения в очаге [8].

В связи с уникальностью района СИП необходимо учитывать возможное влияние техногенных изменений структуры среды в самой верхней части разреза на вариации волновых полей. Известно, например, что при ПЯВ образуются полости и зоны трещиноватости, размеры которых зависят от мощности взрыва. Однако экспериментальные данные показывают, что даже при мощности взрыва порядка 150 кт радиус зоны трещиноватости составляет всего лишь около 0.5 км [11]. Известен также эффект локального изменения гидрогеологического режима подземных вод в верхней части разреза в результате ПЯВ, который наблюдается в области с линейным размером на порядок больше, чем для зоны наведенной трещиноватости. Однако этот эффект сравнительно кратковременный, и гидрогеологический режим обычно восстанавливается в течение года после испытания [11].

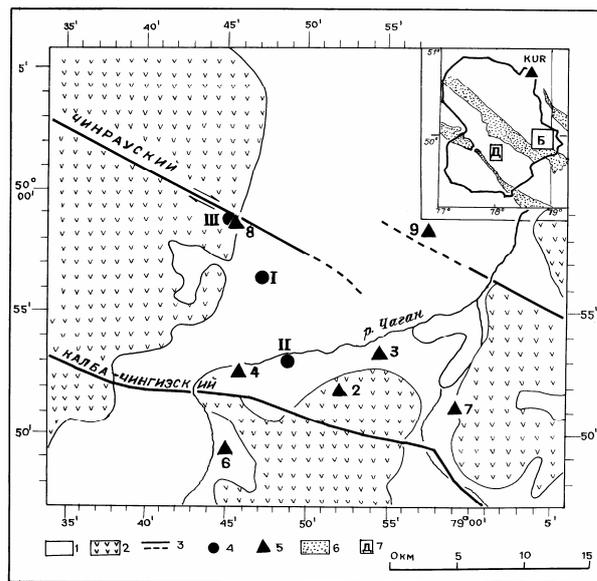
Необходимо также заметить, что вариации структуры среды в самой верхней части коры могут привести к изменению только общего уровня коды, но не формы огибающих. Отсюда следует, что особенности структуры среды в верхней части разреза СИП не служат препятствием для изучения поля поглощения на достаточно больших глубинах с помощью описанной выше методики.

При обработке сейсмограмм применялась узкополосная частотная фильтрация, которая позволяет исключить из анализа эффекты, связанные с различием спектров очагового излучения для разных со-

битий, зависимостью эффективной добротности от частоты и т.д. [8,9]. Использовались фильтры с центральными частотами 1.25 и 5 Гц и шириной 2/3 октавы на уровне 0.7, аналогичные соответствующим ЧИСС-каналам [7].

**АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

Структура поля поглощения поперечных волн в районе СИП. На рис.3 показано расположение эпицентров калибровочных взрывов и станций ближней зоны на площадке Балапан.



1 – молодые осадочные породы, 2 – выходы палеозойского фундамента, 3 – зоны разломов, 4 – эпицентры калибровочных взрывов (Табл.1), 5 – сейсмические станции, 6 - антиклинории, 7 - площадки Дегелен и Балапан. На врезке - станция KUR.

Рис.3. Карта площадки Балапан

На рис.4 представлены примеры записей калибровочного взрыва 31 августа 1997 г. на площадке Балапан, полученные разными цифровыми станциями (ЧИСС-канал 1.25 Гц). Видно, что скорость затухания амплитуд в коде существенно различается для разных станций

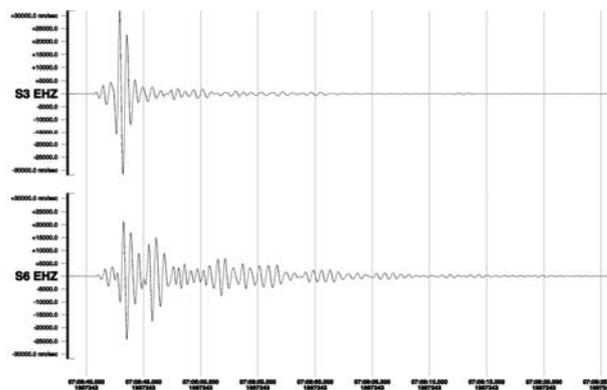
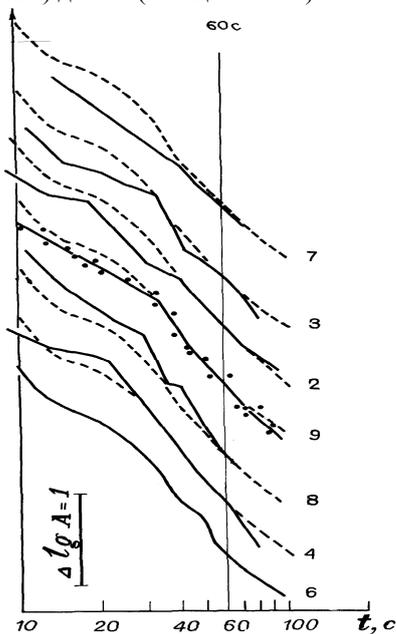


Рис. 4. Примеры записей калибровочного взрыва на площадке Балапан. Станции 3, 6 (по Рис.3). ЧИСС-канал 1.25 Гц. Вертикальная компонента

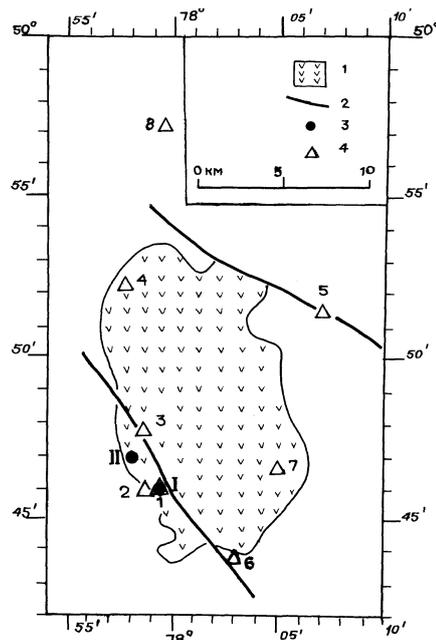
По записям разных станций взрывов, проведенных на площадках Балапан и Дегелен, для ЧИСС-каналов 1.25 и 5 Гц построены огибающие коды. Из рис.5 следует, что для площадки Балапан форма огибающих на частоте 1.25 Гц заметно варьируется даже для таких станций, которые разнесены на расстояние всего лишь около 6 км (например, № 4 и № 6 - рис.3). Наиболее характерная черта огибающих – очень быстрое затухание амплитуд при  $t=10-60$ с на записях станций, расположенных непосредственно перед зонами глубинных разломов или за ними (№ 4, №6 и №8), по сравнению с остальными станциями. На первый взгляд, исключение составляет огибающая коды для станции 9, однако разлом в районе данной станции выделяется недостаточно надежно. В интервале 20-60с, соответствующем глубинам 35-120 км, эффективная добротность  $Q_s$  варьируется от 55 (станция № 8) до 115 (станция № 7).



Параметр кривых - номера станций. Пунктир – огибающая коды для станции 6. Точки – данные станции 9

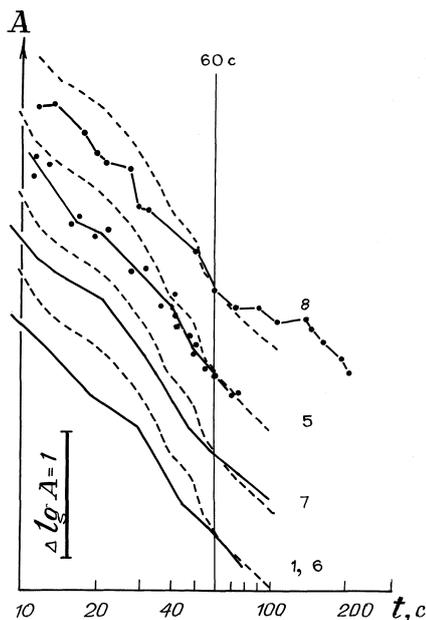
Рис. 5. Общие огибающие коды записей калибровочных взрывов, произведенных на площадке Балапан. ЧИСС-канал 1.25 Гц.

На рис.6 представлено расположение эпицентров калибровочных взрывов и станций ближней зоны на площадке Дегелен. На рис.7 показаны общие огибающие коды для взрывов на площадке Дегелен.



1 – массив Дегелен (палеозойские породы), 2 – разломы второго порядка. 3 – эпицентры калибровочных взрывов, 4 – сейсмические станции.

Рис. 6. Карта площадки Дегелен



Параметр кривых - номера станций (по Рис. 6). Пунктир – огибающая коды для станции 6 (по Рис.3). Точки – данные станции 5 для построения огибающей. Пунктир с точкой - индивидуальная огибающая для станции 8.

Рис. 7. Общие огибающие коды записей калибровочных взрывов на площадке Дегелен. ЧИСС-канал 1.25 Гц

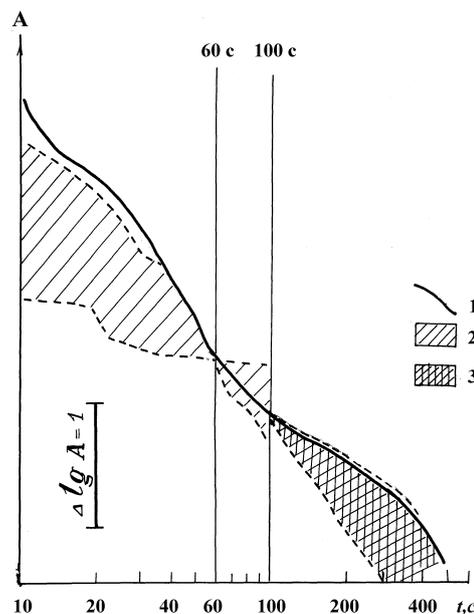
В рассматриваемом случае огибающие для разных станций в интервале  $t=20-60$ с затухают значительно слабее, чем для станции № 6 в районе площадки Балапан. По данным станции № 8 амплитуды в коде убывают гораздо медленнее, чем для площадки Балапан, и в интервале 60-100с. В диапазоне

$t=20-60$ с величина  $Q_s$  изменяется от 85 (станция № 7) до 110 (станции № 1, № 6). Вместе с тем, в интервале 10-20с, соответствующем средней и нижней коре (глубины ~20-35 км), амплитуды в коде убывают достаточно быстро (особенно для станции №5), не слабее, чем для района площадки Балапан. Для сравнения, на Рис.8 показан диапазон разброса данных для огибающих коды местных землетрясений и карьерных взрывов, которые построены по записям 40 цифровых станций в районе Центрального Тянь-Шаня, ограниченном координатами  $39^{\circ}-44^{\circ}$  N и  $73^{\circ}-80^{\circ}$  E (рис.2).

Видно, что при совмещении огибающих при  $t=60$ с в интервале от 10 до 60с, соответствующем диапазону глубин ~20-120 км, все огибающие для района Тянь-Шаня затухают значительно медленнее, чем для станции № 6 в районе площадки Балапан. На этом же рисунке показан разброс данных в интервале 100-300 с для огибающих, совмещенных при  $t=100$ с (использованы записи 29 цифровых станций в том же районе). В данном случае в районе Центрального Тянь-Шаня коды, наоборот, затухают, как правило, сильнее, чем для станции KUR, расположенной на расстоянии ~90 км к северу от эпицентров калибровочных взрывов в районе площадки Балапан. В интервале 100-300с, соответствующем глубинам ~230-700 км, величина  $Q_s$  для станции KUR равна 2800.

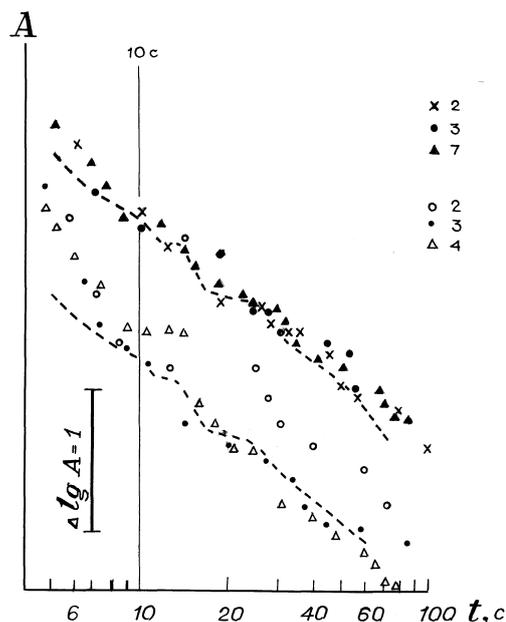
На рис.9 представлены огибающие коды, построенные по записям самых близких станций ( $\Delta < 7$ км) для фильтра с центральной частотой 5 Гц. На таких расстояниях для относительно высоких частот можно изучить затухание коды на очень малых временах ( $t < 10$ с), соответствующих уже верхней части коры. Из рис.9 видно, что для площадки Балапан, как и для частоты 1.25 Гц, при  $t > 10$  с имеют место большие вариации формы огибающих; наиболее сильное затухание коды снова наблюдается для станции № 4, расположенной вблизи от зоны разлома. Вместе с тем, при  $t=5-10$ с (глубины ~10-20 км) форма огибающих достаточно устойчива; амплитуды в коде затухают очень быстро, величина  $Q_s$  равна 50. Для сравнения приведена огибающая коды для зоны Заилийского разлома в районе Северного Тянь-Шаня, которая построена по записям взрывов на маленьком карьере Котур-Булак, полученным станцией TLG ( $\Delta=10$  км). В этой зоне наблюдается достаточно высокое поглощение S-волн [8].

Тем не менее, как видно из рис.9, огибающая коды на частоте 5 Гц затухает гораздо слабее, чем для площадки Балапан (в интервале 5-10 с  $Q_s=480$ ). Для площадки Дегелен затухание коды при  $t=5-10$ с. несколько слабее, чем для площадки Балапан (рис.9), однако величина  $Q_s$  все же достаточно мала (~80). Отметим очень высокую устойчивость формы огибающих, в сравнении с площадкой Балапан.



1 – общая огибающая коды по записям станций № 6 (Балапан) и KUR; 2 – огибающие совмещены при  $t=60$  с; 3 – при  $t=100$ с.

Рис.8. Диапазон разброса данных для огибающих коды по записям 40 цифровых станций в районе Центрального Тянь-Шаня (Рис.2)



Цифры - номера станций. Пунктир – общая огибающая коды для взрывов на карьере Котур-Булак (станция TLG,  $\Delta=10$  км).

Рис.9. Огибающие коды для канала 5 Гц, по записям калибровочных взрывов на Дегелене (верхние кривые) и Балапане

Таким образом, поле поглощения поперечных волн в районе площадки Балапан в 1997-2000 г.г. характеризовалось очень сильным поглощением в коре и верхах мантии. В районе площадки Дегелен на глубинах 35-230 км поглощение значительно

слабее, чем для площадки Балапан. Для всего района СИП характерно очень слабое поглощение в нижней части верхней мантии.

О размерах зон аномально сильного и слабого поглощения в земной коре и верхней мантии. Приблизительная оценка размеров зоны сильного поглощения на глубинах до 120 км в районе площадки Балапан может быть сделана по записям самых близких станций. Как известно, радиус зоны Френеля для отраженных волн определяется выражением  $R_f = \sqrt{H\lambda/2}$ , где  $H$  – глубина отражающей площадки,  $\lambda$  – длина волны. Подставляя в него значения  $H=120$  км,  $\lambda=3.8$  км, получим:  $R_f \sim 20$  км. Учитывая расстояние между станциями № 6 и № 8, для которых наблюдается сильное поглощение в указанном диапазоне глубин, а также положение эпицентров калибровочных взрывов, найдем, что максимальный линейный размер зоны сильного поглощения – порядка 50 км. Эта величина несколько меньше расстояния между центрами площадок Дегелен и Балапан, для которых поглощение в верхах мантии резко различается (~60 км), поэтому можно полагать, что полученная нами оценка близка к действительности.

На рис.10 представлены огибающие коды на частоте 1.25 Гц для разных трасс в окрестностях СИП, построенные по записям калибровочных взрывов, проводившихся в 1987-88 [6] и 1997-99 г.г. [3], а также по записям местных карьерных взрывов и землетрясений на расстояниях до 40-50 км (для станций BRVK, KKL, KSU и МАК).

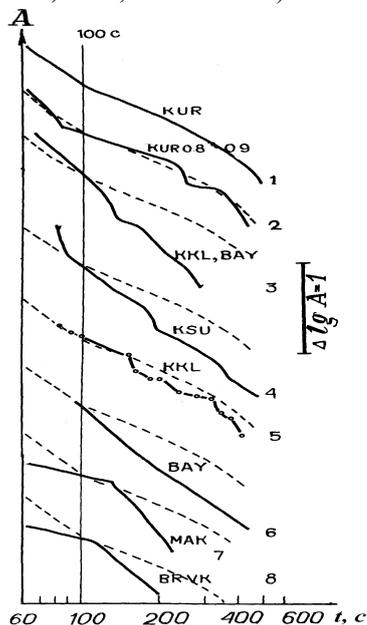


Рис.10. Огибающие коды для записей калибровочных взрывов: 1997-99 гг.- кривые 1,2,5,6; 1987-88 гг.- кривые 3,4; местных землетрясений -7,8. Пунктир – кривая 1

Станции KUR08 и KUR09 расположены на расстояниях около 19-21 км к юго-западу от станции KUR. Видно, что в диапазоне 100-300 с для трасс в

районе СИП и его близких окрестностях огибающие коды затухают очень слабо. Вместе с тем при удалении от площадок Дегелен и Балапан скорость затухания амплитуд в коде резко возрастает. Интересно, что по записям взрывов на Дегелене для станции BAY код затухает гораздо сильнее, чем для станции KKL, хотя эпицентральные расстояния для них различаются незначительно (соответственно 209 и 194 км). Сильное поглощение соответствует записям местных событий и для самых далеких станций (BRVK и МАК).

На рис.11 систематизированы данные о трассах, для которых наблюдается относительно слабое и сильное затухание амплитуд в коде при  $t=100-300$ с для района СИП и его близких окрестностей. Центры кружков на рисунке соответствуют серединам разных трасс. Для станций KKL и KSU использованы записи местных карьерных взрывов; поглощение отнесено к районам станций.

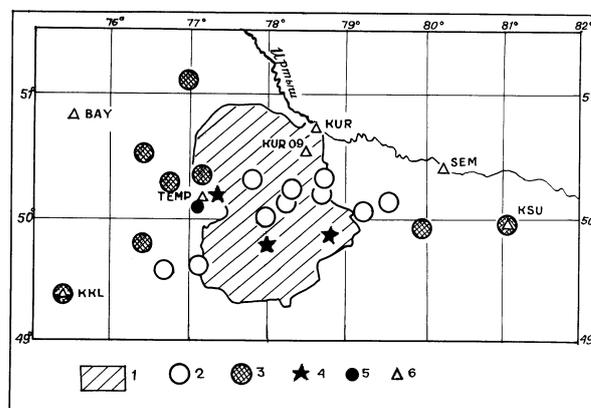


Рис.11. Области слабого (2) и сильного (3) поглощения по затуханию коды в интервале 100-300с для района СИП (1) и его близких окрестностей. Эпицентры калибровочных взрывов (4), землетрясения (5), станции (6)

Видно, что область слабого поглощения вытянута в восточном - северо-восточном направлении, примерно вдоль линии, соединяющей центры двух главных площадок на СИП – Дегелена и Балапана. Судя по имеющимся данным, максимальный линейный размер этой области – порядка 200 км.

**ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Полученные данные свидетельствуют об очень сильных пространственно-временных вариациях структуры поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии в районе СИП и его близких окрестностях.

Один из самых неожиданных результатов – аномально сильное поглощение S-волн в земной коре и верхах мантии для площадки Балапан. Известно, что в слабосейсмичных районах Центральной Азии, к которым относится и Казахская платформа, средние скорости сейсмических волн в коре и верхах мантии обычно заметно выше, а поглощение слабее, чем в

тектонически активных районах [3,6,8,12]. Тем не менее, как мы видели, поглощение S-волн на глубинах ~20-120 км для площадки Балапан значительно сильнее, чем для района Центрального Тянь-Шаня, даже для юго-восточной его части, которая характеризуется наиболее низкими скоростями P-волн в верхах мантии [12].

На наш взгляд, единственно возможная интерпретация обнаруженных эффектов связана с подъемом флюидов из нижней части земной коры и верхней мантии. Ранее было показано, что в районе Северного Тянь-Шаня активная миграция флюидов по зоне Заилийского разлома наблюдалась после сравнительно слабых химических взрывов (мощностью до нескольких килотонн [13]). Тем более, этого можно ожидать для района СИП, где в течение 40 лет проводилось в среднем за год более 10 ядерных взрывов, мощность многих из которых превышала 100 кт [1].

Как известно, появление флюидов кардинально меняет условия прохождения S-волн – заметно снижаются скорости и резко увеличивается поглощение (в отличие от P-волн). В этих условиях существенно увеличивается скорость затухания амплитуд в короткопериодной коде и уменьшается отношение амплитуд волн S и P (что и приводит к вариациям параметра  $Lg/Pg$  на больших расстояниях).

Характерно, что подъем флюидов наиболее ярко проявился в районе Балапана, где проходят два крупных разлома, проникающих в верхнюю мантию. Как известно, зоны глубинных разломов, содержащие заметную долю флюидов, являются, по терминологии Пригожина [14], диссипативными структурами, которым свойственна, в частности, высокая чувствительность к внешним воздействиям [15]. Под действием сейсмических колебаний при мощных взрывах происходит раскрытие трещин и пор различного масштаба, что облегчает подъем флюидов из нижней коры и верхней мантии по разломным зонам. (Известно, что при импульсном акустическом воздействии на фильтрующую среду ее проницаемость может возрастать на несколько порядков [16]). Полученные данные о структуре поля поглощения свидетельствуют о том, что миграция флюидов может происходить с глубин более 200 км.

В то же время отсутствие крупных разломов в районе Дегелена обусловило невозможность прямой флюидной подпитки из верхней мантии. В связи с этим флюиды, вероятно, поднимались здесь в верхнюю кору в основном из нижнекорового волновода [17], поэтому поглощение поперечных волн в верхней мантии для Дегелена гораздо слабее, чем в районе Балапана.

Вместе с тем, есть основания предполагать, что мантийные флюиды активно поднимались по зоне Главного Чингизского разлома. Дело в том, что ближайшие эпицентры ПЯВ на площадках Дегелен и Муржик расположены на расстояниях всего лишь

~10-15 км от этого разлома; кроме того, массовые взрывы на площадке Дегелен начались на 8 лет раньше, чем на Балапане. Косвенным свидетельством этого может служить вытянутость зоны температурной аномалии в юго-восточном направлении вдоль данного разлома, а также приуроченность к нему эпицентров двух известных местных землетрясений (Рис.1).

Судя по структуре поля поглощения, каналы миграции флюидов сохранились в районе Балапана в течение 10 лет после прекращения ядерных испытаний. Это согласуется с имеющимися данными о подъеме мантийных флюидов в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня, продолжающемся, по крайней мере, несколько десятков лет после событий с  $M > 6.5$  [18].

После проникновения флюидов в верхнюю кору они диффундируют по сетке разрывных нарушений, охватывая обширные территории. Об этом свидетельствует, в частности, достаточно высокое поглощение S-волн в верхней части коры для площадки Дегелен (несмотря на то, что интегральное поглощение в коре здесь существенно уменьшилось с середины 60-х до конца 80-х годов).

Рассмотрим теперь причины появления температурной аномалии в районе, включающем СИП. Заметим сначала, что определенный вклад в эту аномалию могут давать долговременные источники тепловой энергии, связанные с котловыми полостями, остающимися после ПЯВ. Известно, что средняя температура воздуха в этих полостях в течение многих лет может оставаться на уровне 30°-50°С [19]. Однако, судя по данным о структуре поля поглощения, общий объем этих полостей в районе СИП ничтожно мал по сравнению с объемом среды в коре и верхней мантии, в которой произошла перестройка флюидного поля. Кроме того, температура глубинных флюидов достаточно высока – так, например, даже в районе Кольской сверхглубокой скважины, пробуренной в древнейших породах Балтийского щита, на глубине 7200 м температура подземных вод оказалась равной 120°С [20].

Учитывая полученные данные, логично связать температурную аномалию в районе северо-восточного Казахстана с подъемом ювенильных флюидов в районе СИП. При быстром подъеме к поверхности, смешиваясь с приповерхностными подземными водами, они вызывают повышение их температуры и обуславливают появление тепловой аномалии на достаточно большой площади.

Остановимся еще на особенностях пространственной структуры обсуждаемой температурной аномалии. Очевидно, что область аномалии вытянута вдоль простирания главных глубинных зон разлома. Вместе с тем, ширина этой области существенно варьируется - она максимальна в районе западной границы СИП, в 1,5-2 раза меньше на северо-

западной окраине области, и в 4-5 раз меньше – на ее юго-восточной окраине.

Можно полагать, что причины столь явной анизотропии области тепловой аномалии связаны, во-первых, с распространением флюидов вдоль главных разрывных нарушений, и во-вторых, с воздействием взрывных источников в районах описанных карьеров к северо-западу и западу от СИП. После того, как флюиды проникли в верхнюю часть коры, даже сравнительно слабые, но регулярные вибрационные воздействия от карьерных взрывов, существенно изменяющие проницаемость фильтрующей среды, должны приводить к постепенной миграции флюидов, в первую очередь в направлении этих карьеров.

Имеющиеся данные не позволяют определить, когда образовалась тепловая аномалия в ее нынешнем виде [4]. Учитывая, что с начала 90-х годов интенсивность взрывных работ на карьерах к западу и северо-западу от СИП резко снизилась, можно предполагать, что рассматриваемая аномалия сформировалась в основном к 1990 г. В пользу такого заключения может свидетельствовать тот факт, что площадь аномалии практически не изменилась с 1997 по 1999 г.

#### Выводы

1. По записям 24 цифровых и аналоговых сейсмических станций исследованы пространственно-временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии СИП.
2. Анализ коды записей местных землетрясений на частотах около 1 Гц показал, что поле поглощения S-волн в рассматриваемом районе характеризуется существенной пространственной неод-

нородностью. Очень сильное поглощение на глубинах 35-120 км наблюдается в зонах крупных глубинных разломов в районе площадки Балапан. Для площадки Дегелен, где выделены только мелкие разрывные нарушения, поглощение S-волн на таких глубинах гораздо слабее.

3. Путем анализа записей S-коды на частоте 5 Гц показано, что сильное поглощение наблюдается в верхней части коры, на глубинах 10-20 км для площадок Балапан и Дегелен.
4. Установлено, что поглощение S-волн в районе площадки Балапан на глубинах 20-120 км гораздо сильнее, чем по данным 40 сейсмических станций в районе Центрального Тянь-Шаня. В то же время на глубинах более 200 км в верхней мантии района СИП поглощение, как правило, слабее, чем для близких окрестностей разных станций в районе Центрального Тянь-Шаня.
5. Предложена интерпретация обнаруженных эффектов, связанная с подъемом флюидов по крупным зонам разлома из верхней мантии в районе СИП в результате длительного интенсивного воздействия на геологическую среду мощных взрывов.
6. Подъем флюидов из верхней мантии в верхнюю кору и дальнейшая их диффузия по мелким разрывным нарушениям, возможно, позволяет объяснить существование крупной температурной аномалии в районе северо-восточного Казахстана, включающем СИП.

#### Благодарность

Авторы признательны С.Рёкеры (Rensselaer Polytechnic Institute) и Щелочкову Г.Г. (Объединенный институт высоких температур) за предоставление цифровых записей тяньшаньских станций.

#### Литература

1. Михайлов В.Н. (ред.). Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР, 1949-1990 г.г. РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, 1996, 66 с.
2. Пейве А.В., Моссаковский А.А. Объяснительная записка к тектонической карте Казахстана. М.: Наука, 1982.
3. Беляшова Н.Н., Шапилов В.И., Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И., Беляшов А.В., Малахова М.Н. Использование калибровочных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне для уточнения скоростного разреза земной коры и верхней мантии. Вестник НЯЦ РК: «Геофизика и проблемы нераспространения», 2000, вып.2, с.45-52.
4. Sultangazin U.M., Zakarin E.A., Spivak L.F., Arkhipkin O. P., Muratova N.R., Terekhov A.G. Monitoring of temperature anomalies in the former Semipalatinsk test site. Acad. Sci., Paris, 1998, v.326, ser. "Method. i instrum.", p.135-140.
5. Pooley C., Douglas A., Pearce R. The seismic event of 1976 March 20, east Kazakhstan: earthquake or explosions? Geophys. J. R. astr. Soc., 1983, v.74, p.621-631.
6. Нерсесов И.Л., Сидорин А.Я. (ред). Советско-американские работы по сейсмическому контролю ядерных взрывов. М.: Наука, 1991, 143с.
7. Запольский К.К. Частотно-избирательные станции ЧИСС. В кн.: Экспериментальная сейсмология. М.: Наука, 1971, с.20-36.
8. Копничев Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. М.: Наука, 1985, 176с.
9. Artikaeva O.I., Kopnichev Yu.F. Space-time variations of the coda wave envelopes of local earthquakes in the region of Central Asia. J. Earthq. Predict. Res., 1993, v.2, N 4, p.497-514.
10. Каазик П.Б., Копничев Ю.Ф., Нерсесов И.Л., Рахматуллин М.Х. Анализ тонкой структуры короткопериодных сейсмических полей по группе станций. Физика Земли, 1990, N 4, с.38-49.
11. Адушкин В.В., Спивак А.А. Изменение уровня подземных вод в результате проведения подземных ядерных взрывов. Бюлл. ЦОИАЭ, 1993, N 9, с.38-43.
12. Roecker S.W., Sabitova T.M., Vinnik L.P., Burmakov Y.A., Golvanov M.I., Mamatkanova R., Munirova L. Three-dimensional elastic wave velocity structure of the Western and Central Tien Shan. J.Geophys. Res., 1993, v.98, N B9, p.15779-15795.

13. Копничев Ю.Ф. О воздействии мощных взрывов на структуру поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхах мантии. ДАН, 1998, т.363, 6, с.819-822.
14. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979, 512с.
15. Родкин В.В. Роль глубинного флюидного режима в геодинамике и сейсмотектонике. М., 1993, 194с.
16. Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Киссин И.Г., Николаев А.В. О некоторых эффектах вибрационного сейсмического воздействия на водонасыщенную среду. Сопоставление их с эффектами удаленных сильных землетрясений. ДАН, 1987, т.297, 1, с.52-56.
17. Ваньян Л.Л., Хайндман Р.Д. О природе электропроводности консолидированной коры. Физика Земли, 1996, 4, с.5-11.
18. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н., Шепелев О.М. Временные вариации поля поглощения поперечных волн в очаговых зонах сильных землетрясений. ДАН, 2000, т.374, 1, с. 99-102.
19. Бусыгин В.П., Андреев А.И., Косолапов С.А. Термический режим дневной поверхности в эпицентральной зоне подземных ядерных взрывов. Физика Земли, 1999, 11, с.68-74.
20. Козловский Е.А. (ред.). Кольская сверхглубокая. М.: Недра, 1984, 490с.

### СЕМЕЙ ПОЛИГОНЫ АУДАНЫНДА КӨЛДЕНЕҢ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ЖҰТЫЛУ ӨРІСІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ ТУРАЛЫ ЖАҢА ДЕРЕКТЕР

<sup>1)</sup>Ю.Ф. Копничев, <sup>2)</sup>И.Н. Соколова

<sup>1)</sup>РҒА ЖФБИ Кешенді сейсмологиялық экспедициясы

<sup>2)</sup>ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты

Семей полигонындағы, оған жақын жатқан станциялармен алынған калибрлеу химиялық жарылыстардың жазбасы бойынша Дегелен және Балапан алаңдарының аудандарында жер қыртынысында және жоғарғы мантияда сейсмикалық толқындардың жұтылу өрісінің құрылымы зерттеліп білінген. 1,25 Гц және

5 Гц жиіліктерде қысқапериодты кодалардың орайжанауышының сипаттамасы талданған. Екі ірі жарылым өтетін Балапан алаңында 10-120 км. тереңдігі ауқымында S-толқындардың аномальды жұтылуы байқалғаны көрсетілген. Сол кезде 200 км. көбірек тереңдікте полигон ауданында төзімділігі көбееді.

Жұтылу өрісі құрылымының кеңістік-уақыттық вариациялары күрделі жарылыстардың ұзақ және қарқындылығы әсерінен пайда болған ірі жарылым белдемдерімен ювенильдік флюидтердің көтеруімен байланысты болуы жорамалданып отыр. Осындай тетік, ССП-нің қосатын солтүстік-шығыс Қазақстанда ірі жылу ауытқуы бар болғанын түсіндіруге мүмкіндік береді.

### NEW DATA ON THE STRUCTURE OF SHEAR WAVE ATTENUATION FIELD IN THE REGION OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE

<sup>1)</sup>Yu.F. Kopnichev, <sup>2)</sup>I.N. Sokolova

<sup>1)</sup>Complex Seismological Expedition of the Joint Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Talgar

<sup>2)</sup>Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

Using the recordings of the chemical explosions in Kazakhstan, obtained by locally deployed stations, we have studied the structure of the attenuation field in the earth's crust and upper mantle in the areas of the Degelen and Balapan test sites. We have analyzed the characteristics of short-period coda envelopes at frequencies of 1.25 and 5 Hz. The study has shown that abnormally high S-wave attenuation is observed at the Balapan site in the depth range of 10-120 km, where two large fault zones pass. At the Degelen site, the attenuation for the same depth range is much weaker. However, Q values sharply increase at the depth over 200 km in the area of the Semipalatinsk test site.

We suppose that spatio-temporal variations of the attenuation field structure are associated with a rise of juvenile fluids through the deep fault zones caused by the long and intensive influence of the explosions. Such a mechanism also allows us to explain the existence of a large-scale heat anomaly in the area of the northeastern Kazakhstan, including the Semipalatinsk test site.

УДК 596.551:510.535

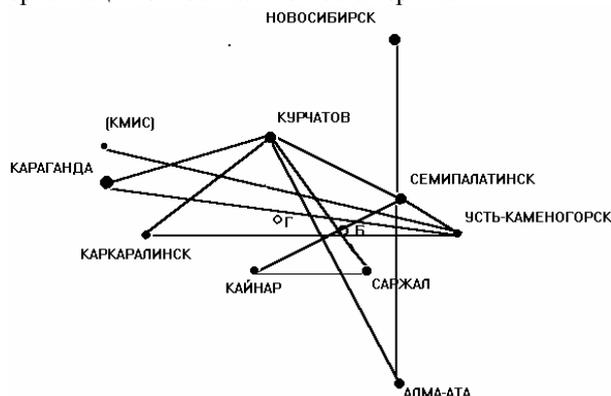
## ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ОТ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Дробжева Я.В., Краснов В.М., Соколова О.И.

Институт Ионосферы Министерства образования и науки, г. Алматы

Для 13 подземных ядерных взрывов, проведенных на площадке Балапан Семипалатинского испытательного полигона, экспериментально определены горизонтальные размеры ионосферных возмущений, образованных этими взрывами.

Для выбора оптимальных условий радиозондирования ионосферы при дистанционном мониторинге подземных ядерных взрывов необходимо знание пространственных размеров ионосферных возмущений, вызванных взрывами. Эксперименты, положенные в основу данной работы, проводились во время взрывов на площадке Балапан Семипалатинского испытательного полигона в 1987-1989 гг. На рис. 1 представлена схема радиотрасс, использованных при зондировании ионосферы во время подземных ядерных взрывов. Выбор радиотрасс определялся необходимостью проверки чувствительности ионосферного метода обнаруживать взрывы на радиотрассах различной протяженности, а также при различной их ориентации относительно места взрыва.



Линии - организованные радиотрассы; овалы - места проведения взрывов: площадка "Г" и "Б" (Балапан)

Рис. 1. Схема радиотрасс при зондировании ионосферы

Пункты радиотрасс имели следующие географические координаты: Алматы - 43.344 С.Ш.; 76.873 В.Д.; Новосибирск - 55.018 С.Ш.; 82.882 В.Д.; Семипалатинск - 50.404 С.Ш.; 80.226 В.Д.; Усть-Каменогорск - 49.947 С.Ш.; 82.632 В.Д.; Каркаралинск - 49.409 С.Ш.; 75.494 В.Д.; Курчатов - 50.715 С.Ш.; 78.621 В.Д.; Кайнар - 49.23 С.Ш.; 77.443 В.Д.; Саржал - 49.6 С.Ш.; 78.683 В.Д.; Балапан (площадка Б) - 50.06 С.Ш.; 78.933 В.Д.; Площадка "Г" - 49.884 С.Ш.; 77.972 В.Д.; комплексная магнитно-ионосферная станция (КМИС) - 50.04 С.Ш.; 72.73 В.Д.

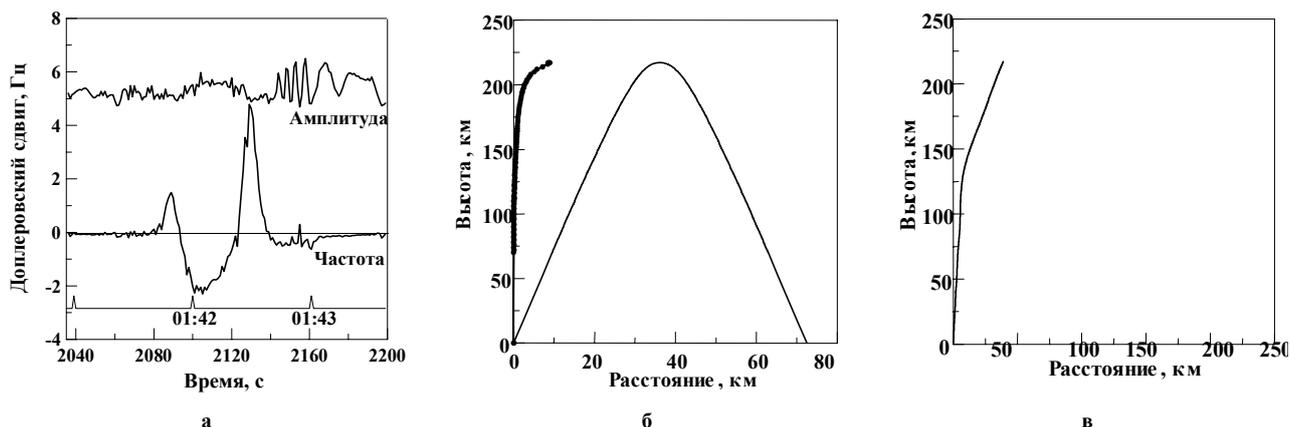
Ионограммы КМИС использовались для определения фоновых вертикальных профилей электронной концентрации ионосферы. На самом испытательном полигоне снятие ионограмм не проводилось.

Однако, учитывая, что фоновые параметры ионосферы мало меняются на расстоянии порядка нескольких сотен километров (КМИС отстоит от полигона на расстоянии порядка 450 км), подобная замена допустима.

Определение пространственных размеров ионосферных возмущений включает в себя расчет высоты и горизонтального расстояния точки отражения радиоволны (точки наблюдения) относительно места взрыва, а также анализ результатов наблюдений. При этом, погрешность оценки размеров горизонтальных возмущений, в основном, будет определяться погрешностью расчета пространственного местоположения точки отражения радиоволны. Для определения местоположения точки отражения радиоволны относительно места взрыва проводились расчеты по модели, разработанной авторами [3]. Модель описывает комплекс физических явлений, инициируемых взрывом, а именно: образование ударной волны, ее переход в акустическую волну, распространение акустического импульса в неоднородной атмосфере с учетом ветра, его воздействие на ионосферу, доплеровский сдвиг частоты радиозондирующего сигнала. Для целей настоящей задачи проводился расчет:

1. вертикального профиля электронной концентрации ионосферы по ионограмме, полученной на КМИС;
2. траектории распространения радиолуча с определением высоты точки отражения и ее координат. При этом учитывались профиль электронной концентрации ионосферы, влияние геомагнитного поля, координаты местоположения передатчика и приемника, частота радиозондирования.;
3. горизонтального расстояния между точкой отражения радиоволны и местом взрыва;
4. азимута распространения акустического луча от места взрыва до точки отражения радиоволны;
5. высотного профиля меридионального и зонального ветра. (на основе модели HWM -93 [1] учитывался день года, время, индексы солнечной и геомагнитной активности, координаты места взрыва) и высотного профиля ветра вдоль направления распространения акустического луча;

6. высотного профиля скорости звука. При этом, на основе модели MSIS-90 [2], учитывались день года, время, индексы солнечной и геомагнитной активности, координаты места взрыва;
7. траектории акустического луча и времени прихода акустического импульса в точку наблюдения. При этом учитывался профиль скорости звука и ветра.



а) экспериментальная запись амплитуды и доплеровской частоты (время взрыва 01:33:09 UT); б) расчетная траектория распространения зондирующей радиоволны в вертикальной плоскости: вдоль линии передатчик-приемник - сплошная линия и перпендикулярно ей - линия с точками; в) расчетная траектория распространения акустического луча от места взрыва до точки наблюдения (с учетом ветра).

Рис. 2. Исходные и расчетные графики для подземного ядерного взрыва 3 апреля 1988 г.

Фоновые колебания на записи доплеровской частоты (рис.2а) представляют линию, близкую к прямой, и располагающуюся в области нулевых значений частоты. Ионосферное возмущение, вызванное взрывом, четко проявилось на доплеровской записи – амплитуда возмущения составила величину  $\sim 2$  Гц. Середина возмущения доплеровской частоты, соответствующая времени прихода середины акустического импульса в точку отражения радиоволны, составляет 531с после взрыва. По точности расчета этого времени можно судить о точности расчета траектории радиоволны (соответственно, местоположения точки отражения радиоволны в пространстве), точности расчета траектории акустического луча и времени распространения акустического импульса вдоль траектории. В частности, траектория радиоволны (рис. 2б) определила положение «точки наблюдения» акустического импульса (и, соответственно, ионосферного возмущения) в эксперименте. Исходя из высоты и координат «точки наблюдения» далее был проведен расчет траектории акустического луча, показанного на рис. 2 в. Горизонтальное расстояние от места взрыва до точки отражения радиоволны составило 39 км; азимут распространения акустического луча -  $293^\circ$ . Расчетное время распространения середины акустического импульса до «точки наблюдения» составило 556с, что дало ошибку по сравнению с экспериментом – 4.7%.

На рис.2 приведен пример расчета местоположения в пространстве точки отражения радиоволны и оценки точности расчета, относящийся к эксперименту, проведенному 3 апреля 1988 г во время подземного ядерного взрыва на площадке Балапан. Радиозондирование ионосферы осуществлялось на частоте 5.416 МГц на трассе площадка Балапан - площадка «Г». Расстояние между площадкой Балапан и площадкой «Г» составляет 71 км, азимут радиотраектории -  $254^\circ$ .

Аналогичные расчеты проведены для 29 случаев наблюдения за ионосферными возмущениями во время проведения подземных ядерных взрывов на площадке Балапан. Результаты этих расчетов, а также экспериментальные данные времени наблюдения середины ионосферного возмущения от взрывов, представлены в таблице. Пропуски в графе таблицы «Экспериментальное время середины возмущения» означают, что при проведении эксперимента возмущение не было зарегистрировано.

Учитывая относительно небольшое число данных, представленных в таблице, для качественного понимания результатов эксперимента, рассмотрим физическую модель и проведем сопоставление данных с основными закономерностями пространственной картины ионосферных возмущений, полученной на основе модельных расчетов. Расчеты амплитуды ионосферного возмущения для различных горизонтальных расстояний от места взрыва были сделаны для высот от 100 км до 260 км с шагом 10 км в направлениях на север, юг и восток (картина возмущения на восток и запад одинаковая), для точечных взрывов мощностью 100 и 500 тон ТНТ. На рис.3 показаны зависимости амплитуды ионосферного возмущения от горизонтального расстояния между точкой наблюдения и местом взрыва для высот 110, 130 и 260 км в направлениях на север, юг и восток.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ОТ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Табл. Условия наблюдения ионосферных возмущений, вызванных подземными ядерными взрывами, проведенными на площадке Балапан, и времена их регистрации при доплеровском радиозондировании

№ скважины	Высота наблюдения, км	Горизонтальное расстояние от взрыва, км	Азимут наблюдения, градус	Экспериментальное время середины возмущения, с	Расчетное время середины возмущения, с
1326	102	12	169	345	345
1348	108	10	248	358.5	361
1348	158	22	274	648.5	473
1332	154	12	264	421	463
1388	179	7	245	481.5	506
1388	194	5	257	503	530
1361	206	17	234	509.2	544
1361	205	35	292	522	547
1336	217	39	293	531	556
1336	217	57	342	555.5	568
1336	128	21	263	374	418
1421	245	73	274	652.5	597
1421	253	88	232	500	615
1421	239	18	221	535	580
1350	189	34	324	503	514
1350	230	31	325	559	566
1350	224	2	235	553.5	556
1350	203	99	153	560.5	590
1412	237	30	298	551	574
1412	234	41	177	537	580
1412	254	113	73	—	648
1412	219	100	266	—	589
1412	232	39	322	561	565
1328	234	29	319	555	566
1366	221	27	342	538	546
1366	215	119	281	—	592
1366	207	207	282	—	674
1352	249	28	322	605	579
1365	223	34	318	550	547

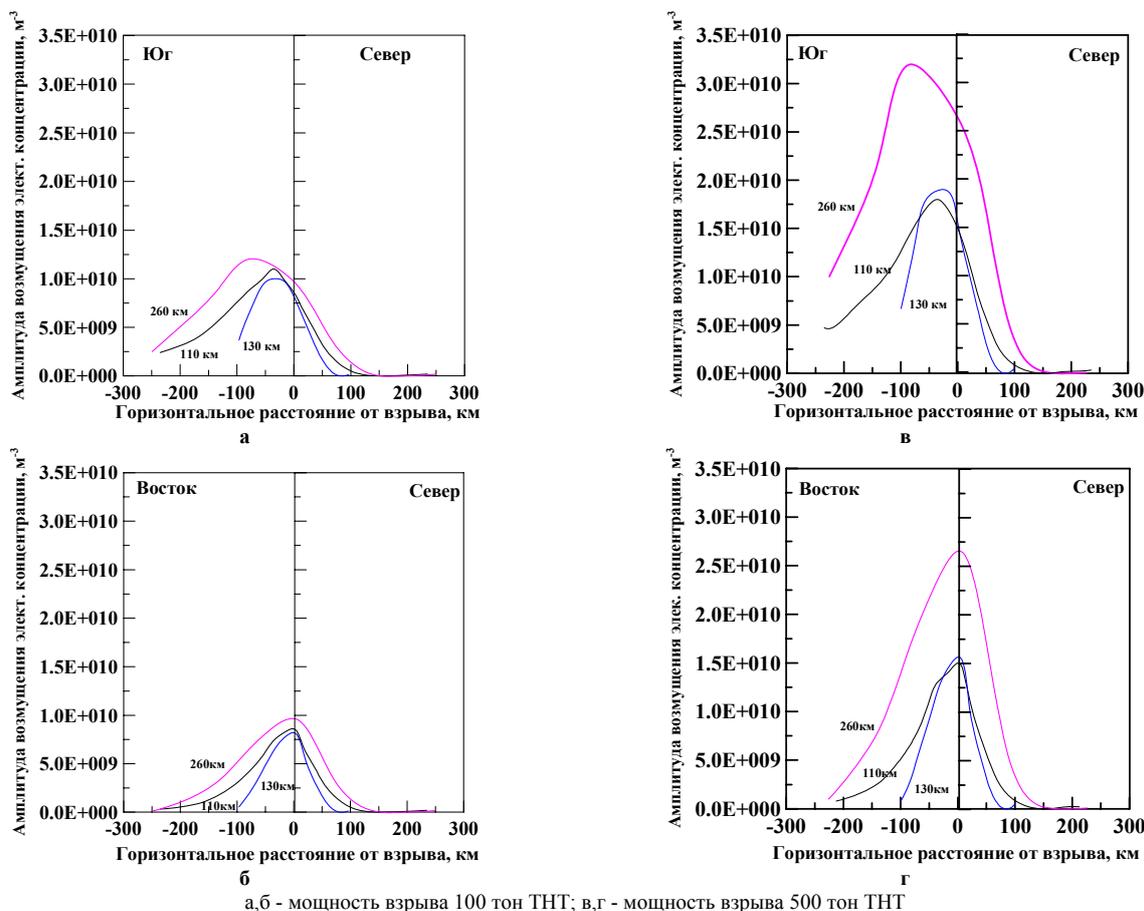


Рис.3. Зависимость амплитуды ионосферного возмущения от горизонтального расстояния между точкой наблюдения и местом взрыва для высот 110, 130 и 260 км на север, юг и восток

Из рис. 3 видно, что:

- Горизонтальные размеры ионосферных возмущений мало зависят от мощности взрыва. Например, на высоте 200 км горизонтальные размеры возмущения составляют величину порядка 400 км (рис.2б – для 100 тонн и рис.2г – для 500 тонн).
- Величина ионосферного возмущения зависит от мощности взрыва. Например, величина возмущения для взрыва мощностью 500 тонн ТНТ (рис.2в,г) в 2-3 раза больше, чем для взрыва мощностью 100 тонн ТНТ (рис.2а,б).
- Влияние геомагнитного поля на форму области ионосферного возмущения проявляется в том, что она оказывается вытянутой вдоль направления север-юг, при этом максимум возмущения и само возмущение смещены в южном направлении.
- Высотный профиль ионосферного возмущения имеет минимум на высоте порядка 130 км.

Можно ожидать, что данные закономерности будут, в основном, справедливы и для подземных ядерных взрывов. Разница между точечным взрывом и подземным ядерным взрывом заключается в форме диаграммы направленности излучения акустической энергии. В первом случае диаграмма направленности представляет собой полусферу, во втором - лепесток, направленный вертикально вверх.

Перейдем теперь к рассмотрению данных для подземных ядерных взрывов, представленных в таблице, и сопоставим их с описанной теоретической картиной возмущений

Анализ данных показывает, что средняя ошибка расчета времени прихода середины акустического импульса в точку наблюдения составляет 2.7% при среднеквадратичном отклонении 8.5%. Таким образом, расчеты хорошо согласуются с экспериментом, что указывает на корректность разработанной авторами модели, с помощью которой определялись координаты и высота точки наблюдения.

В 4-х случаях (№ 21, 22, 26 и 27), приведенных в таблице, взрывы не зарегистрированы с помощью ионосферного метода. Горизонтальное расстояние между местом взрыва и точкой наблюдения были в

этих случаях наибольшими и составляли 113, 100, 119 и 207 км, соответственно, а направление распространения акустического импульса было преимущественно северным, или западным. Вместе с тем, в случаях № 13 и № 8, взрывы зарегистрированы, несмотря на то, что горизонтальные расстояния также были также достаточно большими, – 88 и 99 км, соответственно. Однако направление распространения акустического импульса до точки наблюдения здесь было преимущественно южным. Показательный результат получен также в случае № 12, когда акустический импульс распространялся практически на запад, расстояние равнялось 73 км, а взрыв был зарегистрирован. Наблюдаемую картину можно объяснить, исходя из модельных расчетов (рис.3а,в), которые показали, что область ионосферного возмущения вытянута вдоль направления север-юг и при этом максимум возмущения и сама область возмущения смещены в южном направлении. Т. е. южное направление является преимущественным для регистрации возмущений. Во всех остальных случаях взрывы также были зарегистрированы, при этом горизонтальные расстояния изменялись в пределах от 5 до 57 км, а азимуты распространения акустического луча - от 169° до 342°.

Таким образом, при горизонтальном расстоянии между точкой наблюдения и местом взрыва меньше, чем 60 км, взрывы могут быть зарегистрированы независимо от ориентации радиотрассы относительно места взрыва. Максимальный зарегистрированный размер области ионосферного возмущения в описанных экспериментах составил: в направлении на юг 99 км, на север – 39 км, на запад - 73 км. Отсюда видно, что размер области ионосферного возмущения составляет величину, сопоставимую с размерами самого Семипалатинского испытательного полигона - порядка 100-150 км. Учитывая, что другие полигоны имеют еще меньшие размеры, для их дистанционного контроля достаточно одной радиотрассы, проходящей через полигон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hedin A.E. (1991) Extension of the MSIS thermospheric model into the middle and lower atmosphere. J. Geophys. Res., A96, p. 1159-1172.
2. Hedin A.E. et al. (1996) Empirical wind model for the upper, middle and lower atmosphere, J. Atmos. Terr. Phys. 58, 1421-1447.
3. Drobzheva Ya. V., V.M. Krasnov, The model of acoustic disturbances in atmosphere and ionosphere for mill race explosion, J. Physics and Chemistry of the Earth, Part B, 1999, V.24, Issue 8, pp. 963-967.

**ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДАН БОЛҒАН  
ИОНОСФЕРАЛЫҚ АУЫТҚУЫЛАРДЫҢ ГОРИЗОНТАЛЬДІ МӨЛШЕРЛЕРІ**

**Я.В. Дробжева, В.М. Краснов, О.И. Соколова**

*ҚР ҒБМ Ионосфера институты*

Семей сынау полигонындағы Балапан алаңында өткізілген 13 жер астындағы ядролық жарылыстарға, осы жарылыстармен келтірілген ионосфералық ауытқуылардың горизонтальды мөлшерлері экспериментті анықталған.

**HORIZONTAL DIMENSIONS OF IONOSPHERE AGITATION  
PROVOKED BY UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS**

**Ya.V. Drobzheva, V.M. Krasnov, O.I. Sokolova**

*Institute of Ionosphere MES RK*

The horizontal dimensions of ionosphere agitation provoked by underground nuclear explosions have been experimentally determined for 13 explosions conducted at the Balapan test site of the Semipalatinsk test site.

УДК 596.551:510.535

**РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПОДЪЕМА ИОНИЗИРОВАННОГО ОБЛАКА, ВОЗНИКАЮЩЕГО ПРИ ВЫБРОСЕ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА В АТМОСФЕРУ**<sup>1</sup>Краснов В.М., <sup>1</sup>Николаевский Н.Ф., <sup>2</sup>Ситников А.В., <sup>2</sup>Ситников К.А.<sup>1</sup>Институт Ионосферы Министерства образования и науки, г. Алматы<sup>2</sup>Институт геофизических исследований ИЯЦ РК, г. Курчатов

Описываются результаты радиолокации в КВ диапазоне ионизированного облака, возникшего при химическом взрыве на выброс (калибровочный взрыв "Омега-3") и при подземном ядерном взрыве с неполным камуфлетом. Одновременно с КВ радиолокацией при химическом взрыве проводилась видео- и фотосъемка подъема газопылевого облака. Установлено различие в скорости и высоте подъема ионизированного и газопылевого облака. Показано, что использование видео- и фотосъемки недостаточно для получения полной картины переноса загрязняющих частиц в атмосфере. Метод радиозондирования атмосферы в КВ диапазоне предлагается в качестве оперативного средства контроля за выбросами в атмосферу продуктов взрывов и мониторинга взрывной деятельности.

Контроль выбросов продуктов взрывов в атмосферу представляет научный и практический интерес при решении большого круга задач, в частности, в экологии и нераспространении ядерного оружия. Предполагается, что при выбросе продуктов взрывов вблизи поверхности земли возникает облако, состоящее из продуктов взрыва и нагретого воздуха, перемешанных с пылью. В облаке образуются электрические заряды на частицах пыли и продуктах взрыва [1]. Под действием архимедовой силы газопылевое облако вместе с зарядами всплывает вверх. Время «жизни» образовавшихся зарядов, по результатам наземных измерений их электрических полей, может составлять десятки и сотни секунд [1]. Существование зарядов в газопылевом облаке предполагает возможность контроля его движения с помощью радиозондирования атмосферы над местом взрыва. Контролируя движение заряженного облака как целого, можно определить высоту, на которую проникают продукты взрыва и пыль, а с учетом горизонтального ветра - определить место выпадения загрязняющих веществ. Высота подъема частиц пыли различных фракций, траектории движения, место и время их выпадения, кроме прочего, определяются их весом. Выпадение наиболее тяжелых частиц на землю следует ожидать в непосредственной близости от места взрыва, и область загрязнения может быть определена с помощью наземных наблюдений,

включая фотосъемку. Легкие частицы должны достигать наибольших высот и переноситься на большие расстояния от места взрыва. Определение траектории движения таких частиц представляет наибольшую сложность. Цель настоящей работы на примере двух типов взрывов определить: 1) высоту и скорость подъема тяжелых и легких частиц газопылевого облака, возникающего при подземном химическом взрыве на выброс с помощью видеосъемки, фотосъемки и радиозондирования; 2) высоту и скорость подъема легких частиц при подземном ядерном взрыве с неполным камуфлетом.

**РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ АНАЛИЗ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО ХИМИЧЕСКОГО ВЗРЫВА НА ВЫБРОС**

Калибровочный химический взрыв "Омега-3" был проведен на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне в штольне горного массива Дегелен (отметка 665 м выше уровня моря) 29 июля 2000 г в 6 часов 10 мин 04,25 с UT. Координаты места взрыва: 49.7821N, 77.9667E. Эквивалентная мощность взрыва 100 т ТНТ. В процессе взрыва производились видео- и фотосъемка (рис. 1), по результатам которой определена абсолютная высота положения верхней границы видимой части газопылевого облака (табл.1).



а



б



в

Рис. 1. Фотографии калибровочного взрыва «Омега-3» на 0-ой (а), 19-ой (б) и 28-ой (в) секундах

**РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПОДЪЕМА ИОНИЗИРОВАННОГО ОБЛАКА,  
ВОЗНИКАЮЩЕГО ПРИ ВЫБРОСЕ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА В АТМОСФЕРУ**

Камера для видеосъемки располагалась в 1840 м к северо-востоку от места взрыва, продолжительность съемки составила 30 секунд. Фотокамера располагалась на смотровой площадке в 7,5 км к северу от места взрыва, продолжительность съемки составила порядка 20 минут. В выборочные моменты

времени после взрыва, приведенные в первой строке табл. 1, определено положение видимой части верхней границы облака (вторая строка табл.1). Скорость подъема облака, приведенная в третьей строке табл. 1, рассчитывалась по изменению высоты видимой части верхней границы облака во времени.

Табл. 1. Высота (относительно уровня моря) и скорость подъема видимой части газопылевого облака

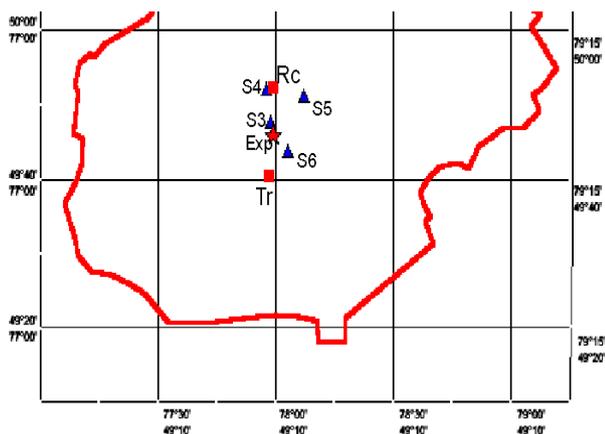
Время, сек	1	2	3	4	12	19	28	40	80	160	300
Высота, м	725	765	795	825	945	1045	1205	1335	1625	1865	1965
Скорость, м/с		40	30	30	15	14.3	17.8	10.8	7.25	2.5	0.7

Из табл.1 видно, что высота подъема облака, образованного во время калибровочного взрыва, не превысила 2 км над уровнем моря за время 300 сек. Скорость подъема облака, в основном, убывала с высотой. Ее наибольшее расчетное значение не превысило 40 м/с.

Радиозондирование атмосферы осуществлялось непосредственно над местом взрыва по наклонной трассе на частоте 2.631 МГц. Координаты передатчика: 49.6867N, 77.9606E; приемника: 49.8839N, 77.9719E. Фактически, место взрыва (высота портала штольни над уровнем моря 665.15 м) было расположено посередине радиотрассы (Рис. 2). Расстояние между передатчиком и приемником составило ~ 22 км, а азимут траектории радиоволны - 3.28°; т.е. радиоволны распространялись в северном направлении. На приемном конце трассы измерялись амплитуда и доплеровский сдвиг частоты ( $f_d$ ) радиоволны. Точность измерения доплеровской частоты равнялась  $10^{-9}f$ , а интервал дискретизации был равен 1 с. Измерения проводились в течение 3 часов, с целью определения характерных особенностей фоновых колебаний и самого возмущения доплеровской частоты, вызванного взрывом.

Результаты измерений представлены на Рис. 3а,б. На рис.3а приведена запись доплеровской частоты за весь 100-секундный период измерений. Виден уровень шума и резкий отрицательный выброс, последовавший сразу за взрывом. Регистрируемый шум, в основном, обусловлен интерференцией радиоволн, прямой - распространяющейся вдоль поверхности земли, и отраженных от ионосферы. Из-за малой длины радиотрассы прямая волна вносит преобладающий вклад в амплитуду суммарного сигнала, при этом ее частичное ослабление достигнуто за счет горного ландшафта вдоль траектории распространения.

Развернутая во времени четырехсекундная запись выброса - доплеровской частоты и амплитуды, представлена на рис. 3б. Как следует из рис.3, возмущение ионосферы началось примерно через  $\Delta t=87$ с после взрыва и продолжалось в течение  $\tau=80$ с, т.е. примерно до 6 час. 13 мин. Отрицательный характер возмущения доплеровской частоты указывает на рост длины фазового пути радиоволны в течение всего периода возмущения. Следует отметить, что доплеровский сдвиг частоты с момента начала возмущения и до 6 ч 12 мин 20 с примерно постоянен и равен 0.59 Гц. При этом средний уровень амплитуды сигнала возрос. В 6 ч 12 мин 20 с. на записях, как амплитуды, так и частоты, возник дополнительный отрицательный выброс. Эти синхронные изменения амплитуды и частоты могут быть объяснены, в первую очередь, приходом в точку приема дополнительного радио луча и возникшим в связи с этим интерференционным замиранием, как амплитуды, так и частоты.



— граница СИП, ■ передатчик (Tr) и приемник (Rc) установки радиозондирования, ▲ сейсмические станции, ★ место калибровочного взрыва Омега-3

Рис. 2. Схема размещения установки радиозондирования на Семипалатинском испытательном полигоне во время эксперимента «Омега-3»

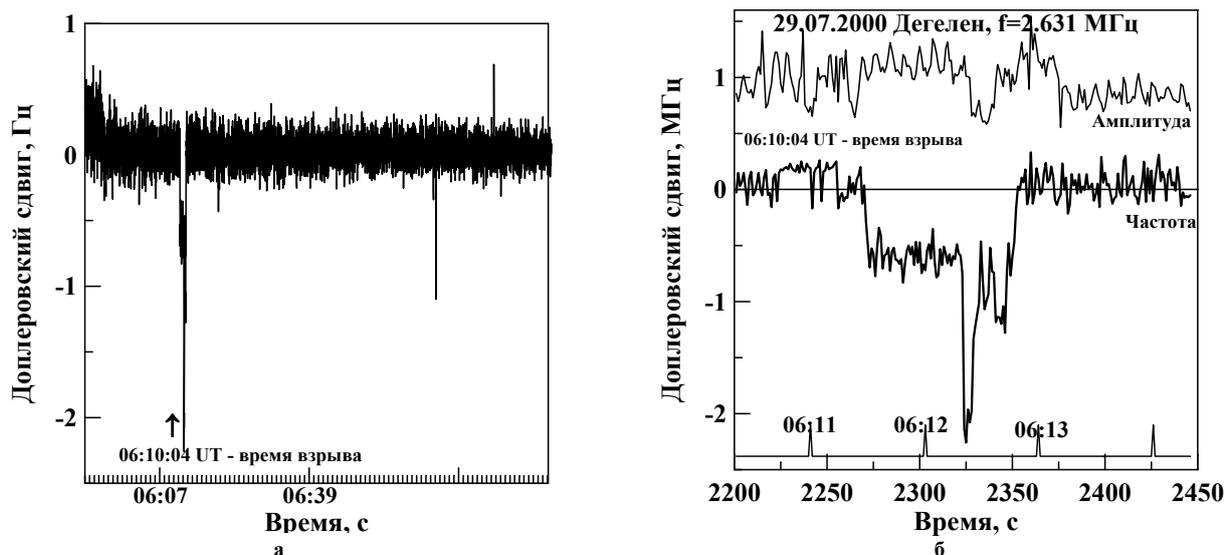


Рис. 3. Сжатая (а) и развернутая (б) записи доплеровской частоты во время эксперимента «Омега-3»

Для истолкования результатов измерений рассмотрим три возможных пути распространения радиоволн от передатчика к приемнику: 1) вдоль поверхности земли, 2) при отражении от ионосферы, 3) при отражении от ионизированного облака, возникшего при взрыве.

В первом случае прямая радиоволна распространяется вдоль поверхности земли и может быть “искажена” взрывом только при ее прохождении непосредственно через место взрыва. При этом “реакция” радиоволны должна наблюдаться практически без задержки: синхронно с выходом продуктов взрыва на поверхность, что в эксперименте не наблюдалось.

Для второго пути - отражения радиоволн от ионосферы, были определены траектории обыкновенной и необыкновенной радиоволн. При расчете этих траекторий учитывалось магнитное поле Земли и профиль электронной концентрации ионосферы, полученный из модели IRI-90 с учетом гео- и гелиофизических условий во время эксперимента. Результаты расчета проекций траекторий радиоволн на рис.4., отражение обыкновенной радиоволны произошло на высоте 94.5 км, а необыкновенной – на высоте 91.5 км. Для возмущения частоты радиоволн под воздействием взрыва необходимо, чтобы акустические волны дошли от места взрыва до высот ионосферы и возмутили электронную концентрацию непосредственно в точке отражения радиоволн. Время распространения акустической волны от места взрыва до точек отражения радиоволн рассчитано, исходя из высотного профиля скорости звука. Для расчета профиля скорости звука использовалась модель MSIS-93 с учетом реальных гео- и гелиофизических условий во время эксперимента. Вычисленное таким образом время распространения акустических волн от места взрыва до точек отражения радиоволн, обыкновенной и необыкновенной, со-

ставило 5.1 мин и 4.9 мин, соответственно. Полученные значения оказались значительно больше, чем зарегистрированное время задержки возмущения ионосферы, равное  $\Delta t=87$ с. Следовательно, наблюдаемое возмущение доплеровской частоты и амплитуды радиоволн нельзя связывать с воздействием акустической волны на электронную концентрацию ионосферы в области отражения радиоволн. Более того, наблюдаемая реакция доплеровской частоты на выброс продуктов взрыва, по времени задержки, длительности и форме, существенно отличается от типичной реакции доплеровской частоты на воздействие инфразвука в области отражения радиоволн (в данном эксперименте ее не удалось зарегистрировать из-за мощной прямой радиоволны, которая замаскировала эффекты от более слабых волн, отражаемых от ионосферы).

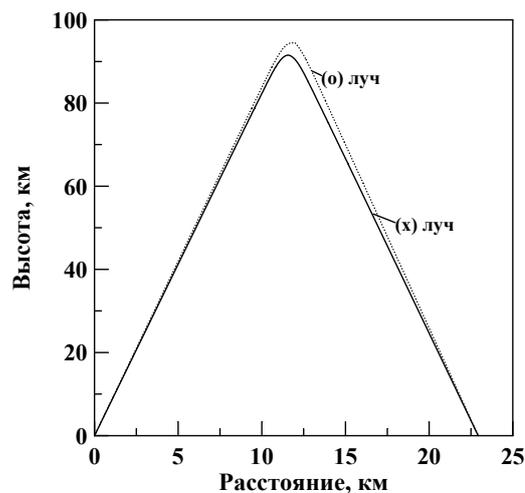


Рис. 4. Траектории обыкновенной (O) и необыкновенной (X) радиоволн, отраженных от ионосферы, асчитанные для условий проведения эксперимента Омега-3

Третий путь распространения радиоволн от передатчика к приемнику – отражение радиоволн от ионизированного облака, возникшего при взрыве. Такие радиоволны могут быть зарегистрированы при выполнении ряда условий, необходимых для их отражения в направлении пункта приема. К этим условиям, прежде всего, относятся пространственная геометрия схемы измерений во время эксперимента, форма и размеры ионизированного облака, частота радиозондирования и степень ионизации облака. Условия проведения эксперимента по ионизированию во время калибровочного взрыва "Омега-3" - профиль рельефа местности, положение радиопередатчика, радиоприемника и места взрыва показаны, на рис.5.

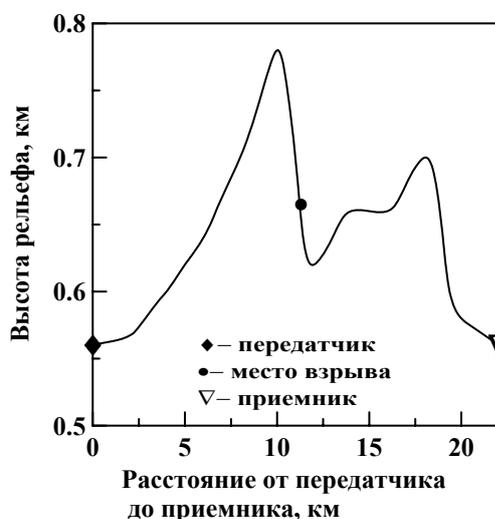


Рис.5. Профиль высот местности вдоль трассы радиозондирования при проведении калибровочного взрыва Омега-3

Исходя из этих условий, нетрудно было рассчитать, что газопылевое облако выйдет из «зоны тени» зондирующих лучей только при наборе высоты более 930 м. Согласно данным, приведенным в таблице, верхняя граница видимой части газопылевого облака достигла этой высоты примерно через 11с. после взрыва, в то время как задержка реакции

доплеровской частоты  $f_d(t)$  на взрыв составила 87 с. Через 87 с. верхняя граница видимой части газопылевого облака уже достигла высоты 1643 м выше уровня моря. Согласно [1], при подъеме пылегазового облака образуется вихревое кольцо – турбулентный термик, с примыкающей снизу пылевой колонной. При этом предполагается, что объемный электрический заряд находится внутри вихревого кольца. Если принять это предположение, то можно определить, что в период с 11с до 87с ионизированное облако должно было находиться на высоте, превышающей 1643 м. Однако отсутствие на записи в указанное время реакции доплеровской частоты на всплывающее облако может быть объяснено, по-видимому, невыполнением одного из условий, необходимых для отражения радиоволн. Учитывая, что подъем турбулентного термика опережает пылевой столб, можно считать, что его высота в момент начала регистрации возмущения  $f_d(t)$  должна составлять не менее 1643 м. Время окончания возмущения  $f_d(t)$  может быть связано со временем уменьшения ионизации облака (за счет электрических разрядов и рекомбинации ионов) до величины, которая становится недостаточной для отражения радиоволн, а отрицательное возмущение доплеровской частоты – со скоростью движения облака вверх. Учитывая сказанное, в приближении зеркального отражения радиоволны от облака, скорость вертикального движения облака  $V$  и его путь  $S$  могут быть рассчитаны по формулам

$$V = -\frac{f_d(t)c}{2f \cos(\theta)}, S = \int V(t)dt, \quad (1)$$

где  $f$  – частота радиоволны,  $c$  – скорость света в вакууме,  $\theta$  – угол падения волны на облако.

На рис. 6. представлены результаты расчета вертикальной скорости движения ионизированного облака и высота его подъема во времени (в предположении постоянства величины доплеровского сдвига частоты с момента взрыва, равной 0.59 Гц)

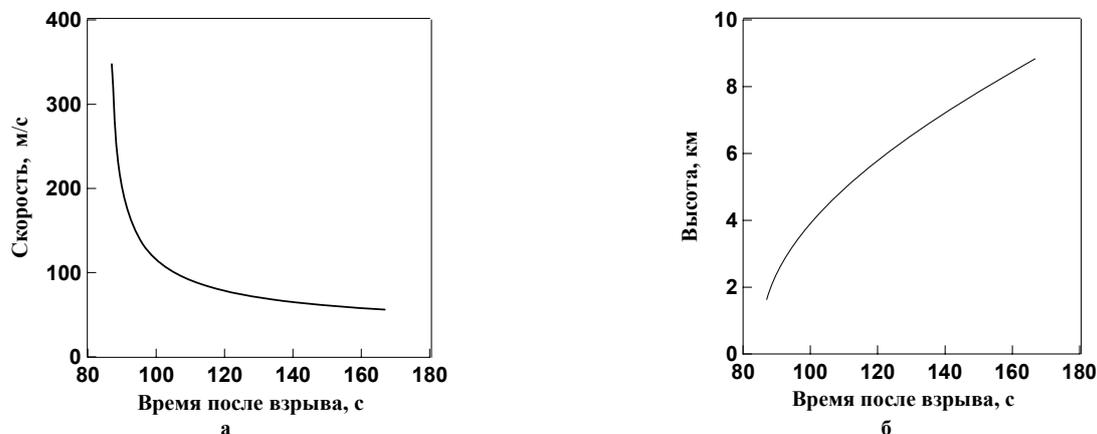


Рис. 6. Скорость движения (а) и высота подъема ионизированного облака (б), рассчитанные по формуле (1)

Как можно видеть из рис.6б, к моменту ослабления ионизации и потери отражательной способности, облако достигло высоты 8800 м и, следовательно, угол падения волны при длине трассы 22 км составил 39°. Очевидно, что в условиях данного эксперимента такая высота подъема ионизированного облака вполне могла бы обеспечить отражение радиоволн от облака на трассе гораздо большей протяженности. Из расчетов следует также, что скорость подъема ионизированного облака на 87 с. оценивается величиной 350 м/с, что значительно превышает величину скорости подъема верхней границы видимой части газопылевого столба, приведенную в таблице - порядка 2.5 м/с. В принятой модели расчета, скорость подъема ионизированного облака может существенно уменьшиться, если принять, что на 87с. оно находилось на высоте значительно выше 1643м. Очевидно, что и в этом случае высота подъема ионизированного облака будет превышать высоту подъема пылевого столба.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ АНАЛИЗ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Подземный ядерный взрыв с неполным камуфлетом был произведен на Семипалатинском испытательном полигоне в пределах горного массива Дегелен 28 июля 1978 г в 2 ч 46 мин 57.8с УТ [2]. Координаты места взрыва: 49.755N, 78.145E. Взрыв проводился в штольне, и групповой заряд состоял из пяти частей. Мощность одного из них была от 20 до 150 ктн, а каждого из остальных - между 1 и 20 ктн. Во время взрыва произошел незапланированный выход продуктов взрыва на поверхность [1]. Радиозондирование атмосферы во время взрыва осуществлялось по наклонной трассе на частоте 2.0 МГц. Координаты передатчика: 50.715N, 78.621E; координаты приемника: 49.88N, 77.97E. Таким образом, место взрыва оказалось расположенным в стороне от радиотрассы. Расстояние от передатчика до места взрыва составило 112 км, а расстояние от места взрыва до приемника 18.7 км. Расстояние между передатчиком и приемником было ~ 110 км. На приемном конце трассы проводились измерения амплитуды и доплеровского сдвига частоты радиоволн. Результаты измерений представлены на рис. 7. По приведенным результатам измерений можно установить, что одновременное возмущение амплитуды (положительный выброс) и доплеровской частоты (отрицательный выброс) в течение ~4 мин на фоне плавных изменений появилось через 7-9 с. после взрыва.

Как и в случае калибровочного взрыва, появление указанного возмущения через малый промежуток времени после взрыва не может быть объяснено распространением акустической волны до высот Е-области ионосферы (~100 км) и приходом к приемнику отраженной ионосферной радиоволны.

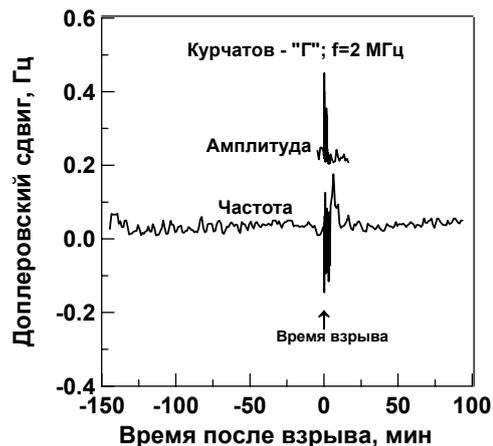


Рис. 7. Результаты измерений амплитуды и доплеровской частоты при подземном ядерном взрыве 28 июля 1978 г.

В то же время, реально предположить образование ионизированного облака при взрыве [3] и дополнительного отражения от него радиоволн. Всплеск амплитуды во время отрицательной фазы возмущения доплеровской частоты также может свидетельствовать о приходе дополнительного радиолуча на вход приемника. При этом допущении, учитывая «асимметричную геометрию» радиотрассы, можно рассчитать вертикальную скорость движения облака  $V$  по формуле

$$V = - \frac{f_d(t)c}{f(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)}, \quad (2)$$

где  $\theta_1$  и  $\theta_2$  - угол падения и угол отражения радиоволны от облака в вертикальной плоскости.

В данном случае «область тени» также определяется профилем высот местности вдоль участка траектории радиоволны от места взрыва до радиоприемника (рис.8).

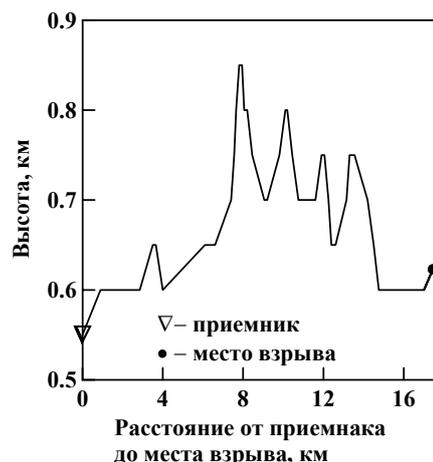


Рис.8. Профиль высот местности по направлению от приемника до места взрыва

Результаты расчета вертикальной скорости движения ионизированного облака и высота его подъема во времени (в предположении постоянства вели-

чины доплеровского сдвига частоты с момента взрыва в течение 4 мин, равной 0.05 Гц) представлены на рис.9. Из выполненных расчетов следует, что отражение от ионизированного облака могло произойти не ранее, чем во время, когда оно поднялось и превысило отметку 1230 м. Кроме того, из рисунка

видно, что скорость облака по мере подъема менялась от 140 до 15 м/с и ионизированное облако достигло высоты 7.4 км, где, по-видимому, из-за уменьшения его ионизации, радиоволны перестали отражаться.

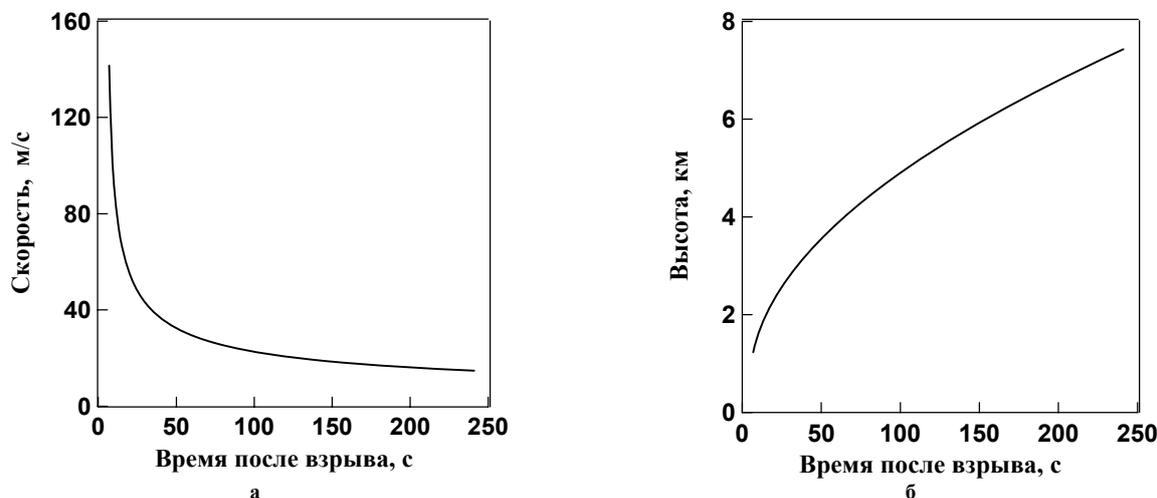


Рис. 9. Результаты расчета изменения во времени вертикальной скорости движения ионизированного облака (а) и высоты его подъема (б) для подземного ядерного взрыва на СИП 28 июля 1978 г.

#### ВЫВОДЫ

В результате видео- и фотосъемки во время эксперимента Омега-3 установлено, что максимальная высота подъема видимой части газопылевого облака (тяжелых частиц) составила 1965 м через 300 с после взрыва. Скорость его подъема изменялась от 40 до 0.7 м/с. Проведенное одновременно с видео- и фотосъемкой радиозондирование и соответствующие модельные расчеты показали, что максимальная высота подъема ионизированной части газопылевого облака (легких частиц) составила порядка 9000 м через 167 с. Скорость подъема ионизированного облака при этом менялась от 350 до 55 м/с. Большая скорость подъема ионизированного облака указывает на то, что свободные электрические заряды, в основном, образуются на мелких частицах, и переносятся в пространстве вместе с ними. Достигая больших высот, эти частицы могут переноситься ветром на большие расстояния и приводить к неблагоприятным экологическим последствиям вдали от места взрыва. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что использование методов видео- и фотосъемки при контроле выбросов в атмосферу продуктов взрывов недостаточно для выявления полной картины переноса продуктов взрыва в атмосфере. Необходимы дополнительные меры по локализации следа выпадающих на землю загрязняющих веществ. Одним из дополнительных методов такого контроля может служить метод радиозондирования атмосферы в КВ диапазоне. Радиозондирование атмосферы в КВ диапазоне при

подземном ядерном взрыве с неполным камуфлетом также позволило обнаружить возникновение и подъем над местом взрыва ионизированного облака. Согласно полученным экспериментальными данным и модельным расчетам скорость ионизированного облака по мере его подъема менялась от 140 до 15 м/с. Облако достигло высоты 7.4 км через 240 с после взрыва. Скорость подъема и высота подъема облака в данном случае сопоставимы с величинами, полученными для химического взрыва, что позволяет предположить о едином механизме переноса заряженных частиц.

В результате проведенных экспериментов показано также, что радиофизический метод контроля обладает принципиальной возможностью обнаруживать оперативно и на расстоянии выброс в атмосферу продуктов сгорания взрывчатых веществ как при химическом взрыве на выброс, так и при некамуфлетном подземном ядерном взрыве. В этой связи он может дополнить комплекс дистанционные методов сейсмического и инфразвукового мониторинга за взрывами. Важным обстоятельством является и то, что выброс веществ в атмосферу в случае подземного ядерного взрыва был обнаружен радиозондированием на первых секундах после взрыва, а в случае химического взрыва - на первых минутах. Поэтому информация о загрязняющем выбросе в атмосферу может быть получена более оперативно, чем с помощью других методов, в частности, радиоклидных измерений, проводимых вне места проведения взрыва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев С.П., Сурков В.В. Электростатическое поле и молнии, возникающие в газопылевом облаке продуктов взрыва. // Геомагнетизм и аэронавигация, 2000, Т.40, №1, с. 68-76.
2. Ядерные испытания СССР. Под ред. В.Н. Михайлова. М.: ИздАТ, 1997. 304 с.
3. R.E. Holzer Atmospheric electrical effects of nuclear explosions. «Journal of Geophysical research», vol.77, No 30, Oct. 20, 1972, pp. 5845-5855. (Имеется перевод: Р. Хольцер. Атмосферные электрические эффекты при ядерных взрывах. В кн. Ядерный взрыв в космосе, на земле и под землей. Под ред. С.Л. Давыдова. М.: Воениздат МО)

**ЖАРЫЛЫСТЫҢ ӨНІМДЕРІ АТМОСФЕРАҒА ШЫҒАРЫСЫНДА ПАЙДА  
БОЛАТЫН ИОНДАЛҒАН БҰЛТТЫҢ КӨТЕРУЛІНІҢ РАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУЫ**

<sup>1</sup>В.М. Краснов, <sup>1</sup>Н.Ф. Николаевский, <sup>2</sup>А.В. Ситников, <sup>2</sup>К.А. Ситников

<sup>1</sup>*ҚР ҒБМ Ионосфера институты*  
<sup>2</sup>*ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты*

Химиялық жарылыстан («Омега-3» калибрлеу жарылысы) және толық емес камуфлетімен жер астындағы ядролық жарылыстан пайда болған иондалған бұлттың ҚТ-ауқымындағы радиолокациясының нәтижелері баяндалады. Химиялық жарылыста газдышанды бұлттың көтеруілінің ҚТ-радиолокациясымен қатар бейне-және фототүсіруі жүргізілген. Бейне- және фототүсіру, атмосферада ластағыш заттардың тасымдалуының толық көрінісін қамсыздырмайтыны көрсетілген.

**RADIOLOCATION OF AN IONIZED CLOUD EMERGING  
FROM AN EXPLOSION PRODUCT RELEASE IN THE ENVIRONMENT**

<sup>1</sup>V.M. Krasnov, <sup>1</sup>N.F. Nikolaevsky, <sup>2</sup>A.V. Sitnikov, <sup>2</sup>K.A. Sitnikov.

<sup>1</sup>*Ionosphere Institute of Education and Science Ministry, Almaty*  
<sup>2</sup>*Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov*

This paper presents the results of radiolocation (in KB range) of an ionized cloud released at the Omega-3 explosion and an underground nuclear explosion with incomplete camouflet. The photography and shooting of a gas-dust cloud have been also performed. The differences in the velocity and height of the rise of the ionized and gas-dust clouds have been determined. It is found that the use of photography and shooting does not provide a full picture of the explosion product transfer in the environment. The method of radio sounding is suggested as an effective means to monitor the explosion product release in the environment and explosion activity.

УДК 551.594:504.064.36

## МОНИТОРИНГ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ

Григорьев В.А.

ТОО «Григо», г. Щучинск

Приводится краткое описание системы регистрации молниевых разрядов, разработанной НПО "Технологии мониторинга" под руководством д.т.н. Московенко В.М. (Москва). Система обеспечивает получение информации об опасных атмосферных явлениях (ураганы, торнадо, смерчи), важной для прогноза ЧС, особенно в местах эксплуатации опасных производств и объектов. Созданная автоматизированная система может быть полезной при решении задач, связанных с мониторингом ядерных испытаний.

Молниевые разряды представляют непосредственную опасность для человека и могут вызвать тяжелые поражения и гибель при ударе молнии в радиусе десятков - сотен метров. Они вызывают аварии ЛЭП, подстанций, приводят к перерывам в снабжении электроэнергией, при попадании в газопроводы, хранилища топлива и взрывчатых веществ могут приводить к чрезвычайным ситуациям. Молниевые разряды являются причиной многих лесных пожаров, особенно в малонаселенных северных районах Сибири, где основным источником лесных пожаров являются грозы. Большинство опасных атмосферных явлений (ураганы, смерчи, торнадо) сопровождаются интенсивной грозовой деятельностью, что позволяет заблаговременно обнаруживать эти явления и принимать соответствующие меры. Грозы представляют непосредственную опасность и для работы авиации, вызывают сбои и нарушения в работе радиоэлектронных средств. Непрерывный мониторинг молниевых разрядов и прогнозирование развития грозовой деятельности позволяет предупредить многие чрезвычайные ситуации и существенно снизить их последствия.

### РАННЕЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

По многолетним статистическим данным, в среднем по России 37-53.8% пройденной огнем лесной площади приходится на пожары, вызванные грозами. Грозы вызывают, как правило, множественные очаги возгорания леса, что усложняет их тушение. Интервал времени с момента прохождения грозы до развития лесного пожара составляет 0-5 суток, максимум числа пожаров приходится на 2-е сутки [1, 2]. Использование информации о координатах молниевых разрядов позволяет прогнозировать время и координаты лесных пожаров, выдавать соответствующее предупреждение в федеральную службу охраны лесов и тем самым существенно снизить ущерб от пожаров. В настоящее время в Центре мониторинга и прогнозирования реализована методика прогнозирования лесных пожаров, основанная на использовании информации о молниевых

вых разрядах, классе пожарной опасности по метеоусловиям и наличии лесных массивов в местах прохождения грозы. Методика реализована только для Европейской части России и не учитывает характеристики горимости лесов. Наибольшую актуальность эта методика представляет для лесов Сибири и Дальнего Востока. Так, по данным "Авиалесоохраны", за 1992-1996 гг. доля пожаров от гроз в зоне контроля Красноярской авиабазы изменялась от 23% до 44.3%. По ряду отделений она стабильно превышала 70%, а по Чемдальскому отделению - не опускалась ниже 86%. Вероятность возгорания леса от молнии существенным образом зависит от влагосодержания горючего материала, породы деревьев, типа подстилающей поверхности, заболоченности местности, рельефа, электропроводности грунта и др.

Летом 1997 г. проведены работы по обеспечению информацией о молниевых разрядах диспетчерских служб авиационной охраны лесов Красноярского края, Томской и Иркутской областей. На рис. 1 показаны зоны контроля опытного участка с использованием системы регистрации молниевых разрядов (СРМР), а в табл. 1 приведена характеристика опытного участка.

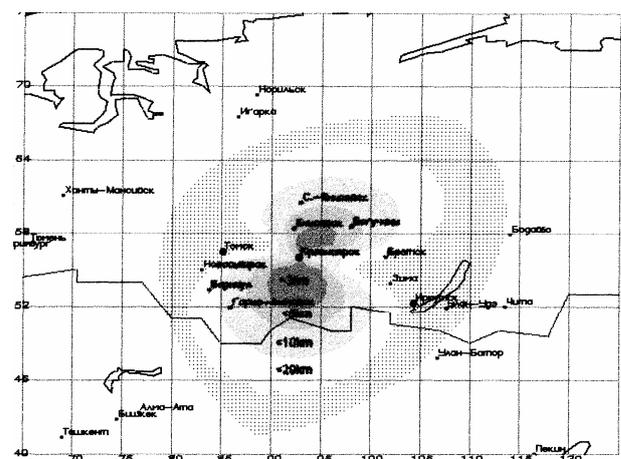


Рис. 1. Зоны контроля экспериментального участка с использованием СРМР

Табл. 1. Характеристики опытного участка

№ п.п.	Погрешность местоопределения, км	Площадь зоны, кв. км	Процент от общей площади
1	менее 1.5	161	-
2	менее 3	167328	3.5
3	менее 5	489078	10
4	менее 10	1242342	26
5	менее 20	2423021	51
6	общая площадь	4702061	100

**МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ**

Большинство опасных атмосферных явлений (ураганы, торнадо, смерчи) сопровождаются интенсивной грозовой деятельностью. При этом существенным образом меняются интенсивность и характеристики потока сигналов от молниевых разрядов из области явления, что позволяет заблаговременно обнаружить опасное явление, определить его координаты, оценить скорость и направление и прогнозировать путь его перемещения. На рис. 2 в качестве примера показаны изолинии интенсивности молниевых разрядов, сопровождавших ураган в Москве в ночь с 20 на 21 июня 1998 г.

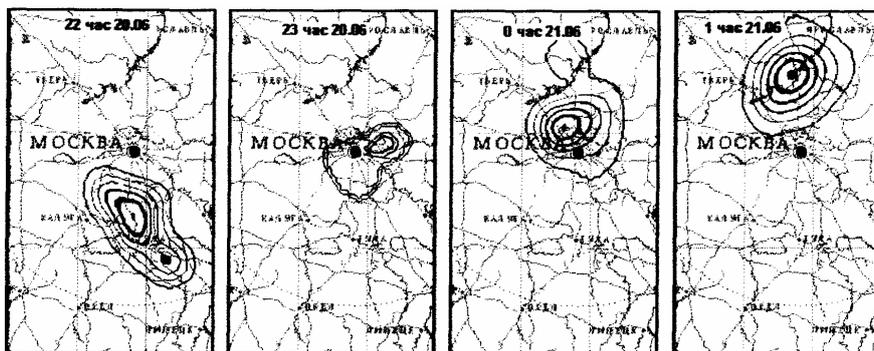


Рис. 2. Изолинии интенсивности молниевых разрядов

Из рисунка хорошо видна динамика перемещения урагана. В результате анализа выявлено очень хорошее совпадение с данными по урагану Гидромеоцентра. Рис.3 иллюстрирует изменение характеристик потока молниевых разрядов из области урагана.

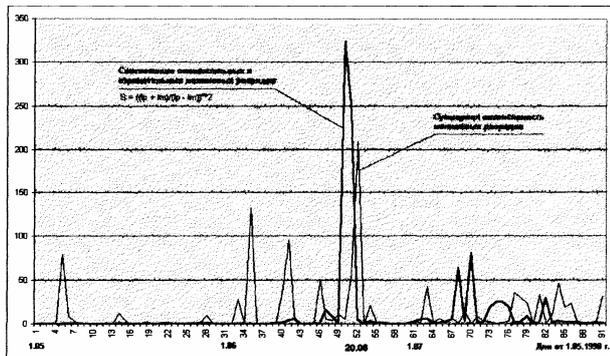


Рис.3. Характеристики потоков молниевых разрядов

По оси X на рис.3 даны дни с 1 мая по 30 июля 1998 г. и показан график изменения интенсивности молниевых разрядов из зоны, радиусом 300 км вокруг Москвы, а также график функции S, характеризующей соотношение межоблачных разрядов и разрядов облако-земля. Из рис. 3 видно, что ураган сопровождался резким увеличением интенсивности молниевых разрядов в московской зоне. Анализ графика функции S показывает, что ураган зародился и был обнаружен почти за сутки до подхода к Москве.

**ПРОГНОЗ ЧС, СВЯЗАННЫХ С РАЗРЯДАМИ МОЛНИЙ В РАЙОНЕ НЕФТЕХРАНИЛИЩ, ГАЗО- И НЕФТЕПРОВОДОВ, ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, АЭС, ХРАНИЛИЩ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

Система грозопеленгации позволяет отслеживать и прогнозировать перемещение грозовых очагов. Организация своевременной выдачи заинтересованным службам информации о приближении грозы или попадании молний в перечисленные объекты позволит предотвратить ЧС или снизить ущерб от него. Риск эксплуатации опасных производств и объектов может быть снижен, если на этапе проектирования при выборе места или трассы учитывать статистические данные о вероятности гроз в выбранном месте. Однако имеющиеся карты грозовой активности довольно грубые и требуют уточнения.

**ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИИ**

Система регистрации молниевых разрядов состоит из нескольких пространственно разнесенных пунктов регистрации (ПР) и обрабатывающего центра. Обмен информацией между пунктами регистрации и обрабатывающим центром осуществляется с помощью системы связи (рис.4). Функционирование системы основано на регистрации электромагнитного излучения, генерируемого молниевыми разрядами, которое распространяется в волноводе Земля - ионосфера на большие расстояния и, достигнув пункта регистрации, вызывает его срабатывание.

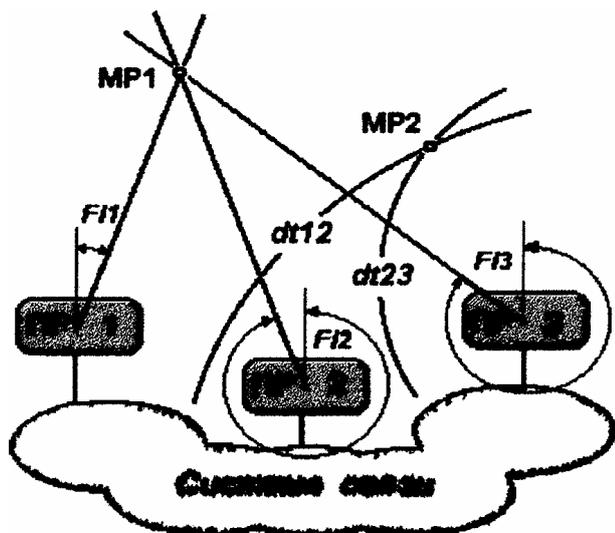


Рис. 4. Структурная схема СРМР

В каждом пункте регистрации измеряется направление (пеленг) на молниевый разряд, время приема сигнала и его параметры. Результаты изме-

рений по каждому молниевому разряду передаются в обрабатывающий центр, где производится расчет координат. При этом используется один из методов: пеленгационный - по пересечению пеленгов из двух и более пунктов регистрации, гиперболический - по пересечению гипербол, образованных разностью времен приема сигналов в трех и более пунктах регистрации, комбинированный. Предусмотрена различная форма отображения информации о грозах в зависимости от конкретных требований потребителя информации.

Созданная система достаточно эффективна и может оказаться полезной не только при решении описанных задач, но и для решения других задач, например, связанных с ионосферным и акустическим мониторингом ядерных испытаний. Разработчики системы готовы активно сотрудничать с заинтересованными сторонами (121352, Москва, ул. Давыдовская, 7, телефон (095) 445-73-43).

## НАЙЗАҒАЙ РАЗРЯДТАЛУ МОНИТОРИНГИСИ

В.А. Григорьев

«Григо» ЖШС

«Мониторинг технологиясы» ҒӨБ-мен (Мәскеу) әзірленген найзағай разрядталуын тіркеу жүйесі қысқаша баяндалады. Бұл жүйесі атмосфералық қауіпті оқиғалар (дауыл, торнадо, дауылды қаракұйын) туралы ТЖ болжауға маңызды, әсіресе қауіпті өндіріс пен нысаналарды пайдаланатын жерде ақпарат алуын қамтамасыз етеді. Құрастырылған автоматикалық жүйе ядролық сынаулардың мониторингісімен байланысты мәселелерін шешуінде пайда болуы мүмкін.

## MONITORING OF LIGHTNING DISCHARGE

V.A. Grigoriev

“Grigo”Ltd

The paper presents a brief description of a lightning discharge recording system developed in NPO “Monitoring techniques” under the direction of V/M/ Moskolenko (Moscow). The system provides information about dangerous environmental occurrences such as tornados and hurricanes, making the forecast of extreme situations possible, especially in the areas of dangerous industries and objects. The created automatic system can be useful in solving the tasks relating to nuclear test monitoring.

[504.064.36:550.4]:546.49

## О ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩЕМ ВЛИЯНИИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ПРИ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВАХ

<sup>1)</sup>Политиков М.И., <sup>1)</sup>Камберов И.М., <sup>1)</sup>Кривченко В.Ф., <sup>2)</sup>Лукашенко С.Н., <sup>2)</sup>Солодухин В.П.

<sup>1)</sup>Институт геофизических исследований ИЯЦ РК, г. Курчатова

<sup>2)</sup>Институт ядерной физики ИЯЦ РК, г. Алматы

Практикой работ установлено, что помимо механического разрушения горных пород под воздействием подземных ядерных взрывов (ПЯВ), значительную долю в дестабилизацию недр вносят процессы внедрения в окружающие породы газорадиоактивных флюидов из ядерных полостей. С ними связано не только формирование теплового поля, непосредственно снижающего прочность горных пород и увеличивающего их пористость, но и формирование по пути следования ореолов техногенного загрязнения геологической среды, включая подземные водоносные горизонты. К сожалению, эта проблема изучена крайне слабо, главным образом, из-за отсутствия надежного аппаратурно-методического обеспечения. И, судя по результатам информационного поиска, конкретных путей ее решения пока еще не найдено.

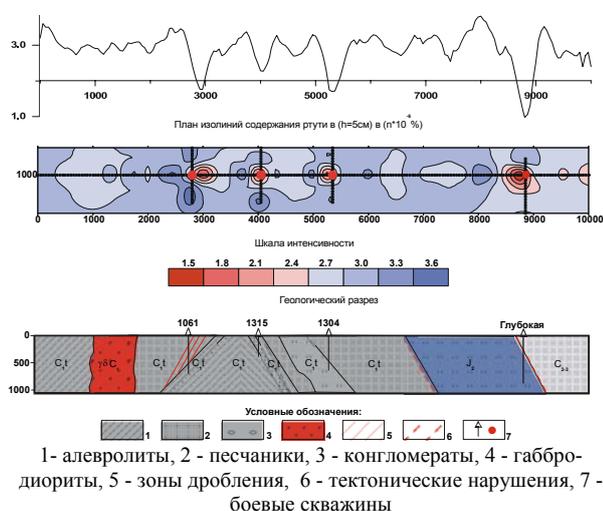
Для изучения теплового поля в районах производства ПЯВ до настоящего времени используются, в основном, данные термометрии - каротажные термограммы по наблюдательным и гидрогеологическим скважинам. Как правило, для решения задач, связанных с изучением теплового поля, количество скважин оказывается недостаточным, их глубина чаще всего не оптимальна. В связи с необходимостью соблюдения технологии термокаротажа, измерения растягиваются на продолжительные сроки и проводятся с большими перерывами относительно времени проведения самих взрывов. Все это, в лучшем случае, позволяет получать обобщенную картину теплового поля, по которой затруднительно решать такие задачи, как, например, задача прослеживания путей прорыва газорадиоактивных флюидов из очага взрыва, играющих исключительную роль в транспортировке и отложении загрязняющих веществ.

В процессе изучения этой задачи авторами предложен новый способ, основанный на использовании данных о тепловом поле в момент своего зарождения (в момент взрыва) и на первоначальной стадии развития (в момент прорыва высокотемпературных газорадиоактивных флюидов из ядерных полостей по разрывным нарушениям и зонам повышенной трещиноватости горных пород, образованных, главным образом, под воздействием ударной волны и сейсмических колебаний). В основе способа - изучение содержания ртути в литохимических пробах, отобранных по определенной системе. На возможности способа укладываются следующие предпосылки.

Известно, что в момент ПЯВ в его центре развивается температура в несколько миллионов градусов, под воздействием которой в некотором объеме горных пород происходит выгорание с образованием газов комплексного состава. В условиях сверхвысоких давлений эти газы находятся в состоянии сжатого флюида, свойства которого значительно ближе к свойствам жидкости, чем к свойствам газа,

находящегося при умеренном давлении [1]. При достижении критического давления в ядерной полости такие флюиды вместе с продуктами ядерного деления должны, в буквальном смысле, выдавливаться за ее пределы и двигаться в направлении снижения литостатического давления, прежде всего, к дневной поверхности - по разрывным нарушениям и зонам повышенной трещиноватости горных пород, образованных под воздействием ядерных взрывов. В процессе движения флюидов, одновременно со снижением общего литостатического давления, создаются возможности активного взаимодействия флюидно-теплового потока с вмещающей средой, сопровождаемое экстракцией из нее и накоплением в этом потоке, прежде всего, щелочных и щелочно-земельных металлов, а также других химических элементов [2]. По фронту движения флюидов, являющихся основным носителем тепло-массопереноса, они претерпевают не только значительные изменения в перепаде давления и температуры, но и смену окислительно-восстановительных свойств и других физико-химических характеристик. Это должно неизбежно вызвать фазовые изменения во всей системе. Так, например, в приповерхностной части геологического разреза процессы окисления восстановительных газов в условиях водно-кислородного геохимического барьера протекает весьма активно. Здесь происходит их разгрузка, сопровождаемая отложением большинства химических элементов. Исключением являются инертные газы и ртуть. Последняя, обладая сравнительно низкой температурой десорбции, высокой проницаемостью за счет ее атомарного состояния, химической инертностью, очень слабой растворимостью в водной среде, должна отгоняться из горных пород по фронту движения флюида и выноситься в атмосферу. Таким образом? должны формироваться области пониженных содержаний ртути, соответствующие форме и соизмеримые с размерами самого флюидно-теплового потока.

Практическая проверка сделанных предположений была проведена на двух участках, характеризующихся различной геологической обстановкой и условиями проведения ядерных взрывов. Один из них - участок Балапан Семипалатинского испытательного полигона, сложенный алевритами, песчаниками и конгломератами карбонового и юрского возраста. Здесь была проведена ртутметрическая съемка (Рис.1) по линии расположения боевых скважин – 1061, 1315, 1304 и «Глубокая», отстоящих друг от друга на расстоянии от 2-х до 5,6 км. Литохимические пробы отбирались с глубины 20 см с шагом опробования 50м и анализировались по методике, разработанной ранее с участием авторов для газортутного анализатора АГП-01, обеспечивающего нижний предел обнаружения на уровне  $3 \cdot 10^{-7}$  вес% [3].



Как и в предыдущем примере, в пределах изученной площади на геохимическом фоне выделяются аномальные значения содержания ртути. Ртутнометрические аномалии могут быть условно разделены на две категории – с повышенным (более  $1 \cdot 10^{-6}$  вес%) и пониженным (менее  $1 \cdot 10^{-6}$  вес%) содержанием ртути. Последние, занимают почти 30% всей исследуемой площади и образуют мозаичную картину в плане. На этом основе достаточно контрастно проявляются линейно-вытянутые узлокальные аномалии, часть из которых пересекает весь участок и выходит за его пределы.

Можно полагать, что формирование аномалий пониженного содержания ртути происходило под воздействием прорывавшихся из ядерных полостей высокотемпературных флюидов. Отличие от примера, приведенного на рис.1, состоит в том, что в первом примере такие прорывы сопровождался выносом ртути в атмосферу по объему «столба обрушения», о чем, как уже отмечалось, свидетельствуют пространственная приуроченность таких аномалий к устьям боевых скважин и их малые площадные размеры. На объекте «Лира» такие аномалии имеют значительно большие площадные размеры и не имеют такой приуроченности к устьям боевых скважин. Это отличие может найти свое объяснение в следующем.

На объекте «Лира», как уже отмечалось, применялись заряды гораздо меньшей мощности и на большей глубине, чем на участке Балапан. В условиях монолитной упруго-вязкой среды Карачаганакского соляного купола, примененной мощности заряда явно не хватало для вертикального прорыва

флюидов. Поэтому, прорывы высокотемпературных флюидов происходили по другим направлениям, а именно, по разрывным нарушениям и зонам повышенной трещиноватости, которые образовывались под воздействием ядерных взрывов в прослоях более хрупких и пористых ангидритов и карбонатов, залегающих здесь с резким угловым несогласием к дневной поверхности. Таким образом аномалии пониженного содержания ртути могли унаследовать их направление и размеры. Удаление эпицентров аномалий от устьев боевых скважин различно - от нескольких десятков до многих сотен метров - что подчеркивает разнонаправленность и струйный характер внедрения газорадиоактивных флюидов в окружающую среду. Подтверждением этого может быть характер ореолов хлора (рис.3), содержание которого определялось по тем же пробам, что и ртуть - из водных вытяжек в ионной форме. Хлор в рассматриваемых условиях мог образоваться только в ядерных полостях за счет термического разложения и радиолиза галита (NaCl). В свободном состоянии образовавшийся хлор выносился в верхние горизонты геологических образований вместе с потоками флюидов, где и формировал свои ореолы в виде различных химических соединений. Из приведенного рис.3 следует, что аномалии пониженного содержания ртути и ореолы хлора пространственно тяготеют друг к другу в местах расположения разрывных нарушений и зон повышенной трещиноватости горных пород. Это может являться доказательством движения обоих элементов по одним и тем же каналам, имеющим непосредственную связь с ядерными полостями.

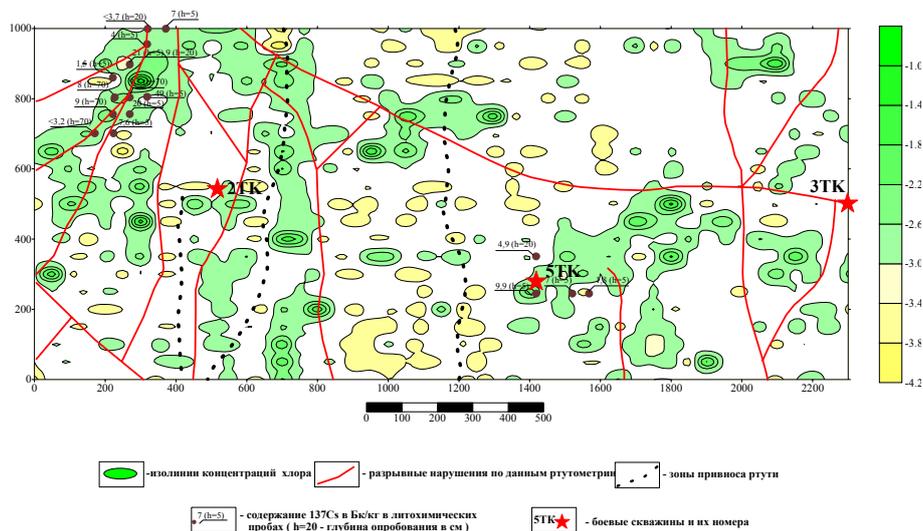


Рис.3. Распределение хлора в атмосферических пробах на объекте "Лира" (lg: \*М моль/100 г.)

Однако полученные материалы не давали ответа на ряд важных вопросов, связанных с дестабилизирующей ролью ПЯВ и радиоактивным загрязнением окружающей среды. Так, оставался неясным вопрос о распространении выявленных аномалий на

глубину, а также вопрос – являются ли отмеченные с поверхности повышенные содержания  $^{137}\text{Cs}$  продуктами выноса из ядерных полостей высокотемпературными газорадиоактивными флюидами, или это следствие его выпадения на дневную поверхность из

атмосферы. Решение этих вопросов, в конечном итоге, важно для получения представления об объемной структуре флюидодинамического режима, существовавшего в момент проведения ПЯВ.

Для получения ответов на поставленные вопросы были изучены литохимические пробы, отобранные по 42 шурфам, пройденным на глубину 130-160 см (рис.4). Шурфы задавались в местах участка с различными значениями содержания ртути (рис.2). Пробы отбирались по одной из стенок каждого шурфа на всю их глубину через 10 см и анализировались по стандартным методикам: на ртуть - в лаборатории ртутьметрии ГО «Каскелен» ИГИ НЯЦ РК, на радионуклиды – в лаборатории физико-химических методов ИЯФ НЯЦ РК.

Полученные результаты кратко сводятся к следующему.

1. По ртутьметрии. На рис. 4, отображающем вертикальное распределение ртути, вырисовывается довольно сложная структура ртутьметрического поля. На его фоне выделяются две сопредельные контрастные аномалии пониженных содержаний ртути, имеющих распространение от поверхности до забоя шурфов. Аналогичная картина наблюдается и по другим шурфам на всю их глубину.

2. По гамма-спектрометрии. Пробы анализировались на  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  по 13 шурфам (1-9 и 15-18). Погоризонтной анализ полученных результатов показывает, что наибольшему загрязнению подвергнут почвенно-растительный слой на глубину порядка 10 см, где содержание  $^{137}\text{Cs}$  достигает 18 - 20 Бк/кг, с последующим снижением его концентрации к забоям шурфов по экспоненте. Распределение других изученных радионуклидов находится на уровне фона по всей глубине шурфа.

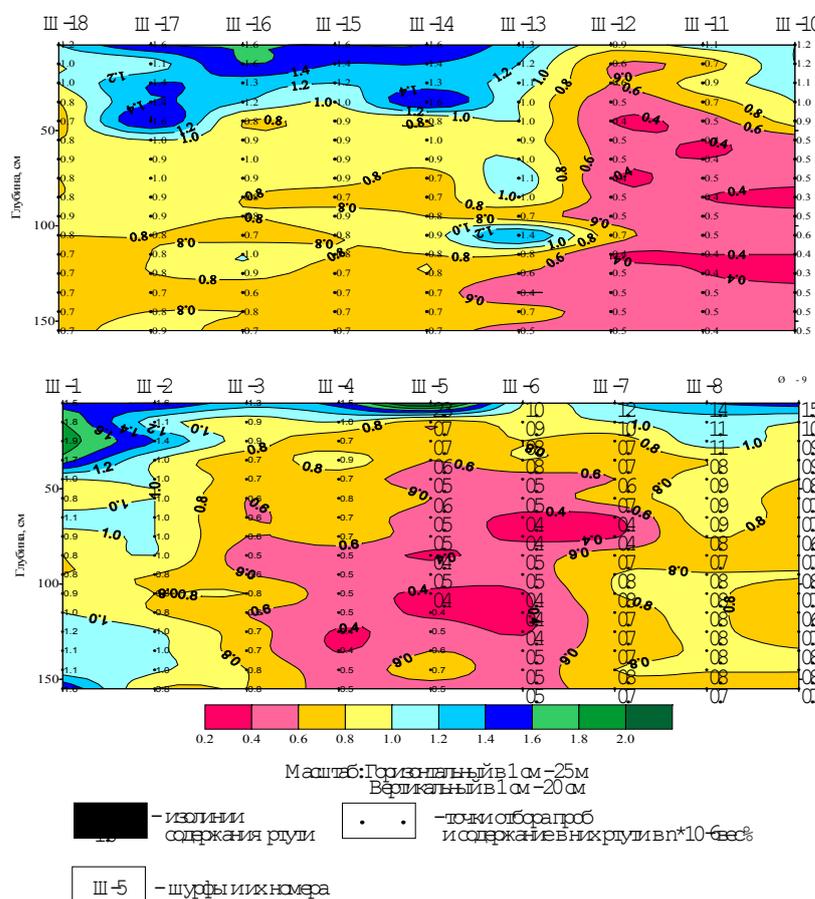


Рис.4. Распределение содержания ртути в литохимических пробах с глубиной. Участок "Лура". Лини шурфов 18-10 (верх), 1-9 (низ)

Отмеченные особенности в распределении радиоактивности указывают на то, что по выявленным каналам прорыва флюидов в атмосферу в момент взрыва выносились преимущественно короткоживущие газообразные изотопы типа ксенона и др., которым отводится существенная роль в радиоактивном загрязнении почвенно-раститель-

ного слоя [5]. Однако, в рассматриваемом случае, из-за отсутствия сведений по региональному фону, оценить их вклад в это загрязнение пока не представляется возможным.

В целом полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Выявленные ртутметрической съемкой аномалии пониженных содержаний ртути в литохимических пробах характеризуют собой каналы прорыва из ядерных полостей в верхние слои геологических образований потоков высокотемпературных газорадиоактивных флюидов. Масштабы и интенсивность их проявления в геохимическом поле определяются энергией газодинамического воздействия на среду и ее физико-механическими свойствами. Внедрение высокотемпературных газорадиоактивных флюидов в окружающую среду носит разнонаправленный струйный характер.
2. Пространственное совпадение ореолов рассеяния хлора с аномально-пониженными значениями содержания ртути свидетельствуют об их единных каналах поступления в окружающую среду, связанных с ядерными полостями.
3. Выходы ореолов аномально-пониженного содержания ртути и ореолов рассеяния хлора за пределы изученной площади свидетельствуют о необходимости продолжения начатых исследований с целью получения ответа на очень важный вопрос – носит ли дезинтеграция горных пород и изменение флюидо-динамического режима на Карачаганакском соляном куполе локальный характер вокруг полостей ПЯВ, или они охватили весь его массив. Для получения ответа необходимо нарастить площадь исследований с охватом всех шести боевых скважин.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Мельник Ю.П. Состояние и свойства флюидов в условиях глубинного петрогенеза // Проблемы физико-химической петрологии. М.: Наука, 1979 - Т.2.
2. Кузевный В.С. и др. Флюидный режим Земли и проблема крупномасштабного рудообразования // Новосибирск «Наука» СО АН СССР, 1991.
3. Жеребцов Ю.Д., Политиков М.И., Сикорский В.Ю. Технология ртутметрических поисков рудных месторождений./Под редакцией В.П. Федорчука. - М.: Недра, 1992.- 176 с.
4. Израэль Ю.А., Петров В.Н. Радиоактивное загрязнение природных сред при подземных ядерных взрывах и методы его прогнозирования // Гидрометеорологическое издательство. Ленинград, 1970.
5. Джонсон Г.В. и др. Подземные ядерные взрывы. ж. Геофизические исследования, 64, № 10 // Калифорнийский университет, Лаборатория излучений им. Лоуренса, 1959.

#### **ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДА ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРТАҒА ЖЫЛУЛЫҚ АҒЫННЫҢ ТҰРАҚСЫЗДАНДЫРУ ҒЫҚПАЛЫ ТУРАЛЫ**

<sup>1</sup>М.И. Политиков, <sup>1</sup>И.М. Камберов, <sup>1</sup>В.Ф. Кривченко, <sup>2</sup>С.Н. Лукашенко, <sup>2</sup>В.П. Солодухин

<sup>1</sup>ҚР ҰҰО Геофизикалық зерттеулер институты  
<sup>2</sup>ҚР ҰҰО Ядролық физика институты

Жұмыстар практикасында, жер астындағы ядролық жарылыстар әсерінен таужыныстарының механикалық бұзылуынан басқа, жер қойнауының тұрақсыздандыруына едәуір бөлшегін, ядролық қуыстардан шығатын газдырадиоактивті флюидтердің қоршаған таужыныстарына ену процесстері еңгізетіні белгіленген. Олармен, таужыныстардың беріктігін төмендететін және кеуектігін жоғарлататын жылу өрісі қалыптасуымен бірге геологиялық ортаның, жер астындағы сулылық горизонттарын қоса, техногендік ластануының ореолы қалыптасуы байланысты. Өкінішке орай, бұл проблема аз зерделген, ең алдымен, сенімді апаратуралық-әдістемелік қамтамасыздығы болмауымен. Ақпараттық іздеу нәтижелеріне қарағанда, оны шешетін жолы табылмаған.

#### **THE DESTABILIZING INFLUENCE OF HEAT FLOW ON THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT DURING UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS**

<sup>1</sup>M.I. Politikov, <sup>1</sup>I.M. Kamberov, <sup>1</sup>V.F. Krivchenko, <sup>2</sup>S.N. Lukashenko, <sup>2</sup>V.P. Solodukhin

<sup>1</sup>Institute of Geophysical Research NNC RK  
<sup>2</sup>Institute of Nuclear Physics NNC RK

The study has determined the fact that the processes of gas-radioactive ectoplasm intrusion from nuclear cavities in the geological environment bring the significant contribution in bosom destabilizing besides the mechanical rock destruction as affected by underground nuclear explosions.

Not only heat field forming that reduces the rock resistance and increases its porosity is related to it, but also the forming, on the way, of man-caused contamination aureoles of the geological environment, including the underground water bearing horizon. Unfortunately, this problem is hardly studied, mainly for the lack of reliable apparatus and methods. Judging by the results of information search, the best way to solve the problem is not yet known.

УДК 622.236:621.039.9

## ОБ ОДНОЙ МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ХЛОРА В СУХИХ ЯДЕРНЫХ ПОЛОСТЯХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОСТАТОЧНОГО РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА

<sup>1</sup>Мурзадилов Т.Д., <sup>2</sup>Беляшов Д.Н., <sup>1</sup>Мохов В.А., <sup>3</sup>Моренко В.С., <sup>3</sup>Глушенко В.Н.

<sup>1</sup>Институт геофизических исследований ИЯЦ РК, г. Курчатов

<sup>2</sup>ТОО «Институт естественных наук», г. Алматы

<sup>3</sup>Институт ядерной физики ИЯЦ РК, г. Алматы

Разработана методика расчета объемов генерации хлора в ядерных полостях, заложенных в массивах каменной соли под воздействием остаточного радиоактивного излучения продуктов взрыва. Расчеты основаны на оценках выхода продуктов взрыва и на физических принципах диссинативного рассеяния энергии распада радиоактивных загрязнителей. В качестве примера показано, что при 10 килотонном взрыве образуется 307 кг поствзрывного хлора - продукта радиолитического распада каменной соли.

### ВВЕДЕНИЕ

В ядерных полостях, созданных в результате подземных ядерных взрывов в соляных (NaCl) толщах земной коры, со временем протекают различные радиационно-химические процессы, в частности, с образованием газообразного хлора. Возможность существования такого факта представляет существенный интерес с экологической точки зрения, поскольку хлор является токсичным веществом и его выход на дневную поверхность несет определенную опасность для флоры и фауны. Это подтверждается косвенными фактами. Так, на одном из полигонов Казахстана (Азгир) различными официальными организациями не раз фиксировались случаи обесцвечивания растений и насекомых, появление язв на конечностях у лошадей и т.п., что может быть связано с наличием в почвах избытка хлора и его производных кислот - соляной, хлорноватистой и др., оказывающих обесцвечивающее и разрушающее воздействие. С учетом важности вопроса, в данной работе сделана попытка теоретически оценить возможные объемы генерации хлора в полостях ПЯВ, а также определить механизмы и факторы, влияющие на динамику этого процесса.

### ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Рассмотрим некую сухую ядерную полость, образованную ядерным взрывом в соляной толще, существенный состав которой определяется в основном содержанием NaCl. При ядерном взрыве продукты распада исходного заряда в существенной концентрации представлены в основном изотопами с атомными массами в пределах от 80 до 150 а.е.м. и имеют  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -активность. Кроме того, в продуктах взрыва присутствуют остатки невыгоревшего вещества заряда (в дальнейшем их участие в генерации хлора не учитывается, т.к. в доступных авторам источниках информация по их выходу не обнаружена).

Поскольку возраст существующих в настоящее время ядерных полостей превышает один год, то с точки зрения поставленной задачи, то в качестве основных поствзрывных радиоактивных загрязнителей представляют интерес изотопы с периодом полураспада более одного года. С учетом этого замечания, по справочным данным [1], выделены и даны в табл. 1 изотопы, образующиеся при взрыве уранового заряда.

Приведенные выходы имеют статистический характер и получены для тепловых нейтронов. При взрыве спектр нейтронов сдвинут в высокотемпературную область, однако следует ожидать, что в целом отношение выходов отдельных изотопов сохраняется.

По данным табл. 1 вычислим относительную (условную) активность вышеприведенных радиоактивных веществ по общеизвестной формуле ( $t=0$ ):

$$A_i = n_{i0} \lambda_i \propto \frac{n_{i0}}{T_{1/2i}} \quad (1)$$

где,  $\lambda_i$  - постоянная распада  $i$ -го изотопа,  $n_{i0}$  - выход изотопа «  $i$  »,  $T_{1/2i}$  - период полураспада изотопа вида  $i$ .

Результаты вычислений приведены в Табл. 2. Из Табл. 2 видно, что наибольшей активностью обладают  $_{38}\text{Sr}^{90}$ ,  $_{51}\text{Sb}^{125}$ ,  $_{55}\text{Cs}^{135}$ ,  $_{55}\text{Cs}^{137}$ ,  $_{61}\text{Pm}^{147}$ ,  $_{62}\text{Sm}^{151}$ ,  $_{63}\text{Eu}^{155}$ ,  $_{64}\text{Cd}^{148}$ , активность остальных изотопов значительно меньше, следовательно, в радиационно-химических превращениях вещества они не должны играть существенной роли.

Пусть  $M_i$  масса изотопа вида  $i$  в общей массе радиоактивных продуктов распада при ядерном взрыве в полости, тогда

$$M_i = n_i M_0 \quad (2)$$

где  $n_i$  - доля изотопа вида  $i$  в продуктах взрыва на момент времени  $t$ ,  $M_0$  - общая масса продуктов распада.

Известно эмпирическое отношение, имеющее статистический характер:

$$M_0 = 5.5 \cdot 10^{-2} E [км], \quad (3)$$

**ОБ ОДНОЙ МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ХЛОРА В СУХИХ ЯДЕРНЫХ ПОЛОСТЯХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОСТАТОЧНОГО РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА**

где E - мощность ядерного взрыва в килотоннах тротилового эквивалента (кт).

Известен также эмпирический факт, что радиоактивные продукты взрыва концентрируются в тонком приповерхностном слое у стенок ядерной полости. Исходя из этого, определим закон распределения их концентрации как функцию глубины внедрения. Для этого воспользуемся следующими рассуждениями: «изменение потока раскаленных продуктов взрыва в твердые вмещающие породы при их прохождении слоя dr пропорцио-

нальна самому потоку и толщине слоя». Аналитически это можно записать в виде уравнения:

$$dj_i = -\alpha_i j_i dr, \quad (4)$$

где  $j = \rho_i V$  - поток внедряемого вещества вида  $i$  в твердые горные породы,  $\rho_i$  - плотность вещества внедрения вида  $i$  (концентрация),  $dr$  - слой на котором происходит ослабление потока,  $\alpha_i$  - коэффициент пропорциональности,  $V$  - скорость внедрения. Знак (-) указывает на то, что интенсивность потока уменьшается по мере внедрения продуктов взрыва.

Табл. 1. Данные об изотопах, образующихся при взрыве уранового заряда

Изотопы	Se <sup>74</sup>	Sr <sup>90</sup>	Zr <sup>93</sup>	Nb <sup>94</sup>	Tc <sup>98</sup>	Tc <sup>99</sup>	Pd <sup>107</sup>	Cd <sup>113</sup>	Sb <sup>125</sup>	I <sup>129</sup>	Cs <sup>134</sup>	Cs <sup>137</sup>	Nd <sup>144</sup>	Pm <sup>147</sup>	Sm <sup>151</sup>	Eu <sup>155</sup>	Cd <sup>148</sup>
Вид распада	$\beta^-$	$\beta^-$	$\beta^-$	$\beta^-, \gamma$	$\beta^-, \gamma$	$\beta^-$	$\beta^-$	$\beta^-$	$\beta^-, \gamma$	$\beta^-, \gamma$	$\beta^-, \gamma$	$\beta^-, \gamma$	$\alpha$	$\beta^-$	$\beta^-, \gamma$	$\beta^-, \gamma$	$\alpha$
Период полураспада, (лет)	$6.5 \cdot 10^4$	27	$1.5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^4$	$1.5 \cdot 10^6$	$2.2 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^6$	13.6	2.71	$1.7 \cdot 10^7$	2.05	30	$2.4 \cdot 10^{15}$	2.62	87	1.8	84
Энергия, (МэВ)	$\alpha$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.83	-	-	-	3.18
	$\beta$	0.16	0.55	0.06	0.49	0.3	0.29	0.04	0.58	0.61	0.15	0.66	0.51	-	0.22	0.08	0.25
	$\gamma$	-	-	-	0.79	0.7	-	-	-	0.5	0.04	0.66	0.66	-	-	0.02	0.09
Выход в продукты взрыва, %	$10^{-1}$	5	5	6	4	4	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	2	5	6	3	0.8	0.5	$3 \cdot 10^{-2}$	0.7

Табл. 2. Вычисленная условная активность образовавшихся изотопов

Изотопы	Se <sup>74</sup>	Sr <sup>90</sup>	Zr <sup>93</sup>	Nb <sup>94</sup>	Tc <sup>98</sup>	Tc <sup>99</sup>	Pd <sup>107</sup>	Cd <sup>113</sup>	Sb <sup>125</sup>	I <sup>129</sup>	Cs <sup>134</sup>	Cs <sup>137</sup>	Na <sup>144</sup>	Pm <sup>147</sup>	Sm <sup>151</sup>	Eu <sup>155</sup>	Cd <sup>148</sup>
T	$2 \cdot 10^{11}$	$8 \cdot 10^8$	$4.72 \cdot 10^{13}$	$6.3 \cdot 10^{11}$	$4.7 \cdot 10^{13}$	$6.7 \cdot 10^{12}$	$2.2 \cdot 10^{14}$	$4.3 \cdot 10^8$	$8.5 \cdot 10^7$	$5.4 \cdot 10^{14}$	$6.4 \cdot 10^7$	$9.4 \cdot 10^8$	$7.6 \cdot 10^{22}$	$8.3 \cdot 10^7$	$2.7 \cdot 10^9$	$5.7 \cdot 10^7$	$2.6 \cdot 10^9$
A <sub>i</sub>	$0.5 \cdot 10^{-12}$	$0.6 \cdot 10^{-8}$	$10^{-13}$	$10^{-11}$	$0.8 \cdot 10^{-13}$	$0.6 \cdot 10^{-12}$	$0.5 \cdot 10^{-16}$	$0.2 \cdot 10^{-10}$	$0.9 \cdot 10^{-9}$	$0.4 \cdot 10^{-14}$	$0.8 \cdot 10^{-7}$	$0.6 \cdot 10^{-8}$	$0.4 \cdot 10^{-22}$	$0.9 \cdot 10^{-8}$	$0.2 \cdot 10^{-9}$	$0.5 \cdot 10^{-9}$	$0.3 \cdot 10^{-9}$

Подставляя значение  $j$  в (4) и затем интегрируя его, находим явный вид зависимости плотности (концентрации) изотопа вида  $i$  от глубины внедрения (закон Брэга)

$$\rho_i = A_i e^{-\alpha_i r} (R_{ков} \leq r < \infty), \quad (5)$$

где  $A_i$  - постоянная интегрирования,  $R_{ков}$  - эффективный радиус полости. Постоянные  $A_i$  и  $\alpha_i$  определяются из условия нормировки на общую массу радиоактивного изотопа вида  $i$ .

Действительно, из закона сохранения вещества следует, что :

$$M_i = \int_{R_{ков}}^{\infty} 4\pi r^2 \rho_i dr = 4\pi A_i \left[ \frac{R_{ков}^2}{\alpha_i} + \frac{2R_{ков}}{\alpha_i^2} - \frac{2}{\alpha_i^3} \right] e^{-\alpha_i R_{ков}} \quad (6)$$

где  $M_i$  определяется из выражения (2).

Из вышеотмеченного факта, что радиоактивные вещества концентрируются в тонком приповерхностном слое толщины  $h$  внутренней поверхности полости (до 98 %) следует:

$$0.98M_i = \int_{R_{ков}}^h 4\pi r^2 \rho_i dr = 4\pi A_i \left\{ e^{-\alpha_i (R_{ков}+h)} \left[ \frac{(R_{ков}+h)^2}{\alpha_i} - \frac{2(R_{ков}+h)}{\alpha_i^2} + \frac{2}{\alpha_i^3} \right] - e^{-\alpha_i R_{ков}} \left[ -\frac{R_{ков}^2}{\alpha_i} - \frac{2R_{ков}}{\alpha_i^2} + \frac{2}{\alpha_i^3} \right] \right\} \quad (7)$$

Решая систему (6) - (7) и учитывая, что  $h/R_{ков} \ll 1$ , находим:

$$\begin{cases} \alpha_i = -\frac{1}{h} \ln 0.02 \approx \frac{3.9}{h} \\ A_i = \frac{7.8 \cdot 10^{-2} M_i}{4\pi R_{ков}^2} e^{\frac{3.9}{h} R_{ков}} \end{cases} \quad (8)-(9)$$

Подставляя (8) и (9) в (5), находим явный вид распределения радиоактивных изотопов в стенках ядерной полости.

$$\rho_i = \frac{7.8 \cdot 10^{-2} M_i}{4\pi R_{ков}^2} e^{-\frac{3.9}{h} z}, \quad (10)$$

где  $Z = r - R_{ков}$  - глубина внедрения изотопа вида  $i$  на уровне концентрации  $\rho_i$  в стенки ядерной полости. Величина  $n_i$  в выражении (2), вообще говоря, является функцией времени и подчиняется закону радиоактивного распада, т.е.

$$n_i = n_{i0} e^{-\lambda_i t}, \quad (11)$$

где  $\lambda_i$  - постоянная распада изотопа вида  $i$  ( $\lambda_i = 0.693/T_{1/2i}$ ),  $n_{i0}$  - доля изотопа вида  $i$  в общей массе продуктов деления в начальный момент времени (табл.1).

Величину  $R_{ков}$  в (10) можно выразить через мощность ядерного взрыва, воспользовавшись известной эмпирической формулой (2), т.е.:

$$R_{ков} \approx 10E^{1/3}. \quad (12)$$

На следующем этапе по общеизвестной формуле и с учетом (2), (10), (11) и (12) определяем число радиоактивных атомов в единице объема у стенки полости в момент времени  $t$ :

$$N_i = \frac{\rho_i}{\mu_i} N_A = \frac{4.4 \cdot 10^{-5} E^{\frac{1}{3}} n_{io} N_A}{4\pi h \mu_i} e^{-\lambda_i t - \frac{3.9}{h} z}, \quad (13)$$

где  $N_A$  – число Авогадро,  $\mu_i$  – молярная масса изотопа вида  $i$ .

Дифференцируя по времени выражение (13) и умножая полученный результат на энергию испускаемых изотопами частиц, получаем выражение для объемной плотности энергии радиоактивного излучения:

$$W_i = \varepsilon_{io} \left| \frac{dN_i}{dt} \right| = \frac{4.4 \cdot 10^{-5} E^{\frac{1}{3}} n_{io} \varepsilon_{io} \lambda_i}{4\pi h \mu_i} e^{-\lambda_i t - \frac{3.9}{h} z}, \quad (14)$$

где  $\varepsilon_{io}$  – энергия испускаемых изотопом вида  $i$  частиц ( $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  – частицы).

В случае, когда вмещающие полость горные породы представлены в основном каменной солью (NaCl), испускаемые изотопом вида  $i$  частицы, рассеиваясь на атомах решетки NaCl, разрушают ее, выбивая атомы хлора. При этом на месте выбитых атомов в кристаллической решетке появляются вакансии – дырки и, как следствие, в веществе образуются как бы две псевдогазовые фазы. Это – фаза псевдогаза из атомов хлора и псевдофаза дырок, которые при подпитке энергией распада радиоактивных элементов начинают расширяться в окружающее пространство. Очевидно, что при стационарном объемном выделении энергии, между концентрациями дырок и атомов хлора должно существовать динамическое равновесие  $-\rho_{дыр} = \rho_{Cl}$ . При нарушении условия стационарности во времени и неоднородности распределения радиоактивных изотопов в пространстве условие равновесия нарушается и  $\rho_{дыр}$  в каждой точке уже не будет равно  $\rho_{Cl}$ .

В общем случае, между концентрациями дырок и свободных атомов хлора должны существовать какие-то локальные функциональные связи, т.е.

$$\begin{aligned} \varphi_1 \left( \frac{\partial \rho_{дыр}}{\partial t}, \rho_{Cl}, t \right) &= 0 \\ \varphi_2 \left( \frac{\partial \rho_{Cl}}{\partial t}, \rho_{дыр}, t \right) &= 0 \end{aligned}, \quad (15)$$

где  $\rho_{дыр}$  – концентрация дырок в момент времени  $t$  в точке  $Z=r-R_{ков}$ ,  $\rho_{Cl}$  – концентрация атомов хлора в той же точке и в тот же момент времени,  $\partial \rho_{дыр} / \partial t$  и  $\partial \rho_{Cl} / \partial t$  – локальные скорости накопления дырок и атомов хлора в момент времени  $t$ .

Из физических соображений ясно, что, поскольку периоды полураспада радионуклидов существенно больше по сравнению с временем релаксации процессов рекомбинации дырок и атомов Cl, то  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  не должны явно зависеть от времени  $t$ . Поэтому, полагая, что  $\rho_{Cl}$  и  $\rho_{дыр}$ ,  $\partial \rho_{Cl} / \partial t$ ,  $\partial \rho_{дыр} / \partial t$  малы и разлагая (15) в ряд Маклорена, а затем ограничившись линейными членами разложения, находим:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho_{дыр}}{\partial t} = -\beta \rho_{Cl} \\ \frac{\partial \rho_{Cl}}{\partial t} = -\gamma \rho_{дыр} \end{cases}, \quad (16)-(17)$$

где  $\beta > 0$  и  $\gamma > 0$  – кинетические коэффициенты, формально – отношение коэффициентов разложения в ряду Маклорена при линейных членах.

Знак (-) перед  $\beta$  и  $\gamma$  означает, что увеличение одной из псевдогазовых фаз  $\rho_{Cl}$  или  $\rho_{дыр}$  приводит к уменьшению скорости накопления другой.

Разрешая (16) (17) относительно  $\rho_{дыр}$  находим:

$$\rho_{дыр} = C_1(z) I^{\sqrt{\beta t}} + C_2(z) e^{-\sqrt{\beta t}}, \quad (18)$$

где  $C_1(z)$  и  $C_2(z)$  – «постоянные» интегрирования.

С другой стороны, из физических соображений  $\rho_{дыр}$  должна определяться объемным выделением энергии радиоактивного вещества, т.е.

$$\rho_{дыр} = \varphi_3 (w_{iv}) w_{iv} = \varphi_4 (\rho_{дыр}). \quad (19)$$

Полагая, как и в предыдущем случае, что  $\rho_{дыр}$  мало, ограничимся линейным членом разложения по степеням  $\rho_{дыр}$  в  $\varphi_4 (\rho_{дыр})$ , и учитывая, что  $\varphi_3(0) = 0$ , а также (14) находим:

$$\rho_{дыр} = A_1 W_{iv} = A I^{-\lambda_i t - \frac{3.9}{h} z}, \quad (20)$$

где

$$A = A_1 \cdot \frac{4.4 \cdot 10^{-5} E^{\frac{1}{3}} N_A n_{io} \lambda_i \varepsilon_{io}}{4\pi h \mu_i} \quad (21)$$

Сравнивая (20) и (18), определяем постоянные интегрирования :

$$C_1(z) = 0, \quad C_2(z) = A I^{-\lambda_i t - \frac{3.9}{h} z} \text{ и } \sqrt{\gamma \beta} = \lambda_i \quad (22)$$

Подставляя (20) в (16), определяем  $\rho_{Cl}$ .

$$\rho_{Cl} = \frac{\lambda_i A}{\beta} I^{-\lambda_i t - \frac{3.9}{h} z} \quad (23)$$

В выражении (23) остается неопределенным коэффициент  $A$ , поскольку не определен  $A_1$  в (21). Поэтому воспользуемся следующими общими соображениями. В радиационной химии (химии высоких энергий) обычно принято определять выход количества атомов при их облучении быстрыми частицами в пересчете на некоторую энергетическую дозу  $\varepsilon_1$ , например, на 100 эв, что связано с особенностями поглощения веществом энергии радиации [2]. Пусть выход (образование) количества атомов свободного хлора на энергию  $\varepsilon_1$  составит  $P_1$  атомов. Тогда за период времени  $dt$  согласно (14) в единице объема образуется  $dn_{Cl}$  атомов хлора, т.е.:

$$dn_{Cl} = -\frac{W_{iv} P_1}{\varepsilon_1} dt, \quad (24)$$

где  $\varepsilon_i$  – доза энергии быстрой частицы на которую приходится образование  $P_i$  атомов свободного хлора.

С другой стороны, согласно известной формуле,  $d\rho_{Cl}$  и  $dn_{Cl}$  связаны отношением:

$$d\rho_{Cl} = \frac{\mu_{Cl}}{N_A} dn_{Cl} \quad (25)$$

где  $\mu_{Cl}$  – молярная масса хлора,  $N_A$  – число Авогадро.

Подставляя (24) в (25) и с учетом (14) находим скорость изменения концентрации для хлора

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{Cl}}{dt} &= \frac{\mu_{Cl}}{N_A} \cdot \frac{W_{iv} P_i}{\varepsilon_i} = \\ &= \frac{4.4 \cdot 10^{-5} E^{\frac{1}{3}} \varepsilon_{io} n_{io} \lambda_i \mu_{Cl}}{4\pi h \mu_i} 1^{-\lambda_i t - \frac{3.9}{h} z} \end{aligned} \quad (26)$$

Дифференцируя выражение (23) по времени  $t$  и сравнивая полученный результат с (26), определяем коэффициент  $\lambda_i A / \beta$ .

$$\frac{\lambda_i A}{\beta} = \frac{4.4 \cdot 10^{-5} E^{\frac{1}{3}} \varepsilon_{io} n_{io} P_i \mu_{Cl}}{4\pi h \mu_i \varepsilon_i} \quad (27)$$

Для определения  $P_i$  воспользуемся теорией рассеяния быстрых частиц на кристаллической решетке.

Рассмотрим только такие взаимодействия, которые приводят к выбиванию атомов хлора из узлов кристаллической решетки NaCl. При этом вначале рассмотрим единичное взаимодействие, приводящее к появлению свободного атома.

Пусть быстро движущаяся частица массы  $m_1$ , обладающая скоростью  $V_1$  и кинетической энергией  $T_1$ , сталкивается с одним из атомов кристаллической решетки. При этом возможны два варианта рассеяния этой частицы, а именно, упругое и не упругое с диссипацией энергии. Нас будет интересовать неупругое рассеяние, ибо только оно приводит к разрывам химической связи в решетке и соответственно к появлению свободного атома, в данном случае свободного хлора.

Пусть после неупругого столкновения быстрой частицы с атомами решетки исходная частица приобретет скорость  $V_1'$  и энергию  $T_{11}$ . Выбитая из решетки частица – скорость  $V_2$  и кинетическую энергию  $T_2$ . При этом предположим, что последняя до взаимодействия находилась в состоянии покоя. Такое предположение вполне допустимо, поскольку ее тепловая энергия существенно меньше энергии  $T_1$  и энергии химической связи. Тогда, согласно законам сохранения импульса и энергии имеем следующую систему уравнений:

$$m_1 V_1 = m_1 V_1' \cos \theta_1 + m_2 V_2 \cos \theta_2 \quad (28)$$

$$m_1 V_1' \sin \theta_1 = m_2 V_2 \sin \theta_2 \quad (29)$$

$$m_1 V_1'^2 = m_1 V_1'^2 + m_2 V_2'^2 + 2\varepsilon_{ce} \quad (30)$$

$$\varepsilon_{ce} = \Delta H / N_A \quad (31)$$

где  $m_1$  – масса быстрой частицы,  $m_2$  – масса выбиваемой частицы (атома хлора),  $m_1 V_1'$  – модуль импульса быстрой частицы,  $m_2 V_2'$  – модуль импульса выбиваемой частицы,  $\theta_1$  и  $\theta_2$  – углы рассеяния быстрой и выбиваемой частиц соответственно относительно направления действия первичного импульса,  $T_1 = 1/2 m_1 V_1^2$  и  $T_{11} = 1/2 m_1 V_1'^2$  – кинетическая энергия выбиваемой частицы после взаимодействия,  $\varepsilon_{ce}$  – энергия химической связи выбиваемой частицы после взаимодействия,  $\Delta H$  – молярная энтальпия образования решетки,  $N_A$  – число Авогадро. Разрешая систему (28)-(31) относительно  $T_{11}$  и  $T_2$  находим:

$$\begin{aligned} \frac{T_{11}}{T_1} &= 2 \frac{x^2}{1+x} \cos^2 \Theta_1 + \frac{1-x}{1+x} - \frac{1}{1+x} \frac{\varepsilon_{ce}}{T_1} \pm \\ &\pm 2 \frac{\cos \Theta_1}{1+x} \sqrt{\frac{x^2 \cos^2 \Theta_1}{(1+x)^2} + \frac{1-x}{1+x} - \frac{1}{1+x} \frac{\varepsilon_{ce}}{T_1}} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \frac{T_2}{T_1} &= 2 \frac{x}{(1+x)^2} \cos^2 \Theta_2 - \frac{x}{1+x} \frac{\varepsilon_{ce}}{T_1} \pm \\ &\pm 2 \sqrt{\frac{x}{(1+x)^2} \cos^2 \Theta_2} \sqrt{\frac{x \cos^2 \Theta_2}{(1+x)^2} - \frac{x}{1+x} \frac{\varepsilon_{ce}}{T_1}} \end{aligned} \quad (33)$$

$$x = m_1 / m_2 \quad (34)$$

Поскольку нас в дальнейшем будут интересовать только энергетические характеристики рассеяния в кристаллической решетке, в которой все направления рассеяния реализуются практически равновероятно за время «жизни» быстрой частицы, то проведем усреднение (32) и (33) по углам  $\theta_1$  и  $\theta_2$ .

$$\begin{cases} \overline{\frac{T_{11}}{T_1}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{T_{11}}{T_1} d\Theta = \frac{x^2}{(1+x)^2} + \frac{1-x}{1+x} - \frac{1}{1+x} \frac{\varepsilon_{ce}}{T_1} \\ \overline{\frac{T_2}{T_1}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{T_2}{T_1} d\Theta = \frac{x}{(1+x)^2} - \frac{x}{1+x} \frac{\varepsilon_{ce}}{T_1} \end{cases} \quad (35)-(36)$$

Анализ выражений (35) и (36) показывает, что после взаимодействия кинетическая энергия быстрой частицы существенно большая, чем энергия выбитой, если масса первой значительно меньше, чем масса второй, что имеет место, если быстрые частицы  $\alpha$ ,  $\beta$  или  $\gamma$  - частицы, а выбиваемые частицы атомы хлора.

Вторичное же рассеяние выбитых тяжелых частиц приводит к резкой потере их первичной энергии. Следовательно, применительно к данной задаче, концентрация квазигаса свободных атомов хлора в кристаллической решетке в основном обязано неупругому рассеянию  $\alpha$ ,  $\beta$  - частиц и комптоновскому электрону  $\gamma$  - кванта. Вклад же вторичных тяжелых атомов в этот процесс не столь существен. При этом следует считать, что выражения (35) и (36)

приемлемы и для расчета по выходу свободных атомов рассеяния  $\gamma$ - квантов, поскольку последние гарантируют по механизму комптоновского рассеяния быстрые электроны с энергией почти равной энергии  $\gamma$  - кванта. Поэтому в дальнейших расчетах в (34) для  $\gamma$  - квантов за массу  $m_1$  необходимо принимать массу электрона.

Обозначим:

$$a = \frac{x^2}{(1+x)^2} + \frac{1-x}{1+x} - \frac{1}{1+x} \frac{\varepsilon_{св}}{T_1}, \quad (36)$$

тогда

$$\overline{T_{11}} = aT_1 \quad (37)$$

Как отмечалось выше, почти каждое неупругое взаимодействие сопровождается образованием свободного атома хлора до тех пор, пока кинетическая энергия первичной быстрой частицы не сравняется с энергией химической связи и общий выход квазигаса определится в основном только этой частицей. Отсюда следует, что верхняя граница выхода свободных атомов должна равняться числу неупругих столкновений до момента времени, пока ее энергия не уменьшится до уровня энергии химической связи  $\varepsilon_{св}$ . Определим это число столкновений, воспользовавшись следующими рассуждениями.

После первого неупругого столкновения быстрая частица должна уносить энергию  $T_{11L} = aT_1$ , после второго -  $a^2T_1$ , после третьего -  $a^3T_1$  и так далее. После  $K$ -го столкновения быстрая частица будет иметь энергию:

$$T_{11K} = a^K T_1 \quad (38)$$

Согласно вышеизложенному, число атомов, выбитых быстрой частицей, определится уравнением

$$a^K T_1 = \varepsilon_{св} \quad (39)$$

Решая данное уравнение относительно  $K$ , находим:

$$K = \left[ \ln \frac{\varepsilon_{св}}{T_1} \right] / \ln a = \left[ \ln \frac{T_1}{\varepsilon_{св}} \right] / \ln \frac{1}{a} \quad (40)$$

Для электронов ( $\beta$ -частицы)  $x = m_e / m_{Cl} \approx 1.6 \cdot 10^{-5} \ll 1$ , поэтому:

$$a = a_k \approx 1 - 2x - (1+x) \frac{\varepsilon_{св}}{T_1} \quad (41)$$

Кроме того, энергия испускаемых при радиоактивном распаде частиц гораздо больше по сравнению с энергией химической связи атома в кристаллической решетке, т.е.  $\varepsilon_{св} / T_1 \ll 1$ , и полагая  $T_1 = \varepsilon_{oi}$ , находим:

$$K_{\gamma, \beta Cl} \approx \frac{1}{2x} \ln \frac{\varepsilon_{oi}}{\varepsilon_{св}} = 3.3 \cdot 10^4 \ln \frac{\varepsilon_{oi}}{\Delta H} N_A \quad (42)$$

Аналогично для  $\alpha$  частиц ( $x = 0.06 \ll 1$ )

$$K_{\alpha Cl} \approx \frac{1}{2x} \ln \frac{\varepsilon_{oi}}{\varepsilon_{св}} = 17.71 \ln \frac{\varepsilon_{oi}}{\Delta H} N_A \quad (43)$$

Согласно определению  $P_i$  - выход атомов хлора на  $\varepsilon_1$  энергии:

$$P_i = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{oi}} K = \frac{\varepsilon_1}{2x\varepsilon_{oi}} \ln \frac{\varepsilon_{oi}}{\Delta H} N_A \quad (44)$$

Подставляя (44) в (27), находим:

$$\lambda_{iA} / \delta = \frac{4.4 \cdot 10^{-5} E^{\frac{1}{3}} n_{io} \mu_{Cl}}{8\pi h \mu_i x_{ij}} \ln \frac{\varepsilon_{io}}{\Delta H} N_A \quad (45)$$

где  $x_{ij} = m_{i\alpha, \beta} / m_{Cl}$  - отношение массы быстрой частицы испускаемой изотопом вида  $i$  к массе атома хлора ( $j = \beta, \gamma, \alpha$ ). Подставляя (45) в (23), находим окончательно локальную концентрацию квазигаса атомов хлора во вмещающей полости каменной соли.

$$\rho_{Cl} = \frac{4.4 \cdot 10^{-5} E^{\frac{1}{3}} n_{io} \mu_{Cl}}{8\pi h \mu_i x_{ij}} \ln \frac{\varepsilon_{io}}{\Delta H} N_A e^{-\lambda_i t - \frac{3.9}{h} z} \quad (46)$$

Образовавшийся квазигаз плотности (46) мигрирует во вмещающих полость породах. При этом интегральное направление миграции определяется, вообще говоря, распределением дырок, квазигаса свободных атомов и радиоактивных загрязнений в пространстве. Макроскорость этой миграции можно определить, воспользовавшись законом сохранения массы вещества, выраженного уравнением неразрывности потока [3]. Применительно к данному случаю:

$$\frac{\partial \rho_{Cl}}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{Cl} V_i}{\partial z} = \frac{\partial \rho_{Cl}}{\partial t} + \rho_{Cl} \frac{\partial V_i}{\partial z} + V_i \frac{\partial \rho_{Cl}}{\partial z} = 0 \quad (47)$$

где  $V_i$  - скорость миграции квазигаса хлора образованного распадом изотопа вида  $i$ .

Подстановка выражения (46) в (47) приводит к уравнению для  $V_i$ :

$$-\lambda_i + \frac{\partial V_i}{\partial z} - \frac{3.9}{h} V_i = 0 \quad (48)$$

Общим решением уравнения в частных производных (48) является функция:

$$V_i = -\frac{\lambda_i h}{3.9} + C_1(t) e^{\frac{3.9}{h} z}, \quad (49)$$

где  $C_1(t)$  - некоторая произвольная функция времени (постоянная интегрирования).

Из физических соображений ясно, что скорость на бесконечном удалении от границ полости ( $Z \rightarrow \infty$ ) должна быть ограниченной величиной. Поэтому в (49) должно выполняться условие  $C_1(t) = 0$ . С учетом этого:

$$V_i = -\frac{\lambda_i h}{3.9} \quad (50)$$

**ОБ ОДНОЙ МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ХЛОРА В СУХИХ ЯДЕРНЫХ ПОЛОСТЯХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОСТАТОЧНОГО РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА**

Знак (-) перед  $\lambda_i \cdot h/3.9$  означает, что направление миграции вещества происходит в сторону внутренней границы полости. По известным  $V_i$  и  $\rho_{Cl}$  можно определить поток вещества (количество вещества через единицу площади в единицу времени).

$$j(t, z) = \rho_{Cl} V_i = - \frac{4.4 \cdot 10^{-5} E^{\frac{1}{2}} n_{i0} \mu_{Cl} \lambda_i n \frac{\epsilon_{i0}}{\Delta H} N_A}{8\pi \mu_{ij} \cdot 3.9} e^{-\lambda_i t - \frac{3.9}{h} z} \quad (51)$$

Количество вещества (атомарный, молекулярный газ хлор), вытекающего через всю поверхность в ядерную полость в единицу времени определится как:

$$\frac{dM_{iCl}}{dt} = -4\pi R^2 j(t, 0) \quad (52)$$

Подставляя (51) при  $Z=0$ , с учетом (12) получаем уравнение для массы выделенного в полость газа под воздействием радиоактивного распада изотопа вида  $i$ .

$$\frac{dM_{iCl}}{dt} = \frac{4.4 \cdot 10^{-3} E n_{i0} \mu_{Cl} \lambda_i n \frac{\epsilon_{i0}}{\Delta H} N_A}{7.8 \mu_{ij} x_{ij}} e^{-\lambda_i t} \quad (53)$$

Интегрируя выражение (53), получаем массу газа, выделенного в полость за время от  $t_1$  до  $t_2$ .

$$M_{iCl} = 5.6 \cdot 10^{-4} E \mu_{Cl} \times \left( \frac{n_{i0}}{\mu_{ij} x_{ij}} n \frac{\epsilon_{i0}}{\Delta H} N_A \right) \left[ e^{-\lambda_i t_1} - e^{-\lambda_i t_2} \right] \quad (54)$$

Общее же количество выделившегося газа за время  $t_1$  до  $t_2$  определится суммированием по всем изотопам радиоактивного загрязнения и по всем видам радиации ( $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  частиц).

$$M_{Cl} = 5.6 \cdot 10^{-4} E \mu_{Cl} \times \left[ \sum \left( \frac{n_{i0}}{\mu_{ij} x_{ij}} n \frac{\epsilon_{i0}}{\Delta H} N_A \right) (e^{-\lambda_i t_1} - e^{-\lambda_i t_2}) \right] \quad (55)$$

Величины  $\mu_{Cl}$ ,  $\mu_i$ ,  $\Delta H$  – справочные термодинамические характеристики вещества;  $\epsilon_{i0}$ ,  $\lambda_i = 0.693/T_{i1}/29 \cdot n_{i0}$ , также являются справочными данными и определяются с помощью соответствующих справочников (таблица изотопов).

Таким образом, полученные формальные отношения определяют объемы генерации хлора, механизм его образования и факторы, влияющие на динамику этого процесса.

В табл. 3, в качестве примера, приведены вычисленные по формуле (55) объемы выделения в сухую ядерную полость свободного хлора под воздействием поствзрывных радиоактивных загрязнений.

Табл. 3. Результаты расчета объемов свободного хлора, выделенного под воздействием поствзрывных радиоактивных загрязнений

Время выделения газа (лет)	Мощность взрыва E=10кт тротилового эквивалента								
	Изотопы, M <sub>Cl</sub> [кг]								
	<sup>90</sup> Sr	<sup>125</sup> Sb	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>147</sup> Pm	<sup>151</sup> Sm	<sup>155</sup> Eu	<sup>148</sup> Cd	Всего
1-2	2,05	0,8·10 <sup>-2</sup>	23	2,85	1,3	0,06	0,11	-	30,17
2-3	1,97	2,8·10 <sup>-3</sup>	-	3,1	1	0,06	-	-	8,9
3-30	40,4	-	-	56	-	1,46	-	-	97,9
1-∞	79,5	1,87·10 <sup>-2</sup>	86,4	127	5,7	7,6	0,34	0,2·10 <sup>-2</sup>	307
	Мощность взрыва E=100 кт тротилового эквивалента								
1-2	20,5	8·10 <sup>-2</sup>	230	28,5	13	0,6	1,1	-	294
2-3	19,7	2,8·10 <sup>-2</sup>	-	31	10	0,6	-	-	61
3-30	404	-	-	560	-	14,6	-	-	979
1-∞	795	0,2	864	1270	57	76	3,4	0,2	3066

Анализ числовых данных, приведенных в табл.3, и формулы (55) показывают, что объем генерации хлора прямо пропорционален мощности ядерного заряда, образовавшего полость, а скорость выделения асимптотически убывает со временем. Наибольший вклад в общий объем выделения за весь период существования полости дают изотопы  $Cs^{137}$ ,  $Cs^{134}$  и  $Sr^{90}$ .

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Вышеизложенная методика расчета подтверждает наличие и позволяет оценить объемы выделения свободного хлора в ядерные полости полученные камуфлетными взрывами различной мощности. Что касается дальнейшей эволюции свободного хлора,

то этот вопрос остается за рамками данной работы и требует специальных исследований. Здесь следует отметить, что, скорее всего, хлор, ввиду своей химической активности, не остается в газообразном состоянии, а вступает в химическое взаимодействие с веществом окружающей среды. В случае обводненной полости он образует с водой растворы хлорных кислот. В полостях, заполненных газоконденсатом, возможно образование хлорорганических соединений, которые в основной своей массе являются токсичными веществами и представляют экологическую опасность в случае разгерметизации полости и проникновения на дневную поверхность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таблицы физических величин. Под редакцией академика Киксина. М., Атомиздат. 1976.
2. Пикаев А.К., Шилов В.П., Спицин В.И. Радиолиз водных растворов лантаноидов и актиноидов. М., 1983.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Гидродинамика. Т.6. М., Наука. 1986.

**ЖАРЫЛЫС ӨНІМДЕРІНІҢ ҚАЛДЫҚ РАДИРАКТИВТІК СӘУЛЕСІ ӘСЕРІНЕН ҚҰРҒАҚ ЯДРОЛЫҚ ҚУЫСТАРДА ГАЗДЫ ХЛОРДЫҢ ШЫҒУЫН ЕСЕПТЕУ БІР ӘДІСТЕМЕСІ ТУРАЛЫ**

<sup>1)</sup>Т.Д. Мұрзаділов, <sup>2)</sup>Д.Н. Беляшов, <sup>1)</sup>**V.A. Mokhov**, <sup>3)</sup>В.С. Моренко, <sup>3)</sup>В.Н. Глушенко

<sup>1)</sup>*ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты*

<sup>2)</sup>*«Такбиги ғылыми институты» ЖШС*

<sup>3)</sup>*ҚР ҰЯО Ядролық физика институты*

Тасты тұздың массивтерінде жатқан ядролық қуысының ішінде жарылыс өнімдерінің қалдық сәулесі әсерінен хлор генерациясының көлемін есептеу әдістемесі әзірленген. Есептеуі, жарылыс өнімдері шығуын бағалауында және радирактивті ластағыштардың ыдырауының қуатының үйлесімсіз тарауының физикалық принциптерінде негізделген. 10 килотонналық жарылыста 307 кг. жарылыстан кейінгі хлор – тасты тұздың радиолизінің өнімі - пайда болғаны үлгі ретінде келтіріледі

**A METHOD TO CALCULATE GASEOUS CHLORINE LIBERATION IN DRY NUCLEAR CAVITIES UNDER THE EXPOSURE OF RESIDUAL RADIOACTIVE RADIATION OF EXPLOSION PRODUCTS**

<sup>1)</sup>T.D. Murzadilov, <sup>2)</sup>D.N. Belyashov, <sup>1)</sup>**V.A. Mokhov**, <sup>3)</sup>V.S. Morenko, <sup>3)</sup>V.N. Gluchshenko

<sup>1)</sup>*The Institute of Geophysical Researches, NNC RK*

<sup>2)</sup>*«The Institute of Natural Sciences», Ltd*

<sup>3)</sup>*The Institute of Nuclear Physics NNC RK*

A calculation method of the volume of chlorine generation in the nuclear cavities laid out in rock salt massifs under the exposure of residual radioactive radiation of explosion products is developed. The calculations are based on the estimation of explosion product output and on the physical principles of the dissipation of radiocontaminant decay energy. It has been shown as an example that 307 kg of post-explosion chlorine – a product of rock salt radiolysis – are generated as a result of a 10-kt explosion.

УДК[504.064.36:556.33]:550.832.6

## ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА «КОШКАР-АТА»

<sup>1</sup>Кадыржанов К.К., <sup>1</sup>Кутербеков К.А., <sup>1</sup>Лукашенко С.Н., <sup>2</sup>Мелентьев М.И., <sup>2</sup>Стромов В.М., <sup>2</sup>Шайторов В.Н.

<sup>1</sup>Институт ядерной физики НЯЦ РК

<sup>2</sup>Институт геофизических исследований НЯЦ РК

Приводятся результаты предварительного изучения влияния хвостохранилища КОШКАР-АТА как источника загрязнения, расположенного на берегу Каспийского моря, на динамику подземных вод. Характер движения подземных вод по зонам повышенной водопроницаемости оценены по данным скважинной термометрии

С началом освоения в 1960 г. месторождений урановых руд, нефти, другого минерального сырья и созданием химико-технологических производств на Мангышлаке в условиях игнорирования проблем окружающей среды [1] было заложено нынешнее обострение экологической обстановки в Мангистауской области (Казахстан). Наиболее экологически опасным среди этих объектов является хвостохранилище КОШКАР-АТА, вносящее существенный вклад в загрязнение атмосферы пылью радиоактивных и токсичных отходов химических и горно-металлургических производств, и представляющее серьезную опасность для здоровья жителей г. Актау и прилегающих населенных пунктов.

Местность, в которой находится объект КОШКАР-АТА, представляет собой равнину с большим количеством впадин и уступов, изрезанных оврагами, промоинами, сухими руслами и глинистыми осыпями, бугристых песчаных участков. Грунты суглинистые, песчаные, солончаковые, глинистые, и каменистые. Хранилище КОШКАР-АТА[2,3] - бессточное озеро-отстойник промышленных, токсичных, химических и радиоактивных отходов, хозяйственно-бытовых стоков, находится в 5 км к северу от г. Актау Мангистауской области, расположено на берегу Каспийского моря. Зеркало озера, по состоянию на 1984 г., представлено на рис.1. Географические координаты юго-западного берега, где расположен населенный пункт Кора -  $43^{\circ}43'47''$ С.Ш.,  $51^{\circ}10'30''$  В.Д. Описываемая территория относится к аридной зоне, являющейся наиболее уязвимой природной экологической системой.

В геологическом отношении ареал хранилища относится к новокаспийской морской равнине голоценового возраста, сложенной песками с ракушкой, суглинками, илстыми глинами. Несмотря на малое количество атмосферных осадков на данной территории и отсутствие поверхностных постоянных водотоков, наблюдается развитие ложковой сети, овражной эрозии на крутых склонах сортовых понижений, абразионных уступах морских террас. Современные рельефообразующие процессы зависят не только от литологии слагающих пород, морфологии рельефа, климатических условий, но и в не меньшей степени от техногенной деятельности.

В хвостохранилище с 1965 г. размещались и хранятся до настоящего времени промышленные токсичные и радиоактивные отходы, твердые осадки неочищенных хозяйственно-бытовых стоков части жилого массива г.Актау. До 1965г. хвостохранилище КОШКАР-АТА представляло собой бессточную котловину с первоначальной отметкой дна - минус 38 м.

Захоронение твердых радиоактивных отходов химико-горно-металлургического завода, где перерабатывались урановые руды, велось бесконтрольно и без достоверного учета в могильнике траншейного типа без гидроизоляции. По данным Мангистауского областного управления экологии (г.Актау) фактическая масса радиоактивных отходов (РАО), размещенных в хвостохранилище, составляет около 360 млн. тонн с суммарной активностью 11000 Ки. Промышленные отходы представлены, в основном, фосфогинсом, фосфомелом и пиритными огарками, содержащими стабильные элементы: железо, кремний, серу, цинк, свинец, серебро, селен, кобальт, мышьяк и др., повышенные концентрации естественных радионуклидов.

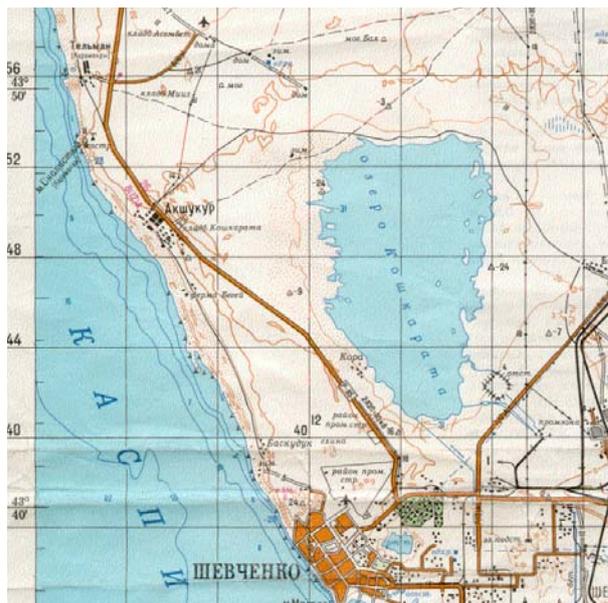


Рис.1. Расположение озера-отстойника КОШКАР-АТА

Результаты работ, проведенных Институтом ядерной физики в 1999 и 2000 гг, показали, что на обмелевшей части хранилища мощность экспозиционной дозы (МЭД) составляет 80-150 мкР/час. Обнаружены участки со значениями МЭД до 1500 мкР/час и содержанием радионуклидов до (548 – 5000) Бк/кг. Повышенным является радиационный фон территории пляжной полосы вокруг озера-отстойника с южной и западной сторон, в местах хранения огарков и радиоактивных отходов, в районе стоков сернокислотного завода и горно-химического комбината. Например, в точках № 12, 28, 36, 37 наиболее сильно проявляются повышенные значения МЭД (до 200-500 мкР/ч), свидетельствующие как о повышенном радиационном фоне на территории объекта, так и существенном радиоактивном загрязнении грунта вплоть до глубины 40 см. Измерения радиационного фона на северном и восточном берегу озера показали, что значения МЭД находятся в пределах естественного радиационного фона -  $8 \div 12$  мкР/ч. Предварительные экспериментальные данные по дозовым нагрузкам проб-образцов объекта КОШКАР-АТА, полученные аттестованным методом ЭПР-дозиметрии, дают величину от 15 до 25 кГу, что сравнимо или превышает дозу образцов почв Юго-Восточного следа Семипалатинского испытательного полигона.

Постоянные водотоки в этом регионе отсутствуют. Во время снеготаяния и дождей солончаки заливаются водой, высыхающей летом. Грунтовые воды соленые, залегают на глубине 4-18 м. Источниками водоснабжения служат колодцы шахтного типа глубиной до 20 м. и артезианские. Рядом с зимовками имеются небольшие бассейны для хранения привозной воды.

Растительность представлена полностью биюргуном, кандымом, джугуном, дузгеном, отдельными группами растет саксаул. К концу мая трава полностью выгорает. Климат резко-континентальный, засушливый, с большими колебаниями сезонных и суточных температур воздуха, малым количеством осадков (~ 10 мм в год). Зима малоснежная (толщина снега ~ 5 см), средняя температура днем в январе (-3) – (+ 5)<sup>0</sup>С (минимальная -33<sup>0</sup>С). Лето сухое и жаркое, температура днем (+22)-(+27)<sup>0</sup>С (максимальная 42<sup>0</sup>С), с частыми пыльными бурями. Ветры осенью и зимой северные, северо-восточные и восточные, 4-6 м/с, иногда 15 м/с и более. В результате стойкого снижения уровня водной фазы в последние годы площадь обнаженных донных отложений, являющихся источником токсичной пыли, увеличивается.

При существующих в районе хранилища гидро-геологических условиях имеются потенциальные возможности проникновения жидких отходов в водоносные горизонты и Каспийское море. В восточном и юго-восточном направлении возможна фильтрация зараженной водной фазы отходов в глубже расположенные, по сравнению с объектом

КОШКАР-АТА, котловины Тамаксор, Атамбай, а также загрязнение подземных вод месторождения Куюлус. Основным инструментом для изучения температурного воздействия на подземные воды хвостохранилища была выбрана скважинная высокоточная термометрия. Предпосылками ее применения явились:

- наличие значительного количества наблюдательных скважин в окрестностях хвостохранилища КОШКАР-АТА;
- существенное различие среднегодовой температуры вод Каспийского моря (10-13<sup>0</sup>С) и хвостохранилища (20-22<sup>0</sup>С);
- различие в плотностях морских и сточных вод хвостохранилища за счет их различной минерализации (14-16 г/л - вод Каспийского моря и 80 г/л - сточные воды).

Термометрические наблюдения проведены в 1992-93 гг. по серии профилей – по 5 субширотным и 3 субмеридиональным. Для контроля работы измерительного прибора выполнялись режимные наблюдения в опорной скважине, расположенной вне гидро-помического влияния Каспийского моря и хвостохранилища КОШКАР-АТА. Достигнутая точность наблюдений - ( $\pm 0,015^{\circ}$ С), оценена по данным режимных измерений поля температур в опорной скважине, что позволило использовать данные для расчета нормальной геотермограммы и вычисления относительных измерений температурного поля в наблюдательных скважинах (рис.2,3).

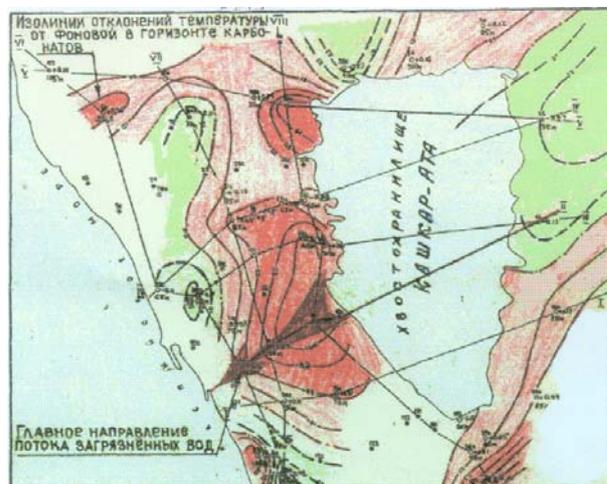


Рис.2. Результаты скважинной термометрии в окрестности озера-отстойника КОШКАР-АТА (отклонение температуры от фона в горизонте карбонатов)

Результаты скважинной высокоточной термометрии свидетельствуют о значительных искажениях (до 1<sup>0</sup>С и более) геонормального поля в окрестностях хвостохранилища КОШКАР-АТА, особенно в его западном и юго-восточном обрамлении. По представлению авторов эти искажения геонормального поля, главным образом, обусловлены конвекционным перераспределением тепла (тепломассопе-

реносом) сточных вод по наиболее водопроницаемым зонам, слагающим часть геологического разреза, охваченную наблюдениями.

На момент выполнения исследований теплые воды хвостохранилища распространялись в западном направлении на 4-4,5 км, а кое-где проникали почти

до побережья Каспийского моря. Характер движения подземных вод определяется, по всей видимости, не только наличием водопроницающих зон согласных напластованию пород, но и влиянием тектонических субвертикальных зон, отличающихся также повышенной водопроницаемостью.



Рис.3. Скважинная режимная термометрия по профилю II (к Рис.2)

Косвенным подтверждением движения сточных вод от хвостохранилища в сторону Каспийского моря являются данные гидрохимического опробования скважин, выполненные гидрогеологической партией № 14: общая минерализация подземных вод убывает по мере удаления от хвостохранилища и ее значения существенно превышающие минерализацию морских вод, установлены на удалении до 2 км от источника загрязнения (скв.17).

Полученные результаты показали, что хвостохранилище КОШКАР-АТА, существенным образом влияет на динамику подземных вод и представляет опасность как источник загрязнения подземных вод. На западном берегу озера-отстойника расположен населенный пункт Кора, жители которого подвергаются постоянному повышенному облучению вследствие повышенного радиационного фона и отравлению токсикантами химического происхождения.

Таким образом, устойчивое и длительное загрязнение окружающих хвостохранилище КОШКАР-АТА земель и растительных покровов однозначно позволяет считать экологическую ситуацию в регионе критической и требует немедленного принятия мер по существенному уменьшению последствий, устранению причин и источников загрязнений, реабилитации и восстановлению естественных характеристик окружающей природной среды.

Наличие в Институте ядерной физики и Институте геофизических исследований НЯЦ РК высококвалифицированного кадрового и технического потенциала позволит решить вышеизложенную проблему. В ИЯФ НЯЦ РК при содействии международных организаций (МАГАТЭ, МНТЦ и др.) создана современная аппаратурно-методическая база для определения радионуклидного и элемент-

ного состава объектов окружающей среды. Разработаны и успешно используются для изучения радиоэкологической ситуации инструментальные и радиохимические методы, аттестованные Госстандартом РК. Развита методика ЭПР-дозиметрии, позволяющая реконструировать дозовые нагрузки для населения и различных участков территории. Институту получена Государственная лицензия ГЛА 0000017 от 11 января 1999 г. на проведение радиоэкологических исследований и контроль радиационной обстановки на территории Республики Казахстан. В структуре Института функционируют не только базовые лаборатории, но и имеется Аксайский филиал (г. Аксай, Западно-Казахстанская область), территориально расположенный в 250 км от объекта КОШКАР-АТА, способный осуществлять оперативный радиационный контроль, натурные эксперименты.

#### Выводы

Хранилище отходов техногенной деятельности КОШКАР-АТА с каждым годом увеличивает поступление в окружающую среду радиоактивной, химически токсичной и зараженной бактериями пыли. Радиоэкологическая обстановка на объекте КОШКАР-АТА представляет собой серьезную опасность для населения и окружающей среды, поэтому крайне необходимы неотложные практические меры по устранению причин такой угрозы. Необходимо дальнейшее комплексное исследование объекта КОШКАР-АТА с целью разработки мероприятий по минимизации негативного воздействия его на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные испытания СССР. Под ред. В.Н. Михайлова М., ИздАТ, 1997 г.
2. Справка об экологической обстановке в районе хвостохранилища «Кошкар-Ата». Мангистауское областное управление экологии, г. Актау. 1997 г.
3. Е.З. Ахметов, М.Дотри, Д.Ш. Елеукенов, К.К. Кадыржанов, К.А. Кутербек, К.Б. Мусабек, Об экологическом состоянии береговой полосы хвостохранилища «Кошкар-Ата» и возможности долговременной фиксации грунта в условиях водной и ветровой эрозии // 2-ая Международная конференция Ядерная и радиационная физика, 7-10 июня 1999г., Алматы. С.308.

**«ҚОШҚАР–АТА» ҚАЛДЫҚСАҚТАУЫШТЫҢ ЖЕР АСТЫ СУЫНА ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ БЫҚПАЛЫН ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ РАДИОЭКОЛОГИЯСЫН БАҒАЛАУ**

<sup>1</sup>К.К. Кадыржанов, <sup>1</sup>К.А. Кутербек, <sup>1</sup>С.Н. Лукашенко, <sup>2</sup>М.И. Мелентьев, В.М. <sup>2</sup>Стромов, <sup>2</sup>В.Н.Шайтаров

<sup>1</sup>ҚР ҰЯО Ядролық физика институты

<sup>2</sup>ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты

Каспий теңізінің жегінде орналасқан Қошкар-Ата қалдықсақтауыштың, ластандыратын көзі ретінде, жер асты суының динамикасына ықпалын зерделеуінің алғашқы нәтижелері баяндалады Жер асты сулардың сәулетімділік белдемдеріндегі қозғалысының сипаты ұңғыма термометрия деректері бойынша бағаланған.

**AN ASSESSMENT OF BOTH ENVIRONMENT RADIOECOLOGY AND TEMPERATURE IMPACT ON THE UNDERGROUND WATERS OF THE TAILING POND «KOSHKAR-ATA»**

<sup>1</sup>K.K. Kadyrzhanov, <sup>1</sup>K.A. Kuterbekov, <sup>1</sup>S.N. Lukashenko, <sup>2</sup>M.I. Melentiev, <sup>2</sup>V.M. Stromov, <sup>2</sup>V.N. Shaitarov

<sup>1</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakstan,

<sup>2</sup>Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakstan

This paper presents the pre-investigative results of the research showing the influence of Koshkar-ata, a source of contamination located at the shore of the Caspian Sea, on underground water dynamics. The character of underground water motion in the zones of high water permeability has been studied, using the data of borehole thermometry. The radionuclide content and the exposure dose of the water at the shallowed part of the tailing have been used to assess the radio-ecological situation.

## СПИСОК АВТОРОВ

- Khalturin V.I., 60  
Richards P., 15  
Richards P.G., 60  
Won-Young Kim, 60  
Абрамович И.А., 39  
Агафонов В.М., 39  
Адушкин В.В., 15  
Алексеев А.С., 27  
Ан В.А., 15  
Антонова Л.В., 104  
Аптикаев Ф.Ф., 104  
Аристова И.Л., 93  
Башилов И.П., 33  
Беяшов Д.Н., 137  
Беяшова Н.Н., 5  
Габсатарова И.П., 77  
Германова Т.И., 93  
Глинский Б.М., 27  
Глущенко В.Н., 137  
Григорьев В.А., 129  
Дараган С.К., 39  
Дробжева Я.В., 117  
Еманов А.Ф., 27
- Кадыржанов К.К., 144  
Камберов И.М., 132  
Кириченко В.В., 69  
Ковалевский В.В., 27  
Козлов В.А., 39  
Комаров И.И., 21  
Коновалов В.А., 33  
Копничев Ю.Ф., 98, 108  
Краев Ю.А., 69, 77  
Краснов В.М., 117, 122  
Краснощёков Д.Н., 88  
Кривченко В.Ф., 132  
Кутербекоев К.А., 144  
Лукашенко С.Н., 144  
Лукашенко С.Н., 132  
Мелентьев М.И., 144  
Михайлова Н.Н., 55  
Михайлова Н.Н., 21  
Михайлова Н.Н., 93  
Моренко В.С., 137  
Мохов В.А., 137  
Мурзадилов Т.Д., 137
- Неделков А.И., 48  
Николаевский Н.Ф., 122  
Овчинников В.М., 80, 88  
Политиков М.И., 132  
Синева З.И., 21, 55  
Ситников А.В., 15, 122  
Ситников К.А., 122  
Соколова И.Н., 21, 98, 108  
Соколова О.И., 117  
Соловьев В.М., 27  
Солодухин В.П., 132  
Старовойт О.Е., 77  
Старовойт Ю.О., 55  
Стромов В.М., 144  
Тухватулин Ш.Т., 5  
Тюпкина О.Г., 8  
Хайретдинов М.С., 27  
Хараламов А.В., 39  
Шайтаров В.Н., 144  
Шепелев О.М., 98  
Школьник В.С., 8



---

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ**

Статьи представляются до 25 числа первого месяца квартала в двух экземплярах на русском языке или в виде электронной копии (на гибком диске или по электронной почте присоединенным (attachment) файлом) в формате MS WORD версий 2, 6, 95, 97 или 2000 для Windows.

Текст печатается на листах формата А4 (210×297 мм) со свободными полями:

сверху .....25 мм;

снизу .....25 мм;

слева.....25 мм;

справа ..... 15 мм,

на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi).

Используйте шрифты Times New Roman или аналогичные высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков.

Текст печатайте через один интервал, оставляя между абзацами 2 интервала.

Название статьи печатайте заглавными буквами. Пропустив 3 интервала после названия, печатайте Ф.И.О. авторов и наименования организаций, которые они представляют. После этого, отступив 3 интервала, печатайте основной текст.

---

**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:** 490060, 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**  
490060, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.

