Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Издается с января 2000 г.

**ГЕОФИЗИКА И ПРОБЛЕМЫ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ.
РАДИОЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

ВЫПУСК 2, ИЮНЬ 2003

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., д.г.-м.н. БЕЛЯШОВ Д.Н.,
к.т.н. ГИЛЬМАНОВ Д.Г., д.г.-м.н. ЕРГАЛИЕВ Г.Х., д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К., КОНОВАЛОВ В.Е.,
к.ф.-м.н. МУКУШЕВА М.К., д.б.н. ПАНИН М.С., ПИВОВАРОВ О.С., ПТИЦКАЯ Л.Д., д.б.н. СЕЙСЕБАЕВ А.Т.,
к.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П., д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Ж.С., д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Н.Ж.

ҰЯО Жаршысы

**ГЕОФИЗИКА ЖӘНЕ ТАРАТПАУ ПРОБЛЕМАЛАРЫ.
РАДИОЭКОЛОГИЯ. ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ**

2 ШЫҒАРЫМ, ТАМЫЗ, 2003 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

**GEOPHYSICS AND NON-PROLIFERATION PROBLEMS.
RADIOECOLOGY AND ENVIRONMENT PROTECTION**

ISSUE 2, AUGUST 2003

Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан
Республиканское государственное предприятие «Национальный ядерный центр Республики Казахстан»
Дочернее государственное предприятие «Институт геофизических исследований» (ИГИ НЯЦ РК)



ИГИ НЯЦ РК ПРОВОДИТ ИССЛЕДОВАНИЯ
силами функциональных отделов и лабораторий, имеющими опыт:

- выполнения прикладных научных исследований
- регистрации, сбора и обработки данных о природных и техногенных сейсмических и инфразвуковых событиях с использованием стационарных, временных станций и телеметрической системы
- безопасного применения комплекса современных методов исследования в специфических геологических условиях, таких как:
  - места проведения подземных ядерных и химических взрывов - Семипалатинский испытательный полигон (СИП), участки проведения мирных ядерных взрывов (Лира)
  - участки, потенциально пригодные для изоляции радиационно-опасных объектов
  - области растекания выщелачивающего раствора на пластово-фильтрационных месторождениях урана (Южный Казахстан)
  - места расположения подземных сооружений ядерной инфраструктуры СИП, трубопроводов и др.
- проведения инженерных изысканий под строительство стационарных сейсмических станций, хранилищ слабо токсичных промышленных отходов, ЛЭП, автодорог и др.
- оценки сейсмотектонической обстановки блоков земной коры под строительство ответственных сооружений, таких как реактор ВВР-К (пос. Алатау, Казахстан) и др.
- разработки и изготовления импортозамещающей геофизической аппаратуры (электрометрической, ртутометрической)
- поиска и разведки полезных ископаемых

ИНСТИТУТ располагает:

государственными лицензиями на право ведения комплекса геолого-геофизических работ, международными сертификататами, сетью стационарных сейсмических и инфразвуковых станций, входящих в Международную систему мониторинга и глобальную сеть, современным Центром данных, наделенным функциями Национального центра данных, высококвалифицированными кадрами, техническими и вычислительными средствами

Среди Заказчиков ИГИ НЯЦ РК

♦ *Временный Технический Секретариат Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (PTS CTBTO)* ♦ *МАГАТЭ (IAEA)* ♦ *Оборонное Агенство по сокращению Угрозы (DTRA) Департамента Обороны США* ♦ *Центр прикладных технологий воздушных сил США (AFTAC)* ♦ *Центр мониторинговых исследований США (CMR)* ♦ *Консорциум университетов США (IRIS)* ♦ *ЗАО НАК «Казатомпром» и др.*

490021, г. Курчатов, площадка Меридиан
☎(32251) 2- 37- 42, 2- 31-46 🖷(32251)2-34-22
E-mail: igr@nnc.kz

СОДЕРЖАНИЕ

ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН – В ГОД ДЕСЯТИЛЕТИЯ 5
Беляшова Н.Н

ПРЕДСТОРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ В НАЦИОНАЛЬНОМ ЯДЕРНОМ ЦЕНТРЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН 16
Ванчугов А.Г.

ОТ НАЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЗА ЯДЕРНЫМИ ВЗРЫВАМИ - К МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА..... 18
Васильев А. П.

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА – ЕЕ ЦЕЛИ И СОСТОЯНИЕ 25
Ж. Суарез

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ЦЕНТРЕ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ..... 34
Р.Г.Норт

СОВМЕСТНАЯ ПРОГРАММА МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ AFTAC – НЯЦ РК 43
Варнум Б.Р.

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЯВЛЕНИЯ ПО РЕГИОНАЛЬНЫМ ДАННЫМ 47
Китов И.О.,Овчинников В. М.

ОТНОШЕНИЕ АМПЛИТУД ВОЛН Lg и Pn В ПРОБЛЕМЕ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ..... 52
Халтурин В

РАСПОЗНАВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ НЯЦ РК..... 61
Соколова И.Н.,Мусин А.К., Султанова Г.С.

ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ КОНТРОЛЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ ИОНОСФЕРНЫМ МЕТОДОМ..... 68
Краснов В.М., Дробжева Я.В.,Соколова О.И.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ ВИБРАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ И КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ СЕРИИ ОМЕГА 73
Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В.

ОПЫТ РЕГИСТРАЦИИ КАРЬЕРНЫХ ВЗРЫВОВ КУЗБАССА 78
Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С.

ИЗУЧЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В РАЙОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ ПО ЗАПИСЯМ ЯДЕРНЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ 83
Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.

О ПРИРОДЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ АНОМАЛИИ В РАЙОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА, ВЫЯВЛЕННОЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ 89
Мелентьев М.И., Великанов А.Е.

СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНОВ, ОКРУЖАЮЩИХ НОВЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ГРУППЫ МАКАНЧИ И КАРАТАУ 94
Михайлова Н.Н., Вольф Н.А., Синёва З.И.

О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА 100
Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

ВОЗМОЖНОСТИ КОСМОСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ 106
Мелентьев М.И., Великанов А.Е.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ВЗРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА "ЗАРЕЧЬЕ" СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА)..... 113
Горбунова Э.М.

РТУТОМЕТРИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ ЗА ИСПОЛНЕНИЕМ ДОГОВОРА О ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕМ ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ..... 123
Политиков М.И., Мурзадилов Т.Д., Политиков И.М.,

КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА И МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ПРИГОДНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ РАО..... 130
Коновалов В.Е., Рощин И.Н.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНЫХ МАССИВОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ..... 138
Коновалов В.Е., Пестов Е.Ю., Дроздов А.В.

ОБ ЭФФЕКТЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ПРИ ГАЗОРТУТНОЙ СЪЕМКЕ..... 144
Политиков И.М., Политиков М.И., Мурзадилов Т.Д.

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНАЯ АППАРАТУРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ..... 149
Жолдыбаев А.К,, Максимов Е.М., Мариненко В.А., Стромов В.М., Шевченко В.П.

УДК 550.83(574)

ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН – В ГОД ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Беляшова Н.Н., Михайлова Н.Н., Подгорная Л.Е.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

Приводится современная структура Института геофизических исследований НЯЦ РК и краткий обзор по пяти основным направлениям деятельности - геофизический мониторинг ядерных испытаний, геофизическое изучение влияния ядерных взрывов на геологическую среду и мониторинг их последствий, инженерные изыскания под строительство особо важных объектов (АЭС, хранилища РАО), использование данных ядерного мониторинга для решения гражданских задач, поиски месторождений полезных ископаемых на территории СИП.

Указом Президента Республики Казахстан от 15 мая 1992 г. в г. Курчатове образован Национальный ядерный центр РК на базе комплекса бывшего Семипалатинского полигона и ряда научных организаций. В его состав вошли две организации геофизического профиля. Первая – это Южный филиал центра Геон (партия 35) Министерства геологии СССР, занимавшийся комплексным геофизическим изучением глубинного строения земной коры на территории бывшего СССР. Вторая – Геофизическая обсерватория «Боровое» Института Физики Земли АН СССР, основной функцией которой был мониторинг ядерных испытаний. В октябре 1993 г. на базе этих двух подразделений организован Институт геофизических исследований НЯЦ РК с основной базой в г. Курчатове. В 1994 г. в состав Института были включены станции Службы специального сейсмического контроля бывшего СССР, находившиеся на территории Казахстана, – Курчатов, Актюбинск, Маканчи.

ИГИ НЯЦ РК развивался достаточно динамично, что иллюстрируется рисунком 1, где приведены ежегодные объемы исследований, выполненных за прошедшие 10 лет. Здесь же показано изменение численности сотрудников.

Современная структура ИГИ НЯЦ РК представлена на рисунке 2. Институт включает в себя три филиала, занимающихся, как и головной институт, кроме рутинных работ, научными исследованиями. Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации, выполняющий функции Национального Центра данных, расположен в г. Алматы. Комлексные геофизические обсерватории «Каскелен» и «Боровое» расположены в Алматы и в п. Боровое, соответственно. Кроме того, в структуру ИГИ НЯЦ РК входят четыре крупных научных и производственных отдела, расположенных в Курчатове, а также пять геофизических наблюдательных станций – Маканчи. Актюбинск, Каратау, Боровое, Курчатов. В общей сложности подразделения ИГИ размещаются на 18 площадках по всей территории Казахстана.

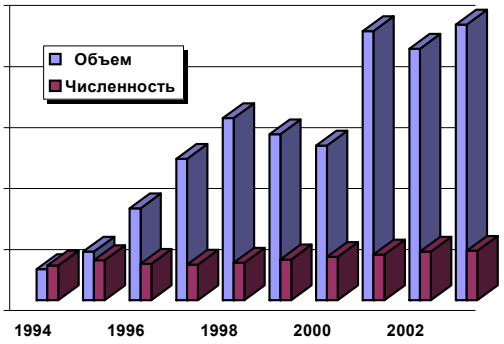


Рисунок 1. Объем работ и численность сотрудников ИГИ НЯЦ РК за десятилетие

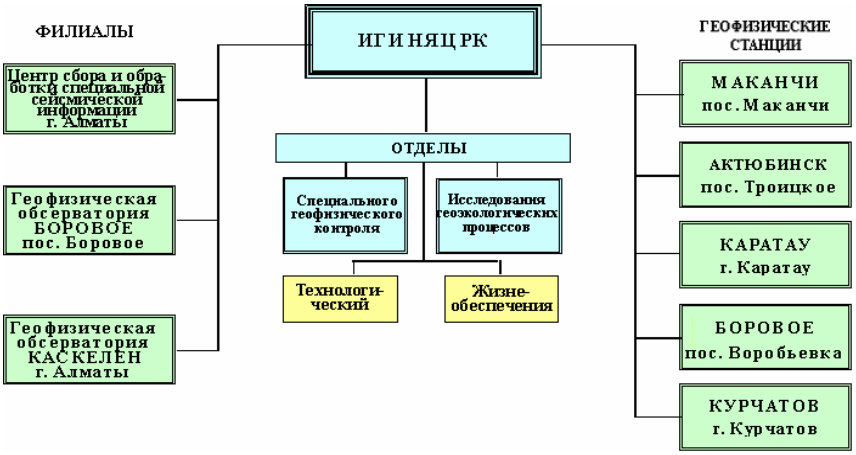


Рисунок 2. Структура Института геофизических исследований НЯЦ РК

В ИГИ НЯЦ РК работает более 400 человек, из них – 136 научно-технических работников, остальные обеспечивают функционирование инфраструктуры.

Исследования развиваются по пяти следующим основным направлениям:

1. геофизический мониторинг ядерных испытаний,
2. геофизическое изучение влияния ядерных взрывов на геологическую среду и мониторинг их последствий,
3. инженерные изыскания под строительство особо важных объектов (АЭС, хранилища РАО),
4. использование данных ядерного мониторинга для изучения техногенной и природной сейсмичности,
5. поиски месторождений полезных ископаемых на территории СИП.

По каждому из перечисленных направлений решается комплекс методических и научно-исследовательских задач.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Неполный список задач, решаемых по первому и четвертому направлениям, включает:

- мониторинг ядерных испытаний;
- выявление, локализация и идентификация сейсмоакустических событий;
- изучение характеристик земной коры и верхней мантии Центрального Казахстана;
- изучение зависимости энергетических и магнитудных характеристик от мощности взрыва;
- изучение структуры поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии;
- калибровка станций сейсмического мониторинга в Казахстане;
- создание сейсмологической основы для построения карты сейсмического районирования Казахстана.

Основой для их решения является геофизический мониторинг ядерных испытаний. Система мониторинга, созданная в ИГИ НЯЦ РК, включает в себя сеть сейсмических и инфразвуковых станций, Центр сбора и обработки данных и систему коммуникаций.

Наблюдательную геофизическую сеть Института [1-3] составляют четыре сейсмические группы и широкополосная трехкомпонентная станция в Боровом, объединенные в большебазовую сейсмическую группу, где расположена также и инфразвуковая группа; сейсмическую и инфразвуковую группы в Курчатове; сейсмическую группу и трехкомпонентную широкополосную станцию в Маканчи; сейсмическую группу в Каратау; инфразвуковую группу и трехкомпонентную сейсмическую станцию в Актюбинске (рисунок 3).

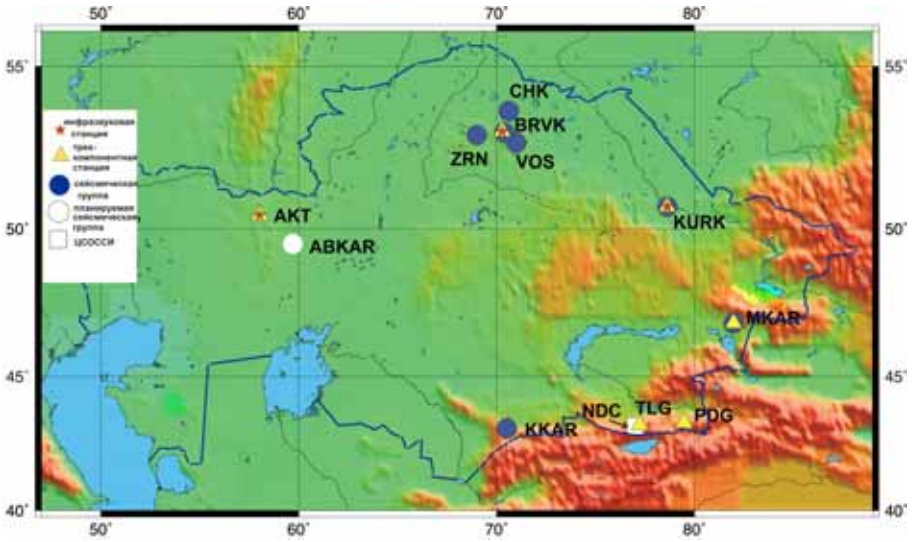


Рисунок 3. Территориальное расположение элементов наблюдательной сети ИГИ НЯЦ РК

До недавнего времени Институт обслуживал, получая данные, трехкомпонентные сейсмические станции Талгар и Подгорное, расположенные в предгорьях Алатау вблизи Алматы. В настоящее время на этих станциях происходит замена оборудования, и они вновь будут включены в работу.

Состояние геофизических станций, принятых Институтом геофизических исследований НЯЦ РК в 1994 г., было достаточно плачевным [1]. Практически все станции нужно было восстанавливать и модернизировать. Эта работа была начата с 1994 г., но особенно успешно стала проводиться с 1997 г., благодаря финансированию, полученному из МНТЦ. Проект К-063, подписанный с МНТЦ, позволил полностью восстановить и модернизировать большебазовую систему в Боровом, систему Крест в Курчатове, основать Национальный центр данных. В 1998 г. по контрактам с ВТС ОДВЗЯИ началась работа по строительству на территории Казахстана станций МСМ. По ДВЗЯИ в Казахстане предусмотрено пять станций МСМ: одна сейсмическая станция основной сети – PS23 - Маканчи, три сейсмические станции вспомогательной сети – AS057 - Боровое, AS058 - Курчатов и AS059- - Актюбинск (причем AS057 - Боровое, яв-

ляется запасной станцией к основной сети) и инфразвуковая станция IS31 - Актюбинск. К настоящему времени полностью завершено строительство сейсмических групп PS23 – Маканчи, AS057 - Боровое и инфразвуковой группы IS31 - Актюбинск. Сейсмические станции уже сертифицированы BTC, сертификация инфразвуковой станции начата в июле 2003 г. Проводится модернизация сейсмической станции MCM AS059 - Актюбинск.

В 1997 г. Казахстан подписал Соглашение с США о строительстве и поддержке станций ядерного мониторинга в Казахстане. В рамках этого Соглашения в 2001 г. построена и функционирует сейсмическая группа в Каратау. По этому же Соглашению в год десятилетия ИГИ НЯЦ РК начал строительство сейсмической группы Акбулак в западном Казахстане. Поначалу строительство планировалось на Мангышлакском полуострове, но изыскания показали, что этот район неблагоприятен для строительства сейсмической станции. Здесь крайне высок уровень сейсмического шума, отсутствуют подходящие геологические структуры, слабо развита инфраструктура региона.

Наблюдательная сеть, с учетом строящихся станций, относительно полно охватывает всю территорию Республики, но для того, чтобы система мониторинга позволяла с высокой степенью надежности оценивать сейсмическую обстановку во всем Средне-Азиатском регионе, желательно дополнить ее сейсмической станцией в Центральном Казахстане.

Неотъемлемая часть системы мониторинга - Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации, создан в 1999 г. В Международной системе мониторинга ОДВЗЯИ ЦСОССИ выполняет функции Национального центра данных, работает в тесном сотрудничестве с Международным центром данных в Вене, обеспечивая сбор данных, обмен ими с другими организациями, обработку и хранение данных, научные исследования [4 -7].

Для решения этих задач в составе ЦСОССИ работают три основных подразделения: группа технического обеспечения сбора и передачи данных, группа обработки и хранения данных, группа интерпретации результатов и научных исследований.

Группой технического обеспечения при помощи ряда зарубежных Центров разработана и используется технология сбора и передачи данных в режиме реального времени для станций и сейсмических групп наблюдательной сети НЯЦ РК (рисунок 4).

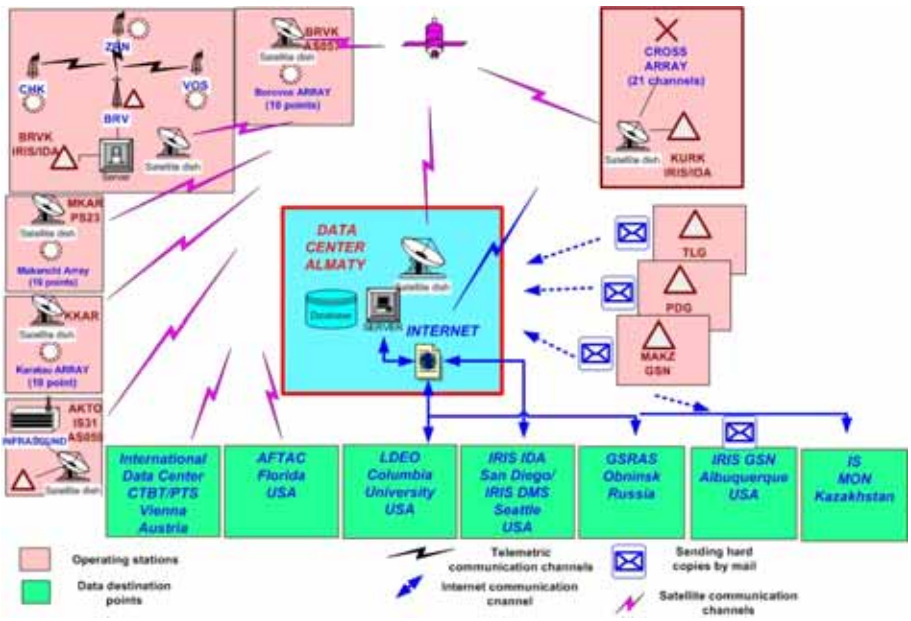


Рисунок 4. Схема коммуникаций ЦСОССИ

Практически всего за неполные четыре года создана система коммуникаций с использованием радиотелеметрических и спутниковых каналов связи ЦСОССИ и станций наблюдения, с одной стороны, и ЦСОССИ и Международных и других Национальных центров данных – с другой стороны. Обеспечен круглосуточный централизованный автоматический контроль состояния всей системы наблюдений и каналов связи с оперативным отражением результатов на веб-сайте ЦСОССИ. Качество работы станций мониторинга и систем связи достаточно высокое – объем получаемых данных (data availability) - около ста процентов.

Группой обработки и хранения данных обеспечивается автоматическая и интерактивная обработка всех данных, поступающих в режиме реального времени. По результатам обработки данных разного уровня оперативности впервые в Средней Азии создаются сейсмологические бюллетени событий (автоматический, интерактивный, сводный оперативный). На ри-

сунке 5 показан пример карты эпицентров землетрясений по данным интерактивного сейсмологического бюллетеня за второе полугодие 2002 г.

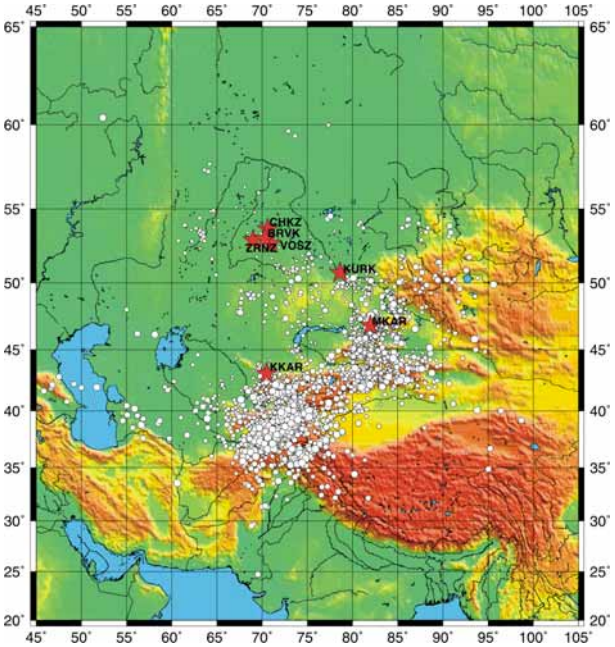


Рисунок 5. Карта эпицентров событий по интерактивному бюллетеню за июль – декабрь 2002 г.

Осуществляется регулярный обмен результатами обработки с Институтом сейсмологии МОН РК, Центром обработки Геофизической службы России, Европейским средиземноморским Центром данных. Все исходные данные, начиная с 1994 г., переведены в единый международный стандарт SEED-архивов и хранятся в ЦСОССИ на CD.

Группа интерпретации результатов и научных исследований ведет работы в основном по следующим темам:

- создание и ведение баз данных по различным аспектам исследований (исходных записей, эталонных событий, ядерных взрывов, калибровочных взрывов, карьерных взрывов и др.).
- исследования по распознаванию сейсмических событий различной природы (применительно к ядерным полигонам Индии, Китая, территории Казахстана).
- исследования по калибровке сейсмических станций с целью повышения их эффективности в мониторинге ядерных взрывов и землетрясений.
- исследования по сейсмической опасности территории Казахстана.

Наиболее важными достижениями являются результаты, полученные по результатам регистрации калибровочных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне [8-10]. Уточнена скоростная модель Центрального Казахстана, получены зависимости параметров сейсмического сигнала и характеристик взрывов, изучено поглощение сейсмических волн в районах площадок Дегелен и Балапан [11-12]. В сотрудничестве с Центром мониторинговых исследований (CMR) США для всех казахстанских станций рассчитаны поправки к временам пробега региональных сейсмических волн, что способствует повышению эффективности обнаружения и локализации событий. Разработаны методики и получены количественные критерии для распознавания землетрясений, ядерных и химических взрывов по записям станций НЯЦ РК [13]. На территории Казахстана выявлены ранее неизвестные сейсмически активные зоны, которые необходимо учитывать в будущих картах сейсмического районирования Казахстана [14-15].

Изучение влияния ядерных взрывов на геологическую среду

Наиболее благоприятными для изучения последствий проведенных ядерных взрывов являются условия Семипалатинского испытательного полигона. Прежде всего, потому, что при ядерных испытаниях вблизи боевой скважины до и после проведения ядерного взрыва проводился комплекс геофизических исследований. Комплекс включал в себя сейсмические, электроразведочные, магнито-, гравиразведочные и другие исследования. Изучались также изменения морфологии поверхности в окрестности скважины [16]. Кроме того, в 70-х годах на полигоне была развернута программа Инспекция. В местах проведения ядерных взрывов по ортогональной сети профилей с периодичностью раз в несколько лет выполнялись работы тем же комплексом геофизических методов. Эти данные являются неоценимой базой как для изучения динамики процессов, возникших вследствие проведенных ядерных взрывов, так и, например, для развития методов Инспекции на месте в рамках ДВЗЯИ.

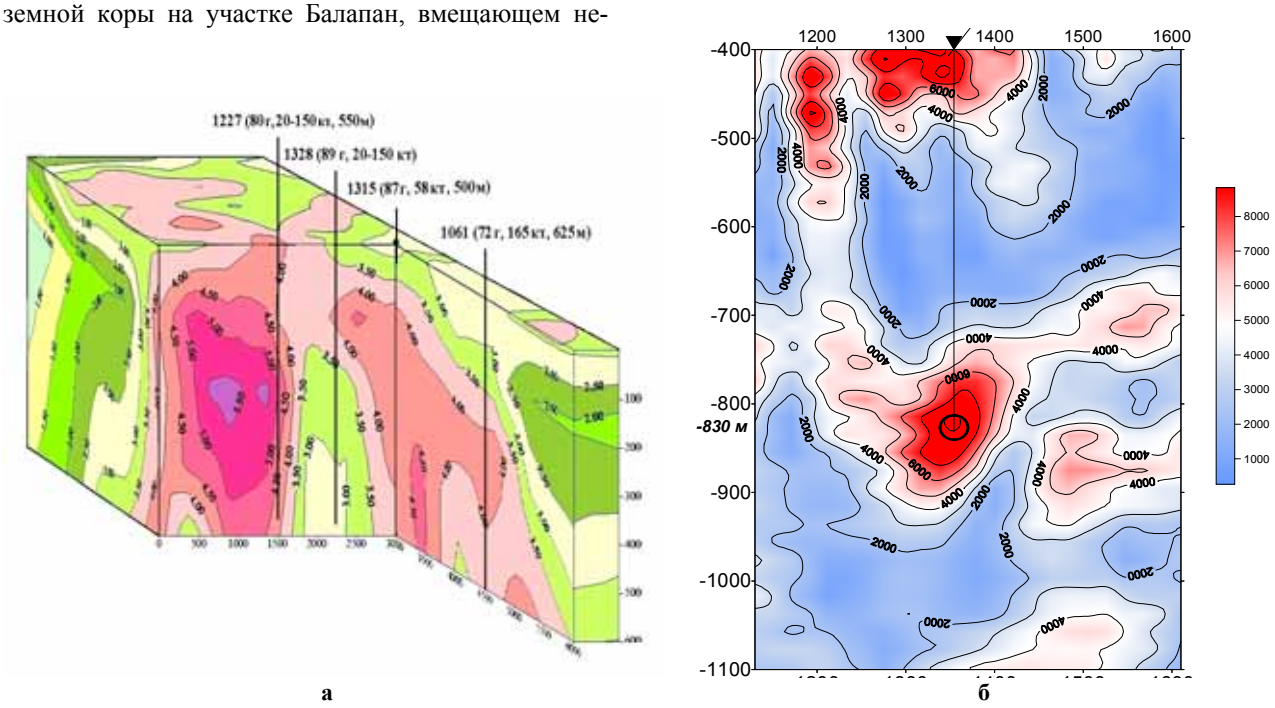
Укрупненно основными задачами по изучению влияния ядерных взрывов на геологическую среду являются:

- изучение геологической среды до и после проведения подземного ядерного взрыва в различных горных породах – каменной соли, кристаллических и осадочных породах;
- разработка геолого-геофизических моделей блоков земной коры, вмещающих полость ядерного взрыва;
- оценка на базе создаваемых моделей динамики поствзрывных явлений в местах проведения ПЯВ – оседания, изменения морфологии подземных полостей и тектонических нарушений, миграции подземных и поверхностных вод;
- разработка аппаратуры и технологии мониторинга состояния геологической среды для своевременного выявления опасных процессов.

Для решения этих задач в ИГИ НЯЦ РК, во-первых, ведется переинтерпретация результатов полевых наблюдений прошлых лет с использованием современных технологий, во-вторых, проводятся

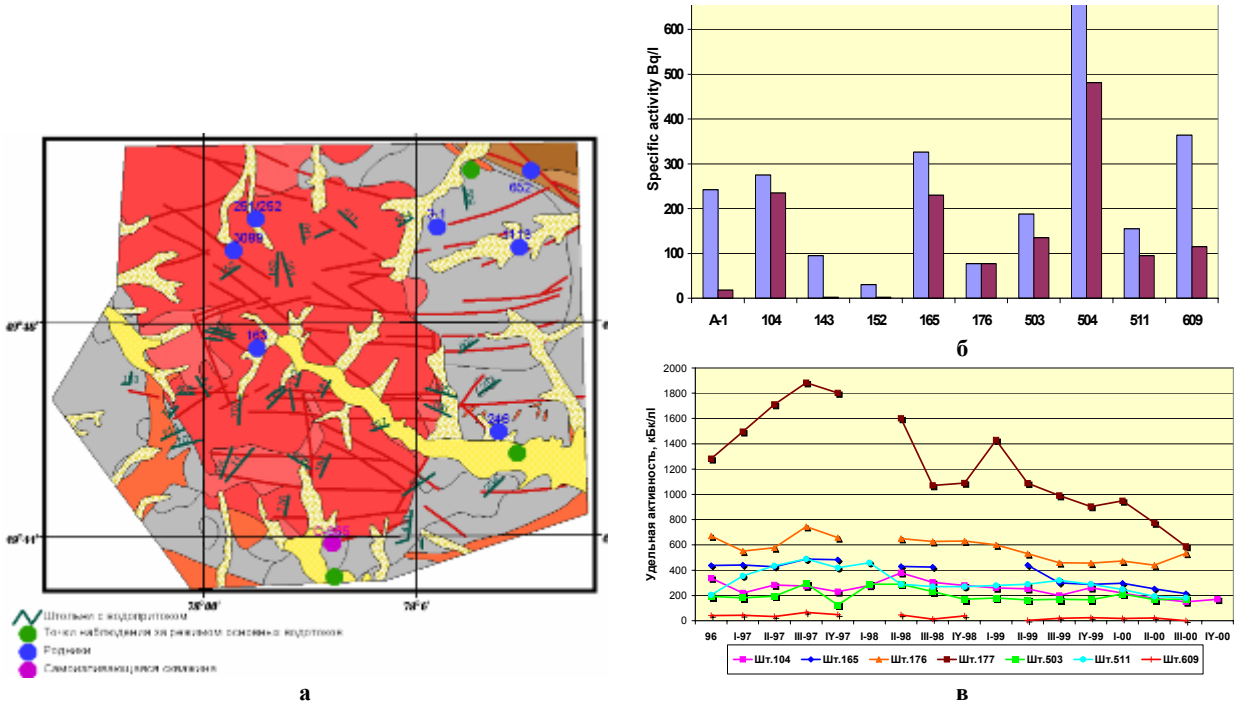
полевые современные комплексные геофизические наблюдения.

На рисунке 6 приведены примеры распределения скоростей продольных сейсмических волн в блоке земной коры на участке Балапан, вмещающем несколько ядерных полостей, и распределение энергии дифрагированных волн в разрезе, проходящем через поствзрывную полость на участке Лира (в соляном куполе).



а б

Рисунок 6. Скоростные модели среды после подземного ядерного взрыва: участок Балапан (а), объект Лира (б)



а б в

Рисунок 7. Водный мониторинг на массиве Дегелен: а – сеть пунктов наблюдения; б – динамика содержания Cs^{137} до и после закрытия 10 штолен; в - изменение во времени содержания трития в воде 7 штолен

Первое и самое очевидное, что следует из этих примеров, что одиночный взрыв выявляется намного уверенней, чем взрывы, проведенные в уже разрушенных породах. Но, тем не менее, характер разреза скоростей сейсмических волн в целом далек от естественного. Наблюдаются зоны сжатия и разрежения, весьма характерные для поствзрывных явлений в кристаллических породах.

Рисунком 7 иллюстрируются результаты проводимого водного мониторинга в пределах массива Дегелен (СИП) [17- 18].

В течение 1996 –2003 гг. по сети, состоящей из 20 -35 пунктов (штольни – скважины - родники) производился отбор проб воды и ее анализ на содержание техногенных радионулидов. К настоящему времени на массиве Дегелен запечатаны все «боевые» и «чистые» штольни. Рисунок 7 б иллюстрирует, насколько уменьшилось содержание цезия-137 в воде, поступающей из штолен, после их закрытия. Рисунок 7в показывает уменьшение во времени содержания трития в воде 7 из этих штолен.

Следующие рисунки 8, 9 являются примерами моделирования современного состояния геологической среды в местах проведения ядерных взрывов [19-20].

На рисунке 8а представлены результаты численного моделирования пустотности горных пород с использованием сведений о ПЯВ. Расчеты проведены по алгоритму, разработанному в ИГИ НЯЦ РК на основе теории сильного взрыва Седова- Неймана [19]. Для проверки теоретических расчетов были проведены полевые гравиметрические съемки, которые в целом подтвердили правильность методики численного моделирования и перспективность ее применения для пространственной характеристики зон деструкции, что важно при моделировании процессов миграции радионуклидов с подземными водами, при определении напряженности земной коры, вызываемой пустотами и т. д.

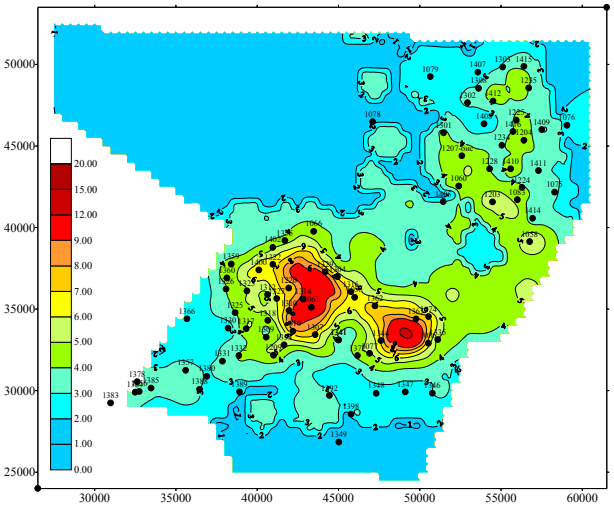
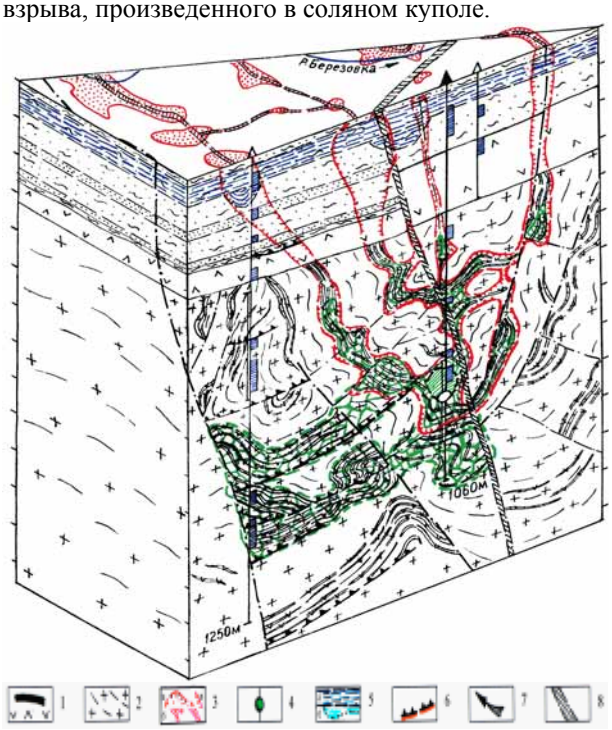


Рисунок 8. Участок Балапан. Рассчитанные значения пустотности (Р) горных пород по данным о ПЯВ. Горизонт 400 м

На рисунке 9 представлена модель возможных путей миграции радионуклидов из полости ядерного взрыва, произведенного в соляном куполе.



1 – кепрок, 2 – соли, 3 – зоны (а, б) и контуры(в) прорыва газофлюидов по данным ртутометрии, 4 – ядерная полость, 5 – обводненные зоны дробления по данным сейсморазведки (а) и НГК (б), 6 – отражающие площадки по данным ВСП, 7 – возможные направления миграции подземных вод из полости, 8 – разлом «Лира-Меридиан»

Рисунок 9. Предварительная модель поствзрывных путей миграции в соленосных породах

Представлен один из фрагментов соляного купола, в котором было проведено 6 ядерных взрывов с целью создания хранилищ для газоконденсата. Приведенная модель охватывает окрестности скв. 5 РТК, в которой ядерный взрыв был проведен на глубине 830 м. Модель строилась на базе априорных данных о геологии данного района и результатов экспериментальных исследований. Комплекс геолого-геофизический исследований включал сейсморазведку в различных модификациях (МРВ, ВСП, метод обращенного годографа, шумометрия и др.), геохимию, каротаж скважин комплексом методов и, на первом этапе, электроразведку. От последней пришлось отказаться в связи с большим уровнем техногенных помех на участке. Моделирование позволило установить два возможных пути миграции радионуклидов. Первый - по субгоризонтальной зоне разрушения, образовавшейся под воздействием всех шести ядерных взрывов и, возможно, объединяющей все полости. Второй путь – по восходящим разуплотненным зонам, так называемым зонам прорыва, по которым могли выноситься продукты взрыва. В этой модели хорошо увязываются данные всех исследований. Выходы субвертикальных зон разуплотнения, выделенных методами скважинных исследований (рисунок 6б), совпадают с зонами по-

ниженного содержания ртути, выделенными при наземных съемках. Объяснение таково, что прорыв раскаленных газов после взрыва по ослабленным зонам приводил к выжиганию и выносу ртути из этих зон, с чем связаны поверхностные аномалии пониженного содержания ртути. Подобные модели помогут разработать схему и методику мониторинга за особо опасными участками в местах проведения ядерных взрывов. Эти же модели привели к разработке нетрадиционных методов ИНМ. В настоящее время в ИГИ НЯЦ РК разрабатывается программа выявления факта проведения ядерного взрыва, а также определения его координат и мощности на основе наземной ртутометрической съемки.

ИГИ НЯЦ РК не только проводит полевые эксперименты, но и разрабатывает геофизическую аппаратуру для их проведения [21,22]. Образцы электроразведочной и ртутометрической аппаратуры, разработанной в Институте, успешно эксплуатируется в Казахстане, России, Китае. По заключению Научно-методического совета по геолого-геофизическим технологиям Министерства природных ресурсов РФ электроразведочная аппаратура стоит в ряду лучших мировых аналогов (при ее более низкой стоимости). Аналогов у ртутометрической аппаратуры просто нет.

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО ОСОБО ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Задачами, которые решались при инженерных изысканиях под строительство особо важных объектов, являются:

- оценка сейсмотектонической обстановки блока пород под исследовательским реактором в условиях плотной гражданской застройки.
- изучение геологических формаций Семипалатинского испытательного полигона для выбора пород и участков, пригодных для безопасного захоронения радиационно-опасных объектов;
- повышение достоверности инженерно-геологических данных для проектирования инженерных сооружений различного назначения на территории Семипалатинского испытательного полигона и на других территориях.

Интересным был опыт работ по оценке сейсмотектонической обстановки блока пород под исследовательским реактором ВВР-К в пос. Алатау вблизи г. Алматы. Решением МАГАТЭ реактор был остановлен по нескольким причинам. Одна из наиболее важных среди них состояла в недостаточном геолого-геофизическом обосновании безопасности участка размещения реактора. Геолого-геофизические работы пришлось проводить в условиях плотной застройки и высокого уровня техногенных помех различной природы. В [23] приведены результаты этих исследований, которые позволили построить поверхность кристаллического фундамента по данным пассивной сейсмики, разрезы в изолиниях равных скоростей по данным МРВ, сводный сейсмогеологический разрез и подтвердить относительнуюконсолидированность блока пород земной коры под ВВР-К. МАГАТЭ, рассмотрев результаты проведенных исследований, дало заключение о возможности возобновления эксплуатации реактора.

Для обеспечения радиоэкологической безопасности возможных захоронений РАО, особенно с учетом отсутствия разработанных методов оценки пригодности геологических формаций, проводятся исследования по проблеме применительно к условиям СИП. С использованием обоснованных критериев выполнено районирование территории СИП и построена карта районирования в масштаба 1:200000 [24]. В качестве перспективных и требующих более детального изучения выделено 43 интрузивных массива. На нескольких таких участках (Косшокы, Акбота, Кызыладыр) проведено комплексное геолого-геофизическое обследование [25] . На рисунке 10 приведен пример геоэлектрического изучения разрезов на одном из таких участков – Косшокы.

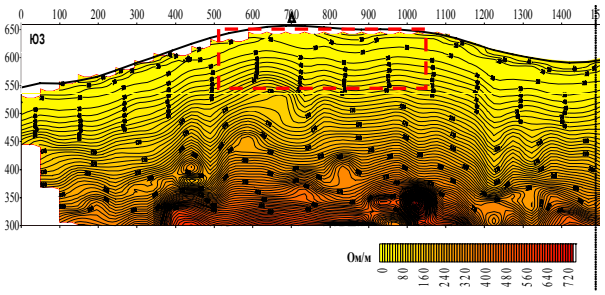


Рисунок 10. Пример изучения геоэлектрического разреза на участке Косшокы

Работами устанавливается степень геоэлектрической однородности интрузивных блоков, в данном случае, между горизонтами 650 – 550 м (выделено пунктиром), для которых проводится более детальное изучение с заверкой результатов бурением.

Для повышения достоверности инженерно- Для повышения достоверности инженерно-геологических данных, используемых при проектировании и строительстве объектов различного назначения, проведена серия работ. Среди них - работы под строительст-во стационарных сейсмических станций (Боровое, Акбулак, Актюбинск), материаловедческой установки ТОКАМАК, комплекса сооружений хранилища отработанного топлива реактора БН-350, под строительство ЛЭП, автодорог (на территории СИП). Особенно важны результаты и опыт разработки безопасного применения комплекса современных геофизических методов в специфических условиях, таких как изучение геологической среды, вмещающей:

- штольни и скважины как составляющие ядерной инфраструктуры СИП, подлежавшие ликвидации и последующему мониторингу;

- потенциально опасные подземные сооружения – Метро, АБК (территория СИП), трубопроводы (Западный Казахстан);
- подземные области растекания сернокислого выщелачивающего раствора на пластово-фильтрационных месторождениях урана (Южный Казахстан);

ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИИ СИП

Своеобразием Семипалатинского испытательного полигона является его недостаточная геологическая изученность. Из-за систематически проводимых ядерных испытаний геолого-разведочные работы были полностью прекращены с середины 50-х годов и возобновились, практически, через полвека. Институт геофизических исследований принял участие в восполнении информационного дефицита по среднемасштабным съемкам и детальным работам.

Среднемасштабное изучение геологического строения территории СИП выполнялось в рамках двух программ дистанционного зондирования - из космоса (Блок «Природно-ресурсный мониторинг» космического эксперимента «Поиск» по программе «Полет - М2», 1997 – 1998 гг.) и с борта самолета (Миссия AMPS - Airbome Multispectral Pod System, 1997 - 1999 г.) [27].

Дистанционное зондирование территории СИП из космоса проведено в ходе 208 суточной экспедиции посещения орбитальной станции МИР казахстанским космонавтом Т. Мусабаевым. На ИГИ НЯЦ РК было возложено наземное сопровождение эксперимента. В камеральный период совместно с Институтом геологических наук имени К.И. Сатпаева выполнена редакция 7 карт СИП, несущих основную геологическую информацию (геологическую масштаба 1:200000, полезных ископаемых того же масштаба и др.), созданы кадастр и реестр проявлений полезных ископаемых на территории СИП. Проведены наземные полевые рекогносцировочные геолого-геофизические работы на эталонных участках (рудопроявлениях, месторождениях) золота, меди и полиметаллов. На этой основе разработана и предложена методика поиска месторождений по данным комисеского зондирования с привлечением наземных съемок.

В рамках Программы по обмену технологиями Департаментом энергетики США (DOE) проведены дистанционные съемки масштаба 1:50000 части массива Дегелен с использованием мультиспектральных датчиков дистанционного зондирования Probe 1, установленных на самолете «Орион Р-3». Институтом геофизических исследований выполнена наземная детализация объектов в пределах трех полетных полос, выделенных при дистанционном зондировании. Проведено распознавание форм рельефа и геологических образований на 5 участках, исследованы пробы, отобранные в 21 точке со спектральными признаками рудной минерализации.

Детальные работы и добыча на территории СИП ведутся несколькими предприятиями (ТОО «Семей Комерлери», «Дегелен», «Семгео», «Кишкен», «ФМЛ Казахстан» и др.) [26]. Для некоторых из них ИГИ НЯЦ РК провел комплексные геолого-геофизические и геохимические работы. Так, например, работы масштаба 1:10000 проведены для ТОО «ФМЛ Казахстан» на золоторудном месторождении Найманжал, по которому завершено ТЭО на добычу. Электроразведка и магниторазведка масштаба 1:5000 проведены для того же ТОО на трех участках, перспективных на золото, - Жамантуз, Байболат, Агашкудук. Электроразведка выполнена на золоторудном проявлении Балтемир для ТОО «Дегелен».

ДРУГИЕ РАБОТЫ

Институт геофизических исследований активно сотрудничает, получая значительную поддержку, с зарубежными и казахстанскими организациям. Ниже приведен перечень организаций, характеризующий международное сотрудничество с ИГИ НЯЦ РК

1. МНТЦ,
2. МАГАТЭ,
3. Временный технический секретариат Подготовительной комиссии Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (PC CTBTO PTS),
4. Корпорация исследовательских институтов сейсмологии (IRIS),
5. Национальная Лос-Аламосская лаборатория Калифорнийского университета,
6. Колумбийский университет,
7. Сандийская национальная лаборатория,
8. Ламонт-Дохерская Земная обсерватория,
9. Агенство по снижению угрозы (DTRA):
   - Центр прикладных технологий воздушных сил США (AFTAC),
   - Корпорация Honeywell (HTSI),
   - Корпорация международных научных программ (SAIC),
10. Геологическая служба США (USGS),
11. Национальный центр данных США (US NDC),
12. Центр мониторинговых исследований (CMR),
13. Норвежский сейсмический центр (NORSAR),
14. Российская Академия Наук:
    - Объединенный институт физики Земли (ОИФЗ РАН),
    - Институт динамики геосфер (ИДГ РАН),
    - Институт вычислительной математики и математической геофизики (СО РАН),
    - ОКБ Геофизприбор РАН,
15. Служба специального контроля РФ (ССК РФ),
16. Научно-исследовательский институт импульсной техники Минатома РФ (ФГУП НИИИТИ).

Здесь перечислены рганизации, с которыми Институт связан многолетними соглашениями и совместными исследованиями по тем направлениям, ко-

торые представлены выше. Однако, помимо вышеописанных работ, ИГИ НЯЦ РК выполняет ряд других исследований. Так, Институт сотрудничает с ВТС ОДВЗЯИ не только в строительстве станций МСМ, но и в проведении полевых учений Инспекции на месте (ИНМ), исследовательских экспериментов, калибровочных взрывов.

В Казахстане уже дважды при содействии ИГИ НЯЦ РК прошли полевые эксперименты по ИНМ – в 1999 г.[28] и в 2002 г. Институт не только обеспечивал организационную сторону экспериментов, но и их геофизическое сопровождение.

В 1997 – 2000 гг. при выполнении пятилетней программы CTR по ликвидации ядерной инфраструктуры Семипалатинского испытательного полигона (Соглашение между правительствами РК и США, 1993 г.) на площадках Балапан и Дегелен произведена серия химических калибровочных взрывов [28 - 29]. Помимо основной цели их (закрытие штолен и скважин, подготовленных, но не использованных для ядерных испытаний) взрывы проведены с научно-исследовательскими целями и, в первую очередь, для калибровки станций Международной системы мониторинга (МСМ). Прведено 15 калибровочных взрывов на участке Балапан (1997 г.) и 3 - в штольнях массива Дегелен – Омега-1 (1998г.), Омега -2 (1999 г.), Омега - 3 (2000 г.). Взрывы зарегистрированы как стационарными, так и временными станциями, установленными в специально выбранных местах и по региональным профилям. Информация по калибровочным взрывам мощностью от 2 кг до 100 т собрана и систематизирована в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации ИГИ НЯЦ РК. В ходе ее анализа получены уникальные результаты, значительно продвигающие развитие методов обнаружения, локализации и идентификации сейсмических сигналов, особенно на региональных расстояниях, а также позволяющие решить многие вопросы калибровки близлежащих сейсмических станций МСМ.

В 1998 г. ВТС ОДВЗЯИ на базе НЯЦ РК проведены вводные курсы МСМ для специалистов 13 стран Центральной, Средней Азии и Ближнего Востока по технологиям мониторинга ядерных взрывов (сейсмического, радионуклидного, гидроакустического, инфразвукового). В свою очередь, в 1998-2002 гг. специалисты ИГИ НЯЦ РК получили возможность пройти стажировку и обучение на курсах МСМ, ИНМ, организованных ВТС в России, Австрии, Норвегии, Франции, Китае, США.

Современный уровень системы мониторинга ядерных испытаний, развиваемые геофизические технологии, профессиональный уровень специалистов, тесные международные связи позволяют надеяться, что Институт геофизических исследований внесет весомый вклад в обеспечение режима нераспространения ядерного оружия и в геофизическую поддержку разнообразных проблем, решаемых Национальным ядерным центром РК.

Литература

1. Беляшова Н.Н., Малахова М.Н. Сейсмологическая сеть Национального ядерного центра Республики Казахстан как составная часть Международной системы мониторинга ядерных испытаний//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 13 – 16.
2. N. N. Belyashova, N. N. Mikhailova, A.V. Belyashov. Seismic Observation Networks and Data Centers of the National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan//The Fourth Asian Seismological Commission General Assembly (ASC 2002). 24-26 November 2002. Kathmandu, Nepal.
3. Тухватулин Ш.Т., Тихомиров Л.Н., Беляшова Н.Н., Михайлова Н.Н., и др. Система геофизического мониторинга, созданная в Национальном ядерном центре Республики Казахстан, и её возможности//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. - С..5 – 8.
4. Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И., Соколова И.Н Казахстанский Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации: функции, задачи, система телекоммуникаций, базы данных//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2001. - Вып. 2. - С.21 – 26.
5. Михайлова Н.Н., Синёва З.И. Обработка данных сейсмических станций НЯЦ РК//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. - С.64 – 68.
6. N. N. Mikhailova, Z.I. Sineva Analysis of seismic bulletins of different data centers for Kazakhstan territory // Fifth Workshop on IMS Location Calibration. NORSAR. 4-9 May 2003. Oslo, Norway, 2003
7. N.N. Belyashova, N.N. Mikhailova Monitoring observations network and seismic data center in the Republic of Kazakhstan.//Joint Scientific Assembly IAGA-IASPEI,Vietnam,19-31 August, 2001.
8. Беляшова Н.Н. Шацилов В.И., Михайлова Н.Н., Синева З.И., Малахова М.Н On the Use of Calibration Explosions at the Former Semipalatinsk Test Site for Compiling a Travel-ti me Model of the Crust and Upper Mantle//Pure and Applied Geophysics (PAGEOPH), Birkhauser Verlag, Basel. 2001. P. 193-209.
9. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Сравнения калибровочных взрывов Омега – 2 и Омега – 3 по сейсмическим данным на региональных расстояниях//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. - С. 26 – 29.
10. N.N.Mikhailova, Z.I.Sinyova. Collection of Reference Events for Kazakhstan and Nearly Territories//Fourth Workshop on IMS Location Calibration and Screening, 22-26 April 2002. Norsar. Oslo, Norway.
11. Беляшова Н.Н., Шацилов В.И., Михайлова Н.Н. и др. Использование калибровочных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне для уточнения скоростного разреза замной коры и верхней мантии//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 45 – 51.

12. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона//Физика Земли, № 11, 2001.
13. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов на полигоне Лобнор//Физика Земли. - 2001. № 12.
14. Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н. О сейсмических событиях в малоактивных и асейсмичных районах Казахстана//Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. 2001 г.
15. Михайлова Н.Н. Новые данные о землетрясениях в «асейсмичных» районах Казахстана и карта общего сейсмического районирования//Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций: Труды КазНИИССА, выпуск 20(30) с. 80.
16. Беляшова Н.Н., Русинова Л.А., Беляшов А.В., Смирнов А.А. Изучение влияния ядерных взрывов на окружающие горные породы и морфологию поверхности с целью разработки методов инспекции на местах//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 105 – 110.
17. Коновалов В.Е, Пестов Е.Ю, Артемьев О.И., .Ларин В.Н Влияние стабилизации водного режима на экологию горного массива Дегелен (по результатам исследований 1996-1997 гг.)//Радиоэкология. Охрана окружающей среды/ Вестник НЯЦ РК – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 3. – С. 148- 151.
18. Коновалов В.Е., Пестов Е.Ю., Эдомин В.И. О выносе радионуклидов водой из штолен массива Дегелен//Материалы международной научно-практической конференции «Инженерная наука на рубеже XXI века», 22 ноября 2001 г. – Алматы: ИА РК. – С. 210-211.
19. Мурзадилов Т.Д., Беляшов Д.Н., Глущенко В.Н. Логвинов О.В., Моренко В.С., Стромов В.М., Глущенко Г.М. Теоретическая оценка деструкции горных пород под воздействием серии подземных ядерных взрывов на участке Балан//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 123 – 126.
20. Политиков М.И., Камберов И.М., Кривченко В.Ф., Лукашенко С.Н., Солодухин В. П. О дестабилизирующем влияниии теплового потока на геологическую среду при подземных ядерных взрывах//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2001. - Вып. 2. - С. 132 – 136.
21. Мариненко В.А., Максимов Е.М., Сысоев Б.К., Шевченко В.П. Модульные электроразведочные генераторы многоканальные приемники для методов ВП и МТЗ//Международная геофизическая конференция «300 лет горно-геологической службе». 02-06 октября 2000 г. Санкт-Петербург.
22. Жолдыбаев А.К,, Максимов Е.М., Мариненко В.А., Стромов В.М., Шевченко В.П. Электроразведочная аппаратура высокого разрешения и возможности ее применения. В настоящем выпуске.
23. Беляшова Н.Н., Беляшов А.В., Коновалов В.Е., Комаров И.И., Синева З.И. Строение блока земной коры под реактором ВВР-К в пос. Алатау (по данным методов пассивной сейсморазведки) //Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 127 – 134.
24. Коновалов В.Е., Рощин И.Н. Карта районирования территории Семипалатинского испытательного полигона и методика комплексной оценки пригодности геологических формаций для изоляции РАО. В настоящем выпуске.
25. Коновалов В.Е.,Пестов Е.Ю., Дроздов А.В. Геолого-геофизические исследования горных массивов с целью определения их пригодности для изоляции радиоактивных отходов. В настоящем выпуске.
26. Тухватулин Ш. Т., Беляшова Н.Н., Недбаев И. Н.Конверсионные, экологические и социальные аспекты изучения минерально-сырьевых ресурсов Семипалатинского полигона//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 135 – 138.
27. W.H. Farrad Hyperspectral Imaging of Kazakstan//The Magazinefor Geographic, Mapping, Earth Information. – EOM:Columbus. November/ 1997/ - Pp. 22 – 24.
28. W. Leith, L.J. Kluchko, C.P. Knowles, D.A. Linger, L. Gabriel, N.N. Belashova etv. Калибровочные испытания ДВЗЯИ на Семипвлатинском испытательном полигоне. 1997-2000 гг.//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 31 – 36.
29. W.S.Leith, Lukee J.Kluchko, V. Konovalov Ongoing Research Experiments at the Former Soviet Nuclear Test Site in Eastern Kazakhstan// Procttding of the 9th International Conference on Rock Mechanics, Workshop on Mechanical Tffects of Underground Nuclear Tests, Paris,Aug.27,1999 (Balrema, Rotterdam.)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР ИНСТИТУТЫ – ОН ЖЫЛДЫҚ ЖЫЛЫНДА

Беляшова Н.Н., Михайлова Н.Н., Подгорная Л.Е.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институтының кәзіргі заманның құрылымы және қызметінің бес негізгі бағыттары - ядролық жарылыстардың геофизикалық мониторингісі, геологиялық ортаға ядролық жарылыстардың әсерін геофизикалық зерделеу және олардың зардаптарының мониторингісі, ерекше маңызды нысаналарды (АЭС, РАҚ қоймалары) құруына инженерлік ізденістер, ядролық мониторнингтің деректерін азаматтық мәселелерін шешу үшін қолдану, ССП аумағында пайдалы қазбалар кенорынын іздеу – бойынша жұмыстар нәтижелерінің қысқаша шолуы келтірілген. .

INSTITUTE OF GEOPHYSICAL RESEARCH OF THE NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN - IN THE YEAR OF THE TENTH ANNIVERSARY

N. N. Belyashova, N.N, Mikhailova, L.E. Podgornaya

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

This paper highlights modern structure of the Institute of Geophysical Research NNC RK and a brief review of the results of work in five main directions - geophysical monitoring of nuclear explosions, geophysical study of nuclear explosion influence on a geological environment and monitoring of their consequences, engineering surveys for construction of very important objects (APP, RAW stores), the use of nuclear monitoring data for solving the civil problems, search for mineral deposits at the territory of STS.

550.83(574)

ПРЕДЫСТОРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ В НАЦИОНАЛЬНОМ ЯДЕРНОМ ЦЕНТРЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Ванчугов А.Г.

Российская федерация, г. Новосибирск

Чтобы заглянуть в будущее, необходимо, видя настоящее, не забывать прошедшего. Видимо, поэтому так важно знать, «как это было»? А «…в начале было слово…» - слово Кабинета Министров Республики Казахстан от 15 мая 1992 г. о создании Национального ядерного центра Республики Казахстан. Из геофизических служб в состав Национального ядерного центра РК первоначально вошли геофизическая партия № 35 и Геофизическая обсерватория «Боровое».

Геофизическая партия № 35 создана в 1972 г. в составе Специальной региональной геофизической экспедиции бывшего Министерства геологии СССР. Основной целью ее работ было изучение строения земной коры по системе геотраверсов с использованием ядерных взрывов. В 1985 г. на базе этой партии сформирован Южный филиал Центра региональных геофизических и геоэкологических исследований ГЕОН - приемник Специальной региональной геофизической экспедиции.

Южный филиал (директор А. Г. Ванчугов) представлял структуру, состоящую из группы сейсмических партий, включая партию № 35, а также партии по разработке информационных методов, аппаратурного цеха, ремонтных мастерских, автопарка и ряда других вспомогательных подразделений. В 1990 г. годовой бюджет Южного филиала был более 3 млн. рублей.

Филиал имел уникальный опыт глубинного зондирования земной коры по оригинальным методикам, использующим естественные (землетрясения) и искусственные (химические и ядерные взрывы) источники сейсмических сигналов, регистрируемых автономными станциями типа Черепаха, Карс. Методики опробовались и применялись на таких объектах как Кольская сверхглубокая скважина, металлогенические провинции Кызылкумов и Рудного Алтая; сейсмоопасные зоны Казахстана, Кавказа и Средней Азии.

Впервые в практике сейсмологических работ с использованием аппаратуры типа Черепаха, Карс была получена информация о релаксации во времени техногенно-деформированных геологических сред (ядерные взрывы, гидроудары), что использовалось в программе «Инспекция» ядерных взрывов, а также при слежении за гидроразрывом геологических сред при работах по увеличению дебита углеводородных скважин. Был разработан нетрадиционный подход к обработке данных, который позволял, более надежно, в отличии от других методик, выделять в структуре земной коры локальные неоднородности, производить оценку их состава и физического состояния.

В данной статье не ставится цель описать достижения Южного филиала. Хотелось подчеркнуть, что проведенные работы обеспечили ему в девяностые годы имидж головного предприятия Мингео СССР по изучению глубинного строения металлогенических провинций, сейсмоопасных зон и по их районированию.

После распада СССР Южный филиал оказался вне российской структуры ГЕОНа. Было предпринято несколько последовательных, но неудачных попыток стать сначала дочерним подразделением Института сейсмологии Академии Наук РК, а затем предприятием Министерства промышленности РК. В феврале 1992 г. Южный филиал под новым названием «Центр региональных геофизических исследований» вошел в систему Министерства геологии РК в качестве структурного подразделения Казфилиала ВИРГ.

В этот период Министерство геологии РК не имело достаточных ассигнований для финансирования региональных и других масштабных работ. В связи с этим, просуществовав девять месяцев как Центр региональных геофизических исследований КазВИРГа, Центр был ликвидирован и как партия № 35 передан в состав Алматинской геофизической экспедиции НПО «Казгеофизика». В качестве основной задачи для партии № 35 было определено изучение нефтегазоносных структур. Ранее накопленный опыт оказывался невостребованным. Эта невостребованность грозила гибелью «инструментов» изучения глубоких горизонтов земной коры, недоступных традиционным методам исследований. Такая перспектива не устраивала коллектив бывшего Южного филиала ГЕОНа. В этой связи была создана Рабочая комиссия, возглавляемая ведущим геофизиком Н. Н. Беляшовой с целью поиска организаций, заинтересованных в сохранении и развитии геолого-геофизического потенциала предприятия.

После многострадальных поисков Рабочая комиссия остановила свой выбор на проектах Национального ядерного центра РК. По представлениям Рабочей комиссии, для полноценной деятельности Национальному ядерному центру РК должна была понадобиться геофизическая служба, которая могла бы обеспечивать:

- изучение последствий ядерных взрывов в земной коре и их мониторинг;
- поиск и изучение геологических сред, благоприятных для захоронения радиоактивных веществ, а также для безопасного строительства крупных объектов;
- оценка перспектив нахождения месторождений полезных ископаемых на территории Семипалатинского испытательного полигона.

Эта точка зрения была принята сначала зам. Министра науки и новых технологий Зоровым М.Д., а затем и вице-премьером Республики Казахстан Г.А. Абильсеитовым Несмотря на это, войти в дверь, ведущую в Национальный Ядерный Центр РК, было архисложно, поскольку здания, имущество, аппаратура, транспорт партии № 35 уже были переданы в состав Алматинской геофизической экспедиции. Требовалась воля высоких инстанций для переадресации материально-технического обеспечения геофизических работ новому владельцу – НЯЦ РК.

Вопреки пессимистичным ожиданиям, это случилось. В январе 1993 г. Генеральный директор НЯЦ РК Г.А. Батырбеков во исполнение постановления Кабинета Министров № 55 от 21 января 1993 г. обязал А.Г. Ванчугова вернуть материальные ценности партии № 35. Передача оборудования происходила жестко, в борьбе, вплоть до будирования кардинальных решений о закрытии еще неродившегося геофизического подразделения НЯЦ РК. Вероятность такого события была высокой, поскольку в НЯЦ РК далеко не все представляли целесообразность объединения под «единым флагом» институтов, изучающих физику ядерных процессов и высоких энергий, радиоционную безопасность, с «эфемерной» геофизической службой. Однако, благодаря интуиции Г.А. Абильсеитова и твердой позиции заместителей Генерального директора НЯЦ РК С.П.Вагина и Ш.Т.Тухватулина, опасения, связанные с отказом от геофизических работ, были сняты. Положение дел по передаче имущества было стабилизировано.

В том же, 1993 г неожиданно для многих, специалистами – геофизиками были проведены первые сейсмологические исследования на участке Балапан Семипалатинского испытательного полигона.

29 октября 1993 г. вышло постановление Кабинета Министров Республики Казахстан об организации институтов в составе НЯЦ РК. На базе геофизической партии № 35 и геофизической обсерватории «Боровое» создавался Институт геофизических исследований.

Произошло рождение геофизического института в составе НЯЦ РК.

Последующие события, работы Института геофизических исследований НЯЦ РК подтвердили целесообразность усилий, затраченных на сохранение потенциала, созданного Южным филиалом Центра региональных геофизических и геоэкологических исследований и ГО «Боровое».

В год десятилетия автор выражает глубокую признательность всем участникам создания и становления геофизической службы в НЯЦ РК.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНДА ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ҚЫЗМЕТІ ҚҰРУЫЛЫНАН БҰРЫНҒЫ ЖАЙТ

Ванчугов А.Г.

Ресей федерациясы, Новосибирск

Келешекке көз салу үшін, осы күнгі кезді көріп, өткен уақытты еске алып көруі қажет. Сондықтан «бұл қалай болғанын» білуі өте маңызды болып көрінеді. Ал «…басында болғаны сөз…» - Қазақстан Республикасы Ұлттық Ядролық Орталығын құру туралы 1992 ж. мамырдың 15 шешім қабылдаған Қазақстан Республикасы Министрлер Кабинетінің сөзі». Геофизикалық қызметтерінен ҚР Ұлттық ядролық орталығы құрамына бастапқыда №35 геофизикалық партиясы және «Бурабай» геофизикалық обсерваториясы кірген.

PREHISTORY OF GEOPHYSICAL SERVICE ESTABLISHMENT IN THE NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

A.G. Vanchugov

Russian Federation, Novosibirsk

To look to the future it is necessary, seeing the present, not to forget the past. Obviously it is important to know "how was it?" "… in the beginning was the word…" - the word of the Ministry of the Republic of Kazakhstan of May 15, 1992 about establishment of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan. Originally a geophysical service formed the National Nuclear Center RK as Geophysical Party #35 and Borovoye Geophysical Observatory.

УДК 621.039.9:504.064.36(100)

ОТ НАЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ЗА ЯДЕРНЫМИ ВЗРЫВАМИ - К МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА

Васильев А.П.

Российская Федерация, г. Москва

В статье рассматриваются исторические аспекты возникновения и развития Центра прикладных технологий ВВС США (AFTAC), история создания Службы специального контроля МО РФ (ССК МО РФ), ретроспектива переговорного процесса и создания Международной системы мониторинга. Кратко характеризуется международная система мониторинга.

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ США[1]

Комитет по дальнему обнаружению ядерных взрывов был образован Комиссией по атомной энергии (АЕС) США по инициативе начальника Центральной разведывательной группы (в последующем ЦРУ) генерал-лейтенанта Хойта С. Вандерберга (Hoyt S. Vanderberg). Основной целью Комитета была разработка рекомендаций по получению объективных данных о возможном испытании в СССР разрабатываемого атомного заряда. Комитет рекомендовал:

"…- определять место больших взрывов комбинацией звукового, инфразвукового и сейсмографического методов;

- получать образцы продуктов взрыва методом отбора аэрозолей в местах, как можно более близких к взрыву;

- определять природу взрыва путем химического и радиологического анализов продуктов взрыва…".

Эти рекомендации были положены в основу формирования Группы специального вооружения (SWG) при заместителе начальника штаба Военно-воздушных Сил США, поскольку генерал Дуайт Эйзенхауэр своим распоряжением от 16 сентября 1947 г. возложил ответственность за обнаружение ядерных взрывов на Земле на Военно-воздушные Силы Армии США.

Первым командиром SWG был назначен генерал-майор А.Ф. Хегенбергер (A.F. Hegenberger). Первым техническим директором SWG стал доктор Эллис Джонсон (Ellis Johnson).



Генерал-лейтенант Хойт С. Вандерберг (Hoyt. S. Vanderberg) – инициатор создания в США Системы дальнего обнаружения ядерных взрывов

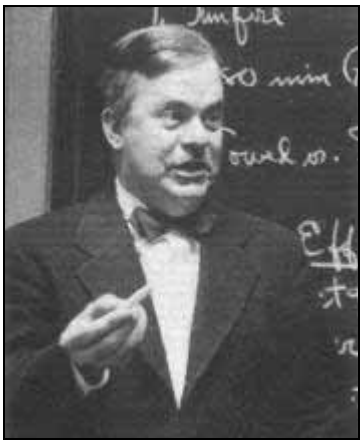


Генерал-майор А. Ф. Хегенбергер (F. F. Hegenberger) – первый командир Группы специального вооружения (SWG)

Отцом-основателем системы дальнего обнаружения в США считается мистер Вальтер Синглевич (Mr. Walter Singlevich).

Нынешнее название – AFTAC (Центр прикладных технологий ВВС), система получила в июле 1959 г.

Для опробования и отработки методов дальнего обнаружения ядерных взрывов использовались ядерные испытания, проводившиеся США на Тихоокеанском полигоне Эниветок-Бикини. Так, например, в 1948 г во время операции SANDSTOUN на полигоне Эниветок были продемонстрированы возможности различных методов дальнего обнаружения ядерных взрывов. После завершения этой операции 1 июля 1948 г. была создана временная сеть обнаружения ядерных взрывов. Она включала 24 подразделения разведки погоды, производящих отбор проб воздуха, и 22 акустические станции, расположенные в Северном полушарии.



Доктор Эллис Джонсон (Ellis Johnson) – первый технический директор Группы специального вооружения (SWG)



Мистер Вальтер Синглевич (Mr. Walter Singlevich) - отец-основатель AFTAC, посвятивший его развитию 40 лет жизни (1952 – 1992 гг.)

В решении главной задачи по разведке первого советского атомного испытания первый результат был получен самолетами разведки погоды, оснащенными гондолами для забора радиоактивных проб воздуха. Маршруты этих самолетов проходили от Аляски к Северному Полюсу и далее на юг, к Японии, вдоль восточной границы СССР. Одним из самолетов именно этого маршрута, совершавшим обратный рейс из Японии на Аляску, в начале сентября 1949 г. были отобраны радиоактивные аэрозоли. Поскольку в этот год США не проводили ядерных испытаний, а анализ отобранных аэрозолей показал их взрывное происхождение, был сделан вывод о связи радиоактивности проб с первым советским ядерным испытанием. Полученные данные позволили президенту Трумэну сделать 23 сентября 1949 г. заявление о первом испытании советской атомной бомбы.

В 1951 г во время операции GREENHOUS была осуществлена более широкая программа изучения возможностей методов дальнего обнаружения. Программа включала:

- определение состава осколков деления ядер радиохимическими и физическими способами;
- изучение распространения инфразвуковых волн;
- отбор проб с помощью фильтров;
- мгновенное обнаружение ядерных осколков с помощью детекторов на воздушном шаре;
- отбор проб на земле и их анализ;
- обнаружение и изучение распространения сейсмических волн;
- обнаружение радиоактивных облаков по поведению атмосферы.

Большие подготовительные работы были проведены AFTAC в 1952 г. к испытанию водородного заряда МАЙК. Затем, в 1953 г., были зарегистрированы продукты взрыва советского термоядерного заряда на Семипалатинском испытательном полигоне. 1954 год ознаменовался тяжелыми последствиями ядерных испытаний. В Тихом океане пострадал экипаж рыболовецкого судна “Фукуру Мару” от выпавшего на них радиоактивного пепла. Началось широкое общественное движение против испытаний ядерного оружия, которое вплотную подвело правительства США и СССР к переговорам о запрещении этих испытаний.

31 марта 1958 г. СССР объявил об одностороннем моратории на ядерные испытания и призвал все страны Ядерного клуба присоединиться к мораторию. США, только что начавшие серию испытаний HARDTACK, не присоединились к мораторию, но согласились на обсуждение технических возможностей контроля ядерных взрывов в случае возможного прекращения испытаний.

Обсуждение проблемы началось в Женеве 1 июля 1958 г.

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ДАЛЬНЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ В СССР[2]

Несколько по иному пути к Женеве шел Советский Союз. Начало работ по созданию системы дальнего обнаружения в СССР относится к 1949 г., ко времени подготовки испытания первого советского атомного заряда. Была запланирована инструментальная разведка этого взрыва по радиоизлучению и сейсмическим волнам на больших расстояниях от Семипалатинского испытательного полигона. Наибольшее расстояние от взрыва, на котором были обнаружены радиоактивные аэрозоли, составило 720 км, что не выходило за пределы СССР. Таким образом, вопрос о том, каким образом информация о первом советском ядерном испытании стала достоянием США, остался без ответа. В связи с важностью проблемы, изучение возможностей дальнего обнаружения ядерных испытаний с 1949 г. находилось под пристальным вниманием научного руководителя атомного проекта СССР академика Игоря Васильевича Курчатова.

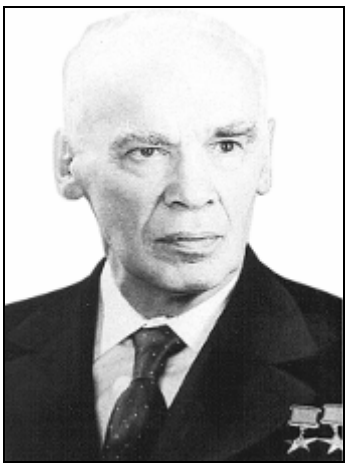
И.В.Курчатов поддержал инициативу ученых ГЕОФИАН (Геофизический институт АН СССР) по регистрации и исследованию сейсмических волн от

ядерных взрывов в телесейсмической зоне. Первая регистрация сейсмических сигналов от воздушного атомного взрыва была сделана в 1951 г. на территории Геофизической обсерватории Боровое, на расстоянии 700 км от взрыва. Эти работы возглавлялись директором Института академиком Г.А. Гамбурцевым и проводились лабораторией сейсмометрии под руководством И. П. Пасечника.

И.В.Курчатов возглавил в ЛИПАН (Лаборатория измерительных приборов АН СССР) предварительные исследования глобального распространения продуктов ядерных взрывов. С 1952 г эти исследования проводились по двум направлениям - создание средств сбора радиоактивных продуктов взрыва (под руководством академикоа И. К. Кикоина) и разработка методик сбора и анализа радиоактивных продуктов взрыва (под руководством Б.В. Курчатова). В этом же году академиками А. Д. Сахаровым и Д. А. Франк-Каменецким выполнено обоснование самолетного способа отбора радиоактивных аэрозолей применительно к американским ядерным взрывам.



Академик И. В. Курчатов – инициатор создания в СССР Системы дальнего обнаружения ядерных взрывов



Академик И. К. Кикоин – научный руководитель разработки методов обнаружения ядерных взрывов

По инициативе И. В. Курчатова при взрыве первого советского термоядерного устройства в августе 1953 г. осуществлен успешный опыт регистрации радиоизлучения взрыва на расстоянии 70 км от его эпицентра. Во время проведения этого же взрыва системой наблюдения за длиннопериодными сейсмическими волнами, развернутой академиком Г.А. Гамбурцевым, кроме телесейсмических волн были зарегистрированы колебания инфразвуковой частоты, вызванные воздействием на грунт акустической волны, распространяющейся со скоростью звука. На основании этой парадоксальной регистрации воздушных волн сейсмографом возникла идея разработки специального микробарографа повышенной чувствительности в области инфранизких частот. Она была реализована в ЛИПАН в начале 1954 г.



Академик Г. А. Гамбурцев – инициатор и научный руководитель разработки в СССР сейсмической системы контроля ядерных взрывов



Полковник (генерал-майор с 1962 г.) А. И. Устюменко – создатель и первый начальник Службы специального контроля Министерства обороны СССР

Под руководством Е. М. Каменева был создан микробарограф, позволявший регистрировать изменение атмосферного давления от десятых долей до тысяч Паскалей с периодом колебаний от пяти секунд до нескольких минут.

На основе экспериментов, проведенных в 1949-1953 гг., под руководством Министерства среднего машиностроения во главе с Министром В.А. Малышевым, в 1954 г. была осуществлена широкомасштабная программа по дальнему обнаружению серии мощных ядерных взрывов, проведенных США на Эниветок-Бикини, и дальнейшее совершенствование его научно-технических основ.

17 марта того же года в Главном разведывательном управлении Генштаба Министерства обороны СССР была создана Служба специального наблюдения во главе с полковником Александром Ивановичем Устюменко. Было организовано 4 отряда: центральный - в Ворошилове-Уссурийском, отдельные - в Петропавловске-Камчатском, Южно-Сахалинске и Дальнем (Военно-морская база Порт-Артур, КНР). В 1954 г. Служба провела экспериментальную проверку возможностей обнаружения ядерных взрывов, проводившихся на Эниветок-Бикини. Использовались методы приема радиоизлучения в коротковолновом диапазоне радиочастот и регистрации инфразвуковых волн микробарографами, сконструированными в ЛИПАН. В ходе экспериментов была зарегистрирована инфразвуковая волна от взрыва термоядерной бомбы на атолле Бикини 26 марта 1954, а сейсмическим методом на расстоянии 9200 км зарегистрировано четыре взрыва – 28 февраля, 26 марта, 25 апреля и 4 мая.

Наиболее сложным был путь становления радиотехнического метода обнаружения ядерных взрывов. От безуспешных попыток регистрации радиоимпульса в коротковолновом диапазоне радиочастот (дальневосточные отряды), первого удачного эксперимента в сверхдлинноволновом диапазоне (Семипалатинский испытательный полигон, А. Г. Баканов) в 1954 г. до надежной регистрации и выделения радиосигнала на расстоянии 2700 км от эпицентра взрыва (В. И. Стефанов) потребовалось 3 года.

К середине 1957 г. под научным руководством академика И. К. Кикоина были в основном завершены экспериментальные и теоретические разработки четырех методов дальнего обнаружения ядерных взрывов – радиотехнического, акустического, аэрозольного, сейсмического. Созданными макетными образцами аппаратуры радиотехнического, акустического и наземного аэрозольного методов были оснащены четыре отряда Службы специального наблюдения, три из которых, по-прежнему, находились на Дальнем Востоке, а четвертый - в г. Кирове, куда был передислоцирован отряд из г. Дальнего. Сейсмические наблюдения выполнялись станциями Института физики Земли АН СССР (до 1956 г. ГЕОФИАН). Информация о ядерных взрывах поступала от стационарных станций в Службу специального наблюдения. Сюда же стекалась информация о результатах обработки радиоактивных проб, сбор и анализ которых производились Институтом атомной энергии (ранее – ЛИПАН) и Радиевым институтом АН СССР.

13 мая 1958 г. выходит Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О создании Службы контроля Министерства обороны СССР за испытаниями ядерного оружия за рубежом». В ее состав вошли руководящий орган и научный вычислительно-обрабатывающий центр, созданные в Москве, а также 9 лабораторий - воинских частей, размещенных на территории Советского Союза. Возглавил созданную Службу специального контроля (ССК МО) полковник А. И. Устюменко. С первых дней существования Службы котроля ее задачи были расширены за счет задачи обеспечения участия в переговорах об эффективности контроля за запрещением испытаний ядерного оружия.

РЕТРОСПЕКТИВА ПЕРЕГОВОРНОГО ПРОЦЕССА О ЗАПРЕЩЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ И СОЗДАНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА [3,4]

Первые контакты представителей национальных систем контроля США и СССР произошли на трехстороннем (СССР, США, Великобритания) Женевском совещании экспертов, проходившем с 1 июля по 21 августа 1958 г.

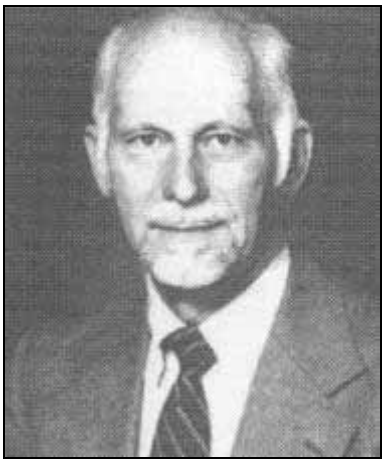
В составе американской делегации работали технический директор AFTAC мистер Доул Носруп (Mr. Doyle Northrup) и доктор Карл Ф. Ромни (Carl F. Romney).

В состав советской делегации, кроме видных ученых (Н.Н. Семенов, И.Е. Тамм, Л.Н. Бреховских и др.), входили начальник Службы спецконтроля А. И. Устюменко, научный руководитель Семипалатинского испытательного полигона академик М. А. Садовский, руководитель сейсмометрической лаборатории ИФЗ АН СССР доктор И. П. Пасечник.

Опыт применения различных методов дальнего обнаружения ядерных взрывов в США и в СССР ко времени проведения совещания экспертов в Женеве был значительным, что отражено в нижеприводимой таблице.



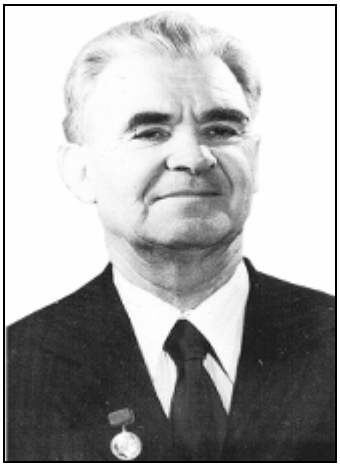
Мистер Доул Носруп (Mr. Doyle Northrup) – технический директор AFTAC, участник совещания технических экспертов в Женеве в 1958 г



Доктор Карл Ф. Ромни (Carl F. Romney) – эксперт по сейсмическому методу контроля на переговорах по запрещению ядерных испытаний, начиная с 1958 г. в Женеве



Академик М. А. Садовский - научный руководитель Семипалатинского испытательного полигона, член советской делегации на совещании экспертовв Женеве в 1958 г.



Профессор И. П. Пасечник - руководитель сейсмометрической лаборатории ИФЗ АН СССР, член советской делегации на совещании экспертов в Женеве в 1958 г.

Таблица. Применение методов дальнего обнаружения ядерных взрывов участниквми женевских переговоров. 1947 -1959 гг.

Методы		Годы												
		1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Радионуклидный	США													
	СССР													
Инфразвуковой	США													
	СССР													
Сейсмический	США													
	СССР													
Радиотехнический	США													
	СССР													

На совещании были обсуждены и приняты для контрольной системы мониторинга следующие методы обнаружения ядерных взрывов:

- инфразвуковой (акустический);
- гидроакустический;
- сейсмический;
- радионуклидный (аэрозольный);
- радиотехнический (радиоимпульсный).

Кроме того, были обсуждены радиолокационный метод и методы обнаружения высотных ядерных взрывов. На основе опыта, приобретенного США и СССР при создании национальных систем обнаружения ядерных испытаний, совещание экспертов рекомендовало своим правительствам достаточно подробную структуру международной системы контроля для обнаружения нарушения возможного соглашения о приостановке ядерных испытаний. Система, наряду с проведением инспекции на месте неопознанных явлений, позволяла бы обнаруживать и идентифицировать ядерные взрывы, в том числе взрывы малой мощности (1-5 кт). Было согласовано оптимальное количество контрольных постов: 160-170 наземных, около 10 корабельных. Было признано необходимым создание международного контрольного органа для осуществления руководства Системой. Функционирование каждого контрольного поста Системы предлагалось осуществлять персоналом, состоящим из 30 специалистов и нескольких человек вспомогательного персонала. Дополнительно к наблюдениям основной сетью наблюдениий предусматривался сбор воздушных проб самолетами, совершающими рейсы с севера на юг по периметрам Атлантического и Тихого океанов, а также над районами океанов, удаленными от наземных контрольных постов. При необходимости, в случае обнаружения неопознанного явления, допускались специальные полеты.

Таким образом, Женевское совещание экспертов показало технические возможности создания международной системы контроля, на нем было принято решение о целесообразности ее создания и предложен практический вариант построения системы (методы, число станций, типы аппаратуры и др.). К сожалению, разные политические цели США, Великобритании и СССР в конце 50-х - начале 60-х годов возобладали над здравым смыслом и рекомендации Женевского совещания трехсторонних переговоров 1958-1960 гг. не были реализованы. Кстати, на трехсторонних переговорах в Женеве впервые была озвучена идея калибровки международной системы контроля с помощью совместного проведения подземных ядерных взрывов на советских и американских полигонах, которая была реализована только в 1988 г.

В 1963 г. был подписан Договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой. Созданные национальные системы контроля США и СССР стали гарантами выполнения этого Договора.

Национальные системы были призваны контролировать также подписанный в 1974 г Договор об ограничении подземных ядерных взрывов мощностью до 150 кт, который, хотя долгое время и не был ратифицирован США, но соблюдался обеими сверхдержавами.

Препятствиями к заключению договора о полном и всеобщем запрещении ядерных испытаний оставались недоверие США к контролю национальными средствами и нежелание СССР допускать на свою территорию иностранных наблюдателей. Поэтому переход к международной системе контроля за исполнением соглашений о прекращении испытаний продолжал оставаться предметом переговоров 1977-1980 гг., а также совещаний Группы научных экспертов (ГНЭ), учрежденной Конференцией по разоружению. Группа научных экспертов разработала и провела ряд технических экспериментов (ТЭ), таких как ТЭГНЭ-1, ТЭГНЭ-2 и ТЭГНЭ-3, в осуществлении которых активное участие принимали AFTAC и ССК МО. На государственных уровнях был проведен совместный Советско-Американский эксперимент по контролю (СЭК) в 1988 г. с применением гидродинамического и сейсмического методов. В результате был дан зеленый свет, прежде всего, ратификации в 1990 г. Договора об ограничении мощности ядерных испытаний и, в конечном итоге, подписанию в 1996 г. Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [4].

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ЕЕ ПЕРСПЕКТИВЫ [4,5]

Контакты представителей ССК МО и AFTAC, имевшие место в период осуществления технических экспериментов Группы научных экспертов, были продолжены при вводе выделенных сейсмических станций на территориях США и России. Еще более тесными контакты стали в период подготовки, а также после подписания в 1996 г. Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.

С 19993 г в рамках двустороннего Меморандума о сотрудничестве между ССК МО и АРПА МО США с проводился эксперимент по регистрации и обмену непрерывной сейсмической информацией. Этим экспериментом был внесен существенный вклад в расширение сети сейсмических станций и формирование прототипа Национального центра данных на базе Центра сбора и обработки информации в г. Дубне, а также в обеспечение проведения третьего международного эксперимента Группы научных экспертов в Женеве (ТЭГНЭ-3).

По Соглашению от 11 июля 1994 г. между ССК МО РФ и AFTAC специалисты ССК МО и НИЦ СК МО провели работы по определению возможности размещения малобазовых сейсмических групп (МБСГ) в районах пос. Пеледуй, с. Залесово и г. Уссурийск. По результатам выполненных обследова-

ний в 10 км от основной площадки станции Пеледуй была построена и в 1999 г. введена в эксплуатацию первая в России малобазовая сейсмическая группа, информация которой передается в режиме реального времени через НЦД в г. Дубне в прототип МЦД в Арлингтоне и в МЦД в Вене. Для остальных обследованных районов НИИимпульсной техники проектирует строительство МБСГ.

Специалисты ССК МО и НИЦ МО активно участвуют в реализации положений Договора 1996 г. о создании Международной системы мониторинга (МСМ), регулярно участвуют в заседаниях рабочих групп по созданию МСМ и МЦД в Вене, разработке методических материалов, подготовке обслуживающего персонала.

Важные шаги в реализации Договора 1996 г. сделаны Российской Федерацией и Республикой Казахстан: Россия в 2000 г. ратифицировала Договор Федеральным законом № 72-ФЗ, Казахстан ратифицировал Договор решением Парламента от 14 декабря 2001 г.

Светлые перспективы МСМ видятся, прежде всего, в ратификации Договора 1996 г. со стороны США, а также в расширении использования в составе МСМ других методов обнаружения. В первую очередь, - радиотехнического и магнитно-теллурического с целью обнаружения воздушных и высотных/космических ядерных взрывов, во-вторых, - сочетания данных наземных технических средств с данными, получаемыми с помощью средств космического базирования. Важным направлением совершенствования МСМ является внедрение в практику ее работы метрологического обеспечение сейсмических измерений на основе применения системы метрологического обеспечения в соответствии с Государственным стандартом ГСИ 8. 562-97, разработанной Государственным унитарным предприятием ВНИИ метрологии им. Д. И. Менделеева.

В более длительной перспективе, Международная система мониторинга, думается, должна стать прообразом Всемирной системы геофизических наблюдений за динамикой геосфер, подобно существующей Всемирной метеорологической организации (ВМО), которая будет служить не только целям контроля за ядерными взрывами, но и народнохозяйственным целям, а также изучению строения Земли и околоземного пространства.

Литература

1. A Fifty Year Commemorative History Long Rang Detection //50 памятных лет дальнего обнаружения/ Штаб-квартира Центра прикладных технологий ВВС США, авиабаза Патрик. - Флорида, сентябрь 1997 г.
2. Рожденная атомным веком. В двух частях / Под редакцией А. П. Васильева. - 2-е изд. - М – 2002. Ч.1 – 403 с., ч.2 – 438 с.
3. Доклад совещания экспертов по изучению методов обнаружения нарушений возможного соглашения о приостановке ядерных испытаний/ EXP/NUC, 20 августа 1958 г.
4. Кедров О. К., Коваленко В. В. Концепция третьего технического эксперимента группы научных экспертов Конференции по разоружению/Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии, № 3-4 – 1995.
5. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) //Подготовительная комиссия Организации ДВЗЯИ, переизд. – 2001.

ЯДРОЛЫҚ СЫНАУЛАРЫН БАҚЫЛАУ ҰЛТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІНЕН – ХАЛЫҚАРАЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІНЕ

Васильев А. П.

Ресей Федерациясы, Мәскеу қ

Мақалада, АҚШ ӘӘК Техникалық қолданыс орталығы (AFTAC) пайда болу мен дамуының тарихи аспектілері, РФ ҚМ Арнайы бақылау қызметі (ССК МО РФ) құрылуының тарихы, Халықаралық мониторинг жүйесін құру және келіссөз процессінің шолуы келтірілген. Халықаралық мониторинг жүйесі қысқаша сипатталады.

FROM NATIONAL NUCLEAR MONITORING SYSTEMS TO THE INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM

A. P. Vassiliev

Russian Federation, Moscow

The article shows historical aspects of establishment and development of the US Air Force Technical Applications Center (AFTAC), history of the Special Monitoring Service, Ministry of Defense, RF (SMS MD RF) establishment, retrospective of negotiation process and establishment of the International Monitoring System. A brief description of the International Monitoring System is considered.

УДК 504.064.36(100)

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА – ЕЕ ЦЕЛИ И СОСТОЯНИЕ

Суарез Ж.

Подготовительная комиссия Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении испытаний ядерного оружия, г. Вена

Дается обзор современной деятельности, проводимой Департаментом Международной системы мониторинга ОДВЗЯИ, характеризуются используемые технологии и достигаемые цели.

ДОГОВОРЫ О ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ. ПОЛИТИЧЕСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ

Хронология событий, которые привели к созданию и деятельности Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), охватывает более чем пятидесятилетний период времени.

1945 г. - осуществлены первые в истории Земли ядерные взрывы.

1954 г.– мораторий на проведение испытания ядерного оружия, предложенный Премьер - министром Индии Джавахарлалом Неру.

1963 г.- Договор об ограничении испытаний ядерного оружия (запрещающий испытание в атмосфере, космическом пространстве и под водой). Подписан Великобританией, Советским Союзом и США

1968 г.- Договор о нераспространении (запрещающий государствам, не имеющим ядерного оружия, обладать, производить или приобретать ядерное оружие или другие ядерные взрывчатые устройства).

1974 г.- Пороговый договор о запрещении испытаний (ограничивающий мощность ядерных зарядов до 150 килотонн). Подписан Советским Союзом и США.

1985 г.– GSETT - 1 - первый технический эксперимент Группы научных экспертов по методам контроля ядерных испытаний.

1995 г.- GSETT – 3- третий технический эксперимент Группы научных экспертов по методам контроля ядерных испытаний.

С января 1994 г. в Женеве по дипломатическим каналам началась подготовка текста и согласование положений и текста Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) при большой поддержке Генеральной ассамблеи ООН.

24 сентября 1996 г. в Нью-Йорке, в штаб квартире ООН на 51– й сессии Генеральной Ассамблеи ООН Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний был принят и открыт для подписания. 71 государство, включая пять государств, обладающих ядерным оружием, подписали Договор в тот же день.

19 ноября 1996 г. в Нью-Йорке на встрече государств-подписантов учреждена Подготовительная комиссия Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ) как международная организация, осуществляющая функции контроля и ряд других функций, возложенных Договором.

17 марта 1997 г. в Вене состоялось открытие штаб квартиры Подготовительной комиссии ОДВЗЯИ. Временный технический секретариат Подготовительной комиссии начал свою работу.

Основная идея Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний ясно выражена в первой его статье: « Каждое государство-участник обязуется не производить любой испытательный взрыв ядерного оружия и любой другой ядерный взрыв, а также запретить и предотвращать любой такой ядерный взрыв в любом месте, находящимся под его юрисдикцией или контролем».

Помимо политического соглашения о непроведении ядерных испытаний, государства, подписавшие Договор, приняли решение о создании системы мониторинга для проверки и подтверждения того, что данный Договор выполняется. Учреждение Международной системы мониторинга является инженерной задачей, беспрецедентной в истории контроля над вооружением. На Подготовительную Комиссию возложены контроль и координация разработки, подготовки, технической проверки, до официального ввода в эксплуатацию, а также временная эксплуатация Международной системы мониторинга.

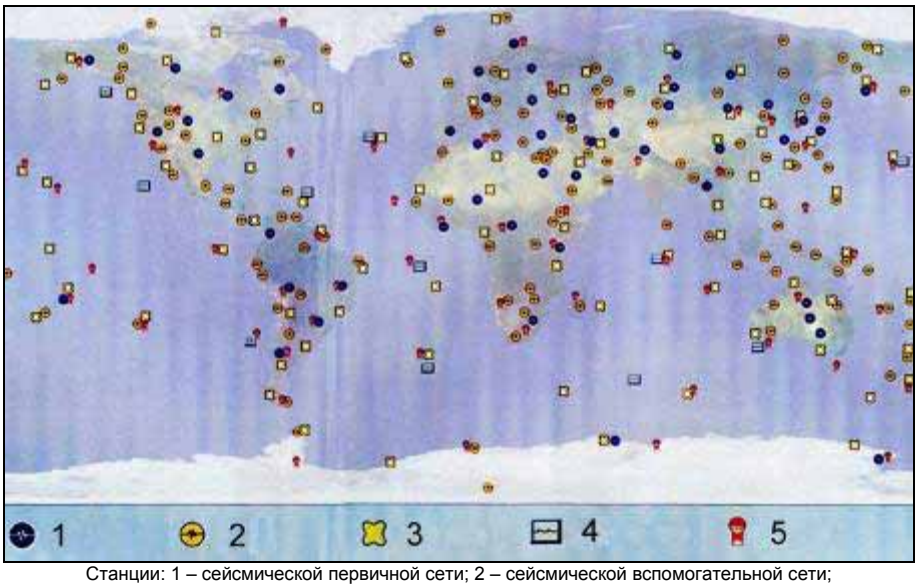
Система мониторинга определена в составе трех основных элементов: Международная система мониторинга (МСМ), Международный центр данных (МЦД), Инспекция на месте (ИНМ).

МСМ – это 321 станции: 50 – первичные сейсмические, 120 – вспомогательные сейсмические, 60 – инфразвуковые, 11 – гидроакустические, 80 – радионуклидные, 16 – лаборатории.

МЦД - сбор по спутниковому каналу, анализ данных, предоставление конечных информационных продуктов и услуг, необходимых для эффективного глобального мониторинга.

ИНМ – проведение, после вступления в полную силу ДВЗЯИ, инспекции на местах в том случае, когда обнаружено подозрительное событие.

На рисунке 1 показана полная система МСМ.



Станции: 1 – сейсмической первичной сети; 2 – сейсмической вспомогательной сети;
3 – радионуклидные; 4 – гидроакустические; 5 – инфразвуковые.

Рисунок 1. Полная международная система контроля за ядерными испытаниями

Станции распределены по поверхности Земли достаточно равномерно, несмотря на проблемы как технические, так и с точки зрения поставок на станции, расположенные в удаленных и недоступных уголках планеты.

Система включает четыре метода контроля и самые передовые технологии, имеющиеся на сегодняшний день, - сейсмические, инфразвуковые, гидроакустические, радионуклидные. Сейсмические, гидроакустические и инфразвуковые станции используются для мониторинга подземной, подводной и атмосферной среды, соответственно. Радионуклидные станции применены для обнаружения продуктов радиоактивного распада при атмосферных ядерных взрывах или продуктов радиоактивного распада, выброшенных в атмосферу при ядерных взрывах, проведенных под землей или под водой.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ СЕТЬ

Система первичных сейсмических станций является наиболее продвинутой, поскольку многие станции уже существовали до создания сети МСМ, что позволило базироваться на них. На рисунке 2а представлены 50 станций первичной сейсмической сети, в которую входят как сейсмические группы, так и трехкомпонентные станции. На рисунке 2б показана степень прогресса в развитии каждой из станций.

На карте показаны места, где работы по созданию станций еще не начинались, в основном по политическим причинам, места, где участок под строительство уже выбран, или проводятся изыскания, или ведется строительство. Выделена категория полностью построенных и действующих станций. Показаны также станции, которые сертифицированы и официально являются частью МСМ. Есть надежда, что установленные станции, которые находятся в процессе тестирования, в ближайшее время будут сертифицированы и официально станут частью МСМ. Динамика сертификации станций первичной сети выглядит следующим образом. В 2001 г.было сертифицировано 20% станций сети, в 2002 г.– порядка 40%. Предполагается, что к концу 2003 г.уже порядка 80 % станций будет сертифицировано.



● сейсмическая группа ● трехкомпонентная станция

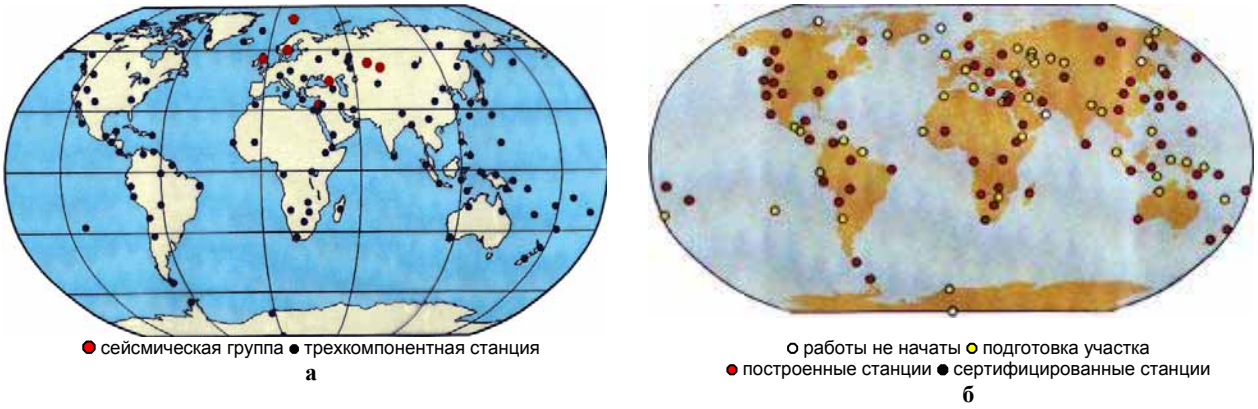
а



○ работы не начаты ○ подготовка участка
● построенные станции ● сертифицированные станции

б

Рисунок 2. Сейсмическая сеть первичных станций МСМ: а – тип станций; б – состояние станций



а **б**

Рисунок 3. Сейсмическая сеть вспомогательных станций МСМ: а – тип станций; б – состояние станций

На рисунке 3 показано 120 станций вспомогательной сети, обеспечивающей более плотное покрытие поверхности Земли в сравнении с первичными станциями.

Различие между первичной и вспомогательной сетью состоит в том, что станции первичной сети работают в непрерывном режиме и передают данные в МЦД в режиме реального времени. Данные станций вспомогательной сети, которые необходимы для улучшения результатов локализации эпицентра сейсмических явлений, автоматически запрашиваются из МЦД. Поэтому данные этих станций поступают в МЦД не в режиме реального времени. Как можно видеть из рисунка 4, число установленных и действующих станций вспомогательной сети весьма значительно. Большинство из них являются станциями национальных и международных сетей и представляют вклад различных стран в МСМ. Состояние вспомогательной сети МСМ может быть оценено следующим образом. Соответствуют спецификациям и не требуют дополнительной работы (кроме установки спутниковой системы связи и аутентификации) 25% станций. Незначительная доработка требуется для 37% станций. Значительная модернизация требуется для 16% станций. Полная установка оборудования на существующей площадке требуется для 10% станций. Требуется строительство и установка оборудования для 12% новых станций. В целом, с учетом национального вклада в МСМ, около 30 % станций вспомогательной сети нужно или строить заново, или переоборудовать.

Ни одна из станций вспомогательной сети не была сертифицирована, так как, согласно инструкциям от государств-подписантов, станции первичной сети являются более приоритетными и сертифицируются в первую очередь. Однако, станция AS057 - Боровое, одна из первых сейсмических станций вспомогательной сети, которая сертифицирована в 2002 г.

Остановимся на географическом регионе – Средняя и Центральная Азия. На рисунке 4 показаны все станции сейсмических сетей - первичной и вспомогательной.

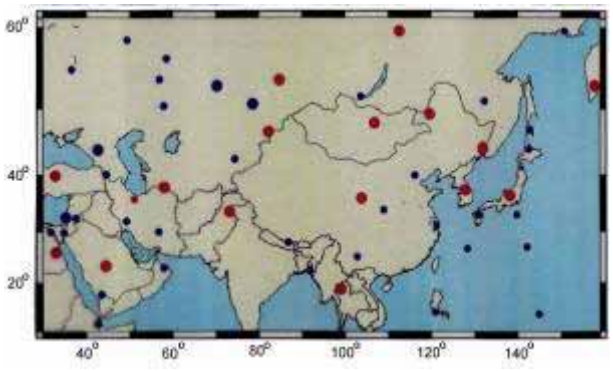


Рисунок 4. Сейсмические станции МСМ в Средней и Центральной Азии

Показаны станции, которые уже существуют и те, которые будут построены. Покрытие станциями территории Центральной Азии значительное. На территории Казахстана - это построенные и сертифицированные сейсмические группы PS23 – Маканчи, AS57 - Боровое. В Китае достроены две стации: PS12 – Хайлар, PS13 – Ланьчжоу. На новой площадке начато строительство сейсмической группы в Саудовской Аравии. Продолжается строительство нескольких станций в России: PS33 - Залесово, PS35 - Пеледуй, PS37 - Усурийск. На нескольких сейсмических группах, например, в Турции, Корее, Японии, проведено техническое переоснащение в соответствии с современными техническими требованиями.

Выше было сказано, что данные станций первичной сети передаются в режиме реального времени в МЦД. Связь между наблюдательными станциями и МЦД является одним из важных и слабых звеньев системы мониторинга. На рисунке 5 иллюстрируется прогресс в передаче данных, достигнутый после перехода на использование инфраструктуры глобальной связи (GCI).

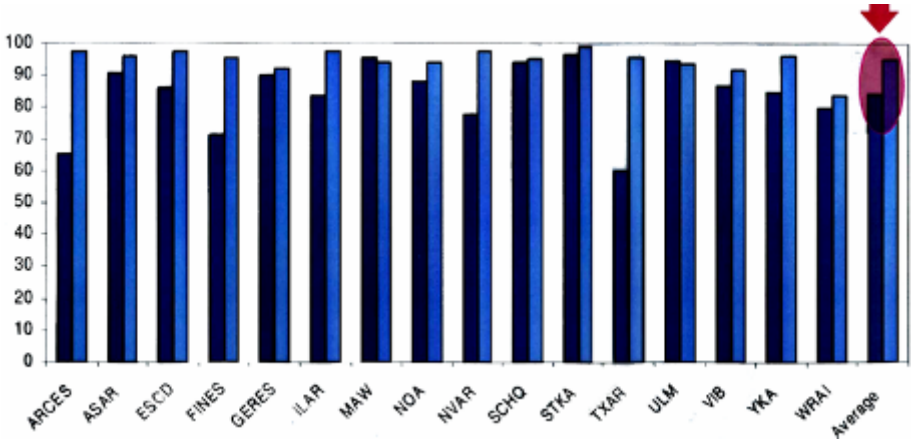


Рисунок 5. Сравнение доступности данных с использованием GCI

Темным цветом обозначен процент данных, получаемых в МЦД по каждой из обозначенных 15 станций, в 1999 г, до установки спутниковой системы связи, синим цветом – в 2001 г, после установки спутниковой системы связи. Использование инфраструктуры глобальной связи значительно улучшили передачу данных - средний объем получаемых данных с использованием GCI увеличился до 95% по сравнению с 84% - до ее применения.

ИНФРАЗВУКОВАЯ СЕТЬ

На рисунке 6 показано состояние инфразвуковой сети МСМ.



Рисунок 6. Инфразвуковая сеть станций МСМ

Как видно, большую часть станций нужно строить с нуля. Лишь небольшая часть станций сертифицирована. Строительство другой части, в которую входит и казахстанская станция IS31 – Актюбинск, полностью закончено. Предполагается, что в ближайшее время эти станции будут сертифицированы.

Каждая инфразвуковая станция представляет группу из 4 – 8 датчиков - микробарометров, расположенных на расстоянии друг от друга 1-3 км. Данные передаются на станцию и затем в МЦД.

В последнее время на инфразвукововых станциях устанавливают по 8 элементов, как, например, на станции IS31 – Актюбинск в Казахстане. Элементы представляют сложную конструкцию из труб с входными портами, предназначенную для уменьшения некогерентного шума.

Удивительно многообразие и количество явлений, которые зафиксированы инфразвуковыми группами, несмотря на их относительно малое количество, - землетрясения, извержения вулканов, метеорологические явления, вход в атмосферу космических обломков, запуск ракет, полет сверхзвуковых самолетов и др. Ниже приведены некоторые примеры.

В 2001 г. на побережье Перу произошло сильное землетрясение с магнитудой 8,1 и 8,2. Благодаря тому, что незадолго до этого в Боливии была установлена инфразвуковая группа IS08, землетрясение было зафиксировано не только сейсмической станцией PS06, но и инфразвуковой станцией.

На рисунке 7а приведены результаты анализа с использованием пакета программ РМСС инфразвуковых записей землетрясения – азимут, скорость, амплитуда.

Инфразвуковые записи вулканических взрывов приведены на рисунке 7б-г. Многочисленные события, вызванные небольшим вулканическими взрывами, зарегистрированы во время проведения инженерно-геологических изысканий под строительство станции IS40 - Рабул в Папуа - Новая Гвинея. На рисунке 7б дана обзорная запись, на рисунке 7в, г - детализация.

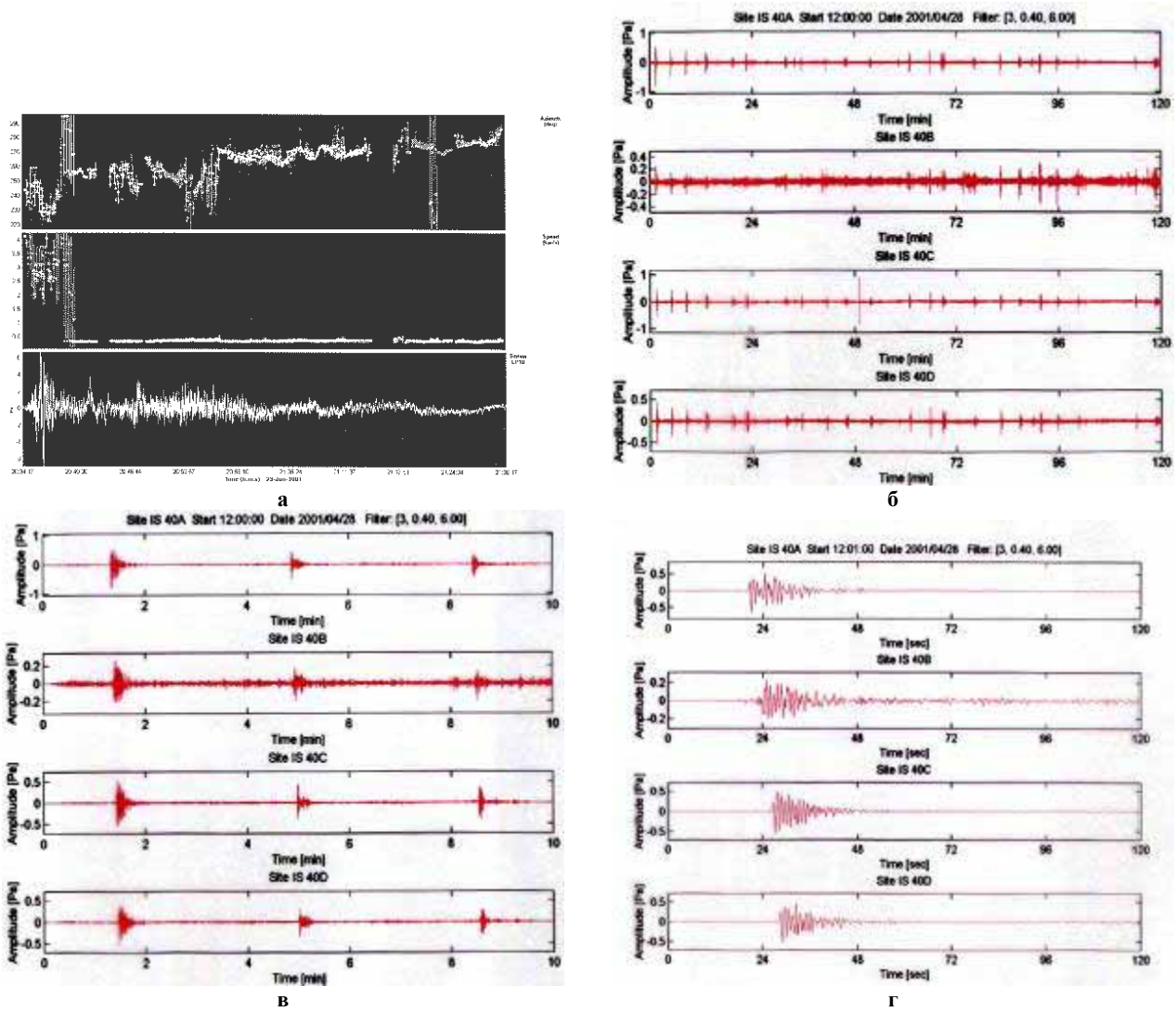


Рисунок 7. Примеры инфразвуковых записей землетрясения (а) и вулканических взрывов (б-г)

Наблюдения проведены на расстоянии примерно 25 км от вулкана Тавурвур. Записаны вулканические взрывы, которые происходили с частотой около 15 событий в час.

Извержения вулкана Этна в период его максимальной активности между 25 мая и 29 июля 2001 г.были зарегистрированы тремя инфразвуковыми станциями: IS26 - Фрайунг, Германия; DASE- Флерс, Нормандия; Дилен (DIA), Голландия. Сигналы имеют малую амплитуду (0,05 Па) и превалирующую частоту 1 Гц. Поскольку инфразвуковые наблюдения выполнялись в течение двух месяцев, интересно отметить влияние суточного изменения ветров в верхних слоях атмосферы на результаты измерения азимута инфразвуковых сигналов (рисунок 8).

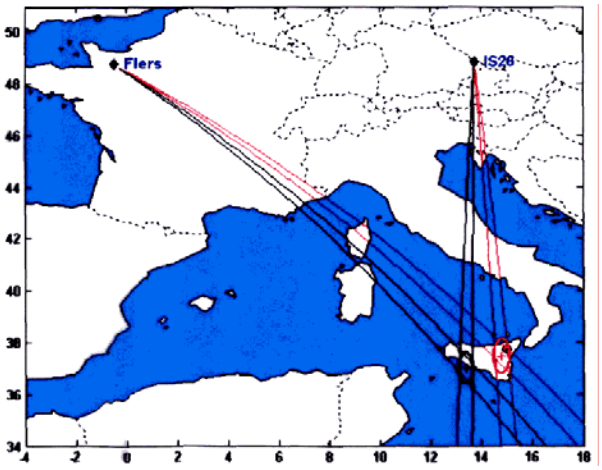


Рисунок 8. Влияние суточного изменения ветров в верхних слоях атмосферы на измеренный азимут инфразвуковых сигналов вулкана Этна

ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ СЕТЬ

Одиннадцать гидроакустических станций МСМ (рисунок 9) используются в системе контроля для распознавания подводных взрывов и других явлений, таких как, подводная вулканическая деятельность, землетрясения и др. Шесть гидроакустических станций МСМ являются гидрофонными, 5 – Т-фазовыми.

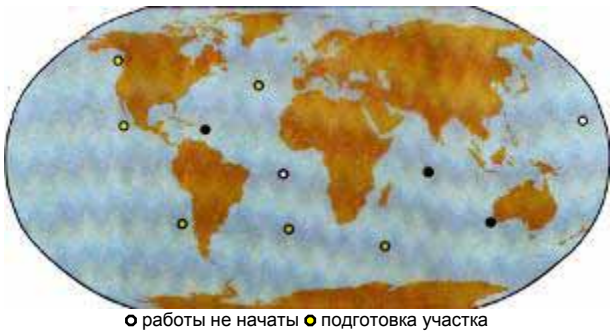
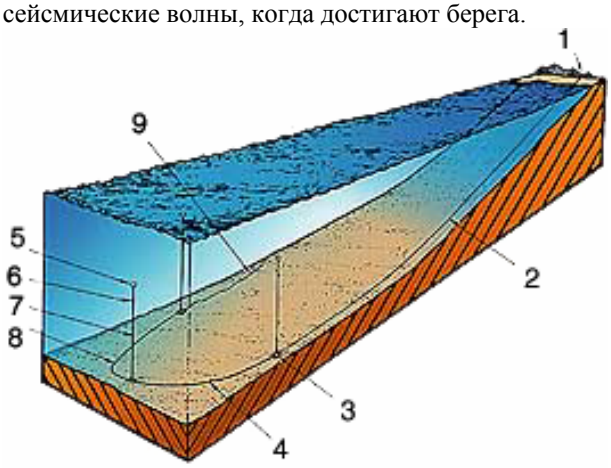


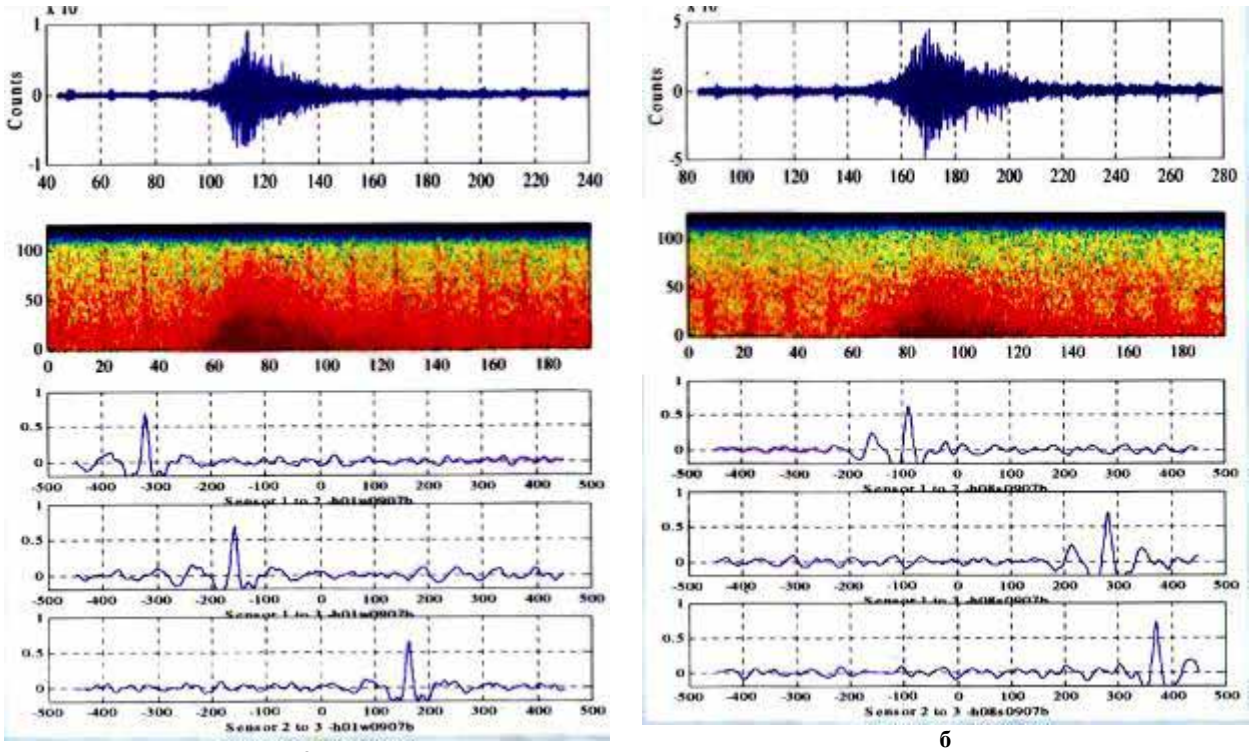
Рисунок 9. Гидроакустическая сеть станций МСМ

В гидрофонных станциях МСМ используют подводные микрофоны (гидрофоны), которые улавливают подводные сигналы и затем передают их по кабелю на береговую станцию. На рисунке 10 показано устройство такой гидрофоновой станции. Три гидрофона установлены в местах, выбираемых с учетом наилучшего распространения акустических сигналов. Оптоволоконный кабель тянется от гидрофонов на сотни километров до береговой станции. Гидрофонные станции весьма чувствительны и улавливают акустические волны от подводных явлений, произошедших на очень большом расстоянии. Однако установка и техническое обслуживание таких станций является весьма дорогой, поэтому в сеть включены также Т-фазные (сейсмические) станции. Эти станции расположены на океанических островах и используют сейсмометры для обнаружения акустических волн, которые преобразуются в сейсмические волны, когда достигают берега.



1 - береговая установка; 2 - магистральный кабель; 3 - подводная электроника (узловая сборка); 4 - межузловой кабель; 5- притопленный буй; 6 - гидрофон; 7 - водоотделяющий кабель; 8 - межузловой кабель; 9 - хвостовой кабель

Рисунок 10. Гидрофонная станция МСМ



а **б**

Рисунок 11. REB событие 2001/09/0. Данные станций: а - H01W; б – H08S

Строительство гидроакустических станций начато практически с нуля. Строится несколько таких станций в Чили, Австралии.

Начата обработка данных станций, установленных в Индийском океане. На рисунке 11 приведен пример записей землетрясения в океане, зарегистрированного двумя гидроакустическими станциями: H01W- Мыс Луин (Западная Австралия) и H08S – BIOT- Diego Garcia (Соединенное Королевство). Был проведен простейший кросскорреляционный анализ сигналов каждого гидрофона. На рисунке показан результат кросскорреляции, где четко обозначены пики сигналов.

Выполнен обзор определений азимута на эпицентр землетрясения (рисунок 12). Согласно REB-каталогу местонахождение события (азимут/расстояние) от станции H01W - 243^0/2748 км (средний расчетный азимут $243{,}6^0$), от станции H08S - 166^0/4011 км (средний расчетный азимут $166{,}0^0$). С очень хорошей точностью, до нескольких градусов, определен обратный азимут локализованного события.

Гидроакустическими станциями зарегистрированы и изучаются сигналы от ряда других событий – взрывов при сейсмической разведке, событий, похожих на взрыв и др. (рисунок 13).

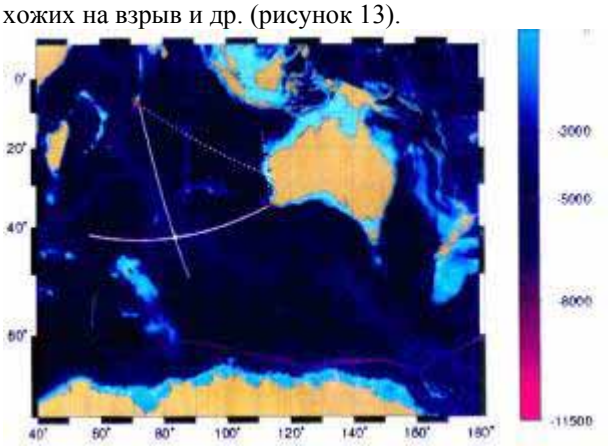
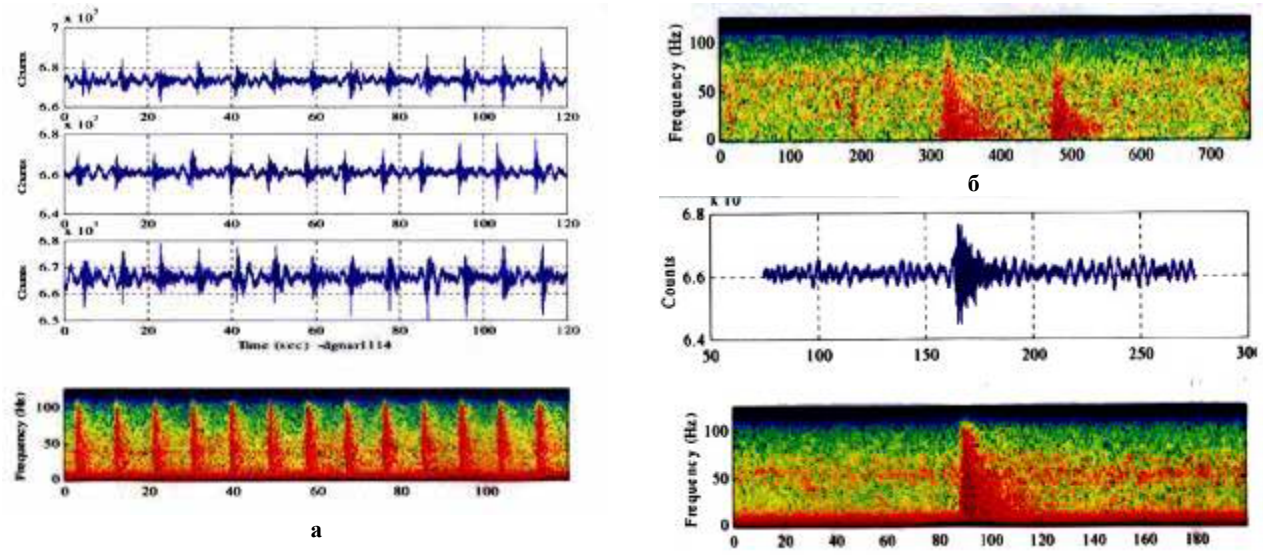


Рисунок 12. Пеленгация эпицентра землетрясения в Индийском океане станциями H01W и H08S



а – сейсмическая разведка; б – киты (?); в – событие, похожее на химический взрыв.

Рисунок 13. Некоторые события, зарегистрированные гидроакустическими станциями

СЕТЬ РАДИОНУКЛИДНЫХ СТАНЦИЙ

Размещение 80 радионуклидных станций показано на рисунке 14. Из них девять станций сертифицировано и четыре построено.

В составе станций используют пробоотборник воздуха для обнаружения радиоактивных частиц, образуемых при атмосферных взрывах и выбрасываемых в атмосферу при взрывах, произведенных под землей или под водой. Относительное множество радионуклидов в пробах может характеризовать вещества, производимые ядерным реактором и ядерным взрывом.

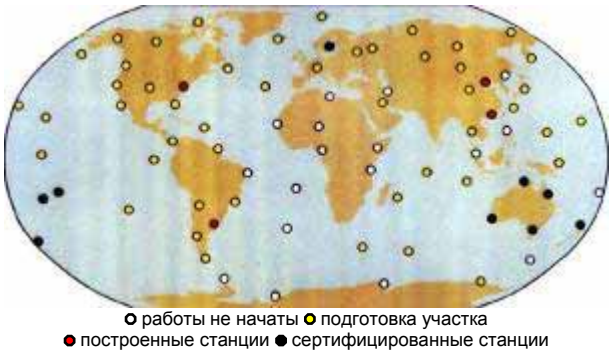
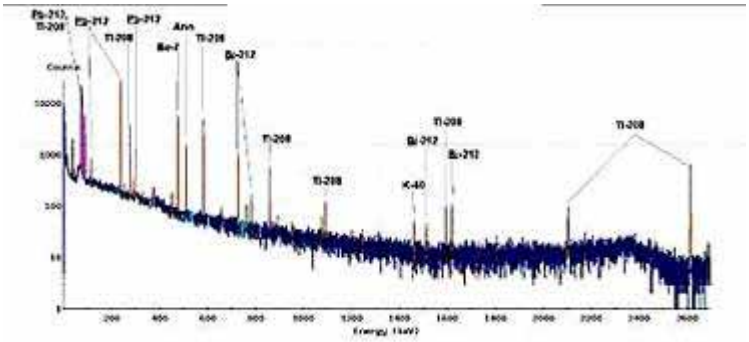


Рисунок 14. Сеть радионуклидных станций МСМ

Совместно работающие радионуклидные лаборатории привлекаются для анализа проб, вызывающих подозрение на наличие радиоактивных веществ, которые могли быть произведены ядерным взрывом. Наличие определенных радионуклидов является однозначным доказательством ядерного взрыва. Половина станций радионуклидной сети имеет возможность, кроме радионуклидов, обнаруживать благородные газы. Наличие благородных газов может также указать на произведенный подземный взрыв.

Принцип работы станции таков, что воздух на большой скорости прогоняется через бумажные фильтры, радионулидные частицы улавливаются в камере и с помощью гамма-спектрометра проверяется наличие техногенных изотопов. На рисунке 15 приведен пример получаемой спектрограммы.

Результатом анализа являются данные о том, какое число фотонов, собрано детектором из пробы, какие радионуклиды, и в каком количестве имеются в пробе, какой энергией они обладают. Окончательный результат по спутниковому каналу связи поступает в МЦД.



По оси ординат - число фотонов, собранных детектором; по оси абсцисс - энергия (кэВ)

Рисунок 15. Пример спектрограммы, получаемой при радионуклидном мониторинге

ДОСТУП К ДАННЫМ МСМ

Деятельность станций МСМ поддерживается Международным центром данных, который расположен в штаб-квартире Подготовительного комитета ОДВЗЯИ в Вене. Свыше 100 станций уже передают данные в МЦД и многие из них - в непрерывном режиме. Получение и передача данных осуществляется с использованием сети из трех спутников. К настоящему времени установлено пять центров GCI и построены терминалы GCI на 46 станциях МСМ, в Национальных центрах данных и на подготавливаемых площадках. Центры GCI соединены наземными линиями связи с МЦД в Вене.

Данные, на основе которых в дальнейшем проводится обнаружение, локализация и анализ событий, обрабатываются немедленно, так, что первые автоматические сейсмологические бюллетени готовы в течение первых двух часов. Впоследствии аналитики Центра перепроверяют результаты автоматической обработки и подготавливают окончательный обзорный сейсмологический бюллетень.

В МЦД используется программное обеспечение, которое соответствует современному техническому и научному уровню.

МЦД предоставляет данные МСМ и продукты МЦД только странам- подписантам на пробной основе с 21 февраля 2000 г. Данные и продукты предоставляются уполномоченным организациям, для которых установлено около 50 защищенных адресов доступа. При этом МЦД оказывает обширную поддержку посредством предоставления стандартных пакетов программ, проведения обучающих курсов и оказания технической помощи.

Будущие пути доступа к данным МСМ и продукции МЦД проходят обсуждение в руководящих органах ОДВЗЯИ. Возможно, что будет организовано немедленное предоставление данных МСМ в гуманитарных целях (например, для помощи при катастрофах) и передача данных для научных исследований.

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІ – ОНЫҢ МАҚСАТТАРЫ МЕН КҮЙІ

Ж. Суарез

Ядролық сынауларға бәрін сыйдыратын тиым салу туралы келісімі бойынша Ұйымның Даярлау комиссиясы, Вена қ

ЯСБТКҮ Халықаралық мониторинг жүйесінің департаменті өткізетін қызметінің шолуы берілген, пайдаланатын технологиялар мен табысты мақсаттары сипатталады.

THE INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM - GOALS AND STATUS

J. Suarez

Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, Vienna

This paper briefly describes a modern activity of the International Monitoring System Division, CTBTO and applied technologies and achievable goals.

УДК 621.039.9:504.064.36(73)

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ЦЕНТРЕ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Норт Р.Г.

Центр мониторинговых исследований, США, г. Арлингтон

Приводится краткая история развития Центра Мониторинговых Исследований (CMR), оценивается его роль в создании Международной системы мониторинга и Международного Центра Данных. Характеризуется современная деятельность Центра Мониторинговых Исследований по трем основным направлениям: поддержка исследовательского сообщества, финансируемого Агентством по Сокращению Военной Угрозаы (DTRA) Департамента Обороны Соединенных Штатов Америки; оценка реальных возможностей IMS и IDC; проведение "Демонстрации Передовых Идей" (ACDs), нацеленной на улучшение возможностей мониторинга ядерных испытаний посредством целенаправленных исследований и развития.

Центр мониторинговых исследований (CMR) расположен в Арлингтоне, штат Виржиния, округ Колорадо. Центр был основан в 1982 г, первоначально - как Центр сейсмических исследований, для поддержки исследований и развития мониторинга ядерных взрывов. Одной из ключевых задач Центра являлось участие в Технических испытаниях по программе, разработанной Группой научных экспертов (ГНЭ) Конференции по разоружению. CMR был основным участником от США во всех трех Технических экспериментах - в 1984, 1990 и 1995-1998 гг. Он служил одним из четырех Международных центров данных для второго Технического эксперимента ГНЭ и единственным Прототипом Международного центра данных (ПМЦД) для третьего Технического эксперимента ГНЭ. Полномасштабные работы по третьему техническому эксперименту ГНЭ были начаты 1 января 1995 г. и заложили основу для создания Международной системы мониторинга (МСМ) и Международного центра данных (МЦД), описанных в Договоре о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Прототип Международного центра данных продолжал работать на ежедневной основе, выпуская бюллетени и другие информационные продукты каждый день, вплоть до февраля 2000 г. После этой даты МЦД в Вене принял на себя ответственность за получение данных от растущей Международной системы мониторинга, за обработку и анализ данных, а также за издание информационных бюллетеней. CMR продолжает направлять в МЦД данные станций ряда стран и намерен это делать до тех пор, пока между этими станциями и МЦД не будет установлена прямая связь.

В настоящее время деятельность Центра мониторинговых исследований, сфокусирована на трех основных направлениях:

1. Демонстрация и распространение программных технологий.
2. Научные исследования и разработка испытательной модели.
3. Поддержка контроля и анализа.

ДЕМОНСТРАЦИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

По этому направлению исследования сосредоточены на улучшении программного обеспечения системы мониторинга, с тем, чтобы сделать результаты мониторинга оперативными и примирительными для всей системы. Программное обеспечение, которое было разработано и широко опробовано в CMR, установлено в МЦД в Вене в мае 1998 г. Последняя поставка завершенного программного обеспечения в МЦД была сделана в конце 2001 г. Учитывая высокую ответственность, CMR планирует обновление и долгосрочную поддержку этого программного обеспечения, а также разработку и демонстрацию нового поколения системы обработки и анализа данных мониторинга.

Следует кратко остановиться на характеристике программных средств, разработанных для МЦД в Вене. Согласно требованиям ДВЗЯИ (п.п. F16-F21), Международный центр данных должен:

- «…осуществлять получение, сбор, обработку, анализ, отчетность и архивацию в отношении данных от объектов Международной системы мониторинга, включая результаты анализов, производимых в сертифицированных лабораториях…
- …проводить бесплатно для государств-участников специальные исследования для углубленного технического обзора, техническую помощь и технический анализ МСМ, или других данных, по соответствующему запросу от Организации или государства-участника ….
- …постепенно укреплять свои технические возможности по мере накопления опыта эксплуатации МСМ.
- …предоставлять стандартные продукты МЦД, не нанося ущерба окончательным суждениям относительно природы любого явления, вынесение которого остается прерогативой государств-участников…»

Исходя из этих требований, в МЦД была создана схема сбора данных, которая показана на рисунке 1.

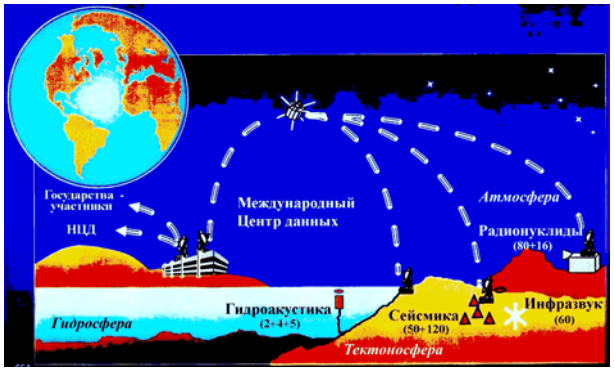


Рисунок 1. Сбор данных в Международном центре данных ОДВЗЯИ

Сбор данных в режиме, близком к реальному времени, осуществляется в поддержку мониторинга, проводимого в трех средах – в атмосфере (высвобождение радионуклидов, инфразвуковые волны, возможное сейсмическое/гидро взаимодействие), под землей (сейсмические волны, возможные выбросы радионуклидов, возможное гидровзаимодействие) и под водой (гидроакустические волны, возможное сейсмическое взаимодействие, возможные выбросы). Поэтому программное обеспечение, которое разрабатывалось в CMR, было предназначено для работы с сейсмической, инфразвуковой, гидроакустической и радионуклидной информацией. Для каждой среды используется комбинация технологий мониторинга ядерных взрывов, в связи с чем, система сбора обеспечивает получение данных в разное время по одному и тому же явлению от гидроакустических, сейсмических и инфразвуковых датчиков из-за разной скорости распространения волн. Разработанное программное обеспечение учитывает эту особенность.



Рисунок 2. Организация работы с данными мониторинга в МЦД

Автоматическая обработка данных осуществляется по мере их поступления. Списки событий публикуются каждый час, через четыре и через двенадцать часов. Первый список событий основан на сейсмических данных вследствие наиболее быстрого распространения сейсмических волн. Позднее издаются списки событий на основе гидроакустических и инфразвуковых данных. Наиболее поздними являются списки событий по данным радионуклидного анализа. Благодаря разработанной технологии и структуре МЦД (рисунок 2) все получаемые данные соединяются автоматически.

Передача данных в МЦД осуществляется одинаково для всех типов станций. Управление данными и их архивация включают автоматическое обнаружение события и выделение признаков, автоматическую обработку и локализацию события, рассмотрение и анализ события. Созданная автоматическая система не является идеальной, но у нее имеется возможность настройки. В настоящее время система настроена на обработку 200 событий в день, что соответствуют нормальному уровню сейсмической активности. Как показала практика, из всех выделенных событий только треть является действительными, остальные события отклоняются аналитиками. При формировании картины событий, как правило, используют менее пяти процентов автоматически обнаруженных данных. Обзор продуктов, которыми располагает МЦД в результате выполняемой обработки данных включает исходные данные, параметры обнаруженных сигналов, бюллетени обнаруженных событий, карты эпицентров и списки локализованных событий, статистику по событиям. CMR в течение многих лет разрабатывал программное обеспечение с целью получения этих информационных продуктов для МЦД.

Процесс переноса прототипа МЦД в Международный Центр Данных охватывает период, начиная с мая 1998 г., и включает проектирование, организацию, первоначальное и полномасштабное тестирование, утверждение готовности МЦД к деятельности. Однако и после передачи программного обеспечения в венский Центр данных, CMR постоянно работал с прототипом переданной системы.

Ниже, на нескольких примерах, иллюстрируются возможности Прототипа МЦД применительно к различным технологиям мониторинга: - сейсмической (авария на подводной лодке Курск); инфразвуковой (запуск космического корабля Шатл во Флориде); гидроакустического (калибровочные подводные взрывы морских сил США); радионуклидной (радиоактивный выброс в Испании), а также к регистрации ядерных испытаний в Южной Азии (11 мая 1998 г в Индии, 28 и 30 мая 1998 г в Пакистане).

Авария на подводной лодке Курск 12 августа 2000 г. Обнаружено два взрыва, первый зафиксирован как малое, второй – как большое событие с магнитудой mb=3,5. Второе событие произошло в 07:30:42 GMT, зарегистрировано 11 станциями МСМ, расположенными на расстоянии 465-7200 км. Предшествующее событие имело магнитуду mb=1,6, произошло на 135 секунд раньше и зарегистрировано только одной станцией МСМ, расположенной на расстоянии 465 км. Второе событие было обнаружено и локализовано автоматической системой ПМЦД, в то время как сигналы первого события не были обнаружены автоматически. Сейсмические измерения вто-

рого события позволили определить эквивалентную мощность взрыва в несколько тонн ТНТ. Эквивалентная мощность взрыва первого события равна нескольким сотням кг ТНТ. Место аварии удалось локализовать достаточно точно (рисунок 3).

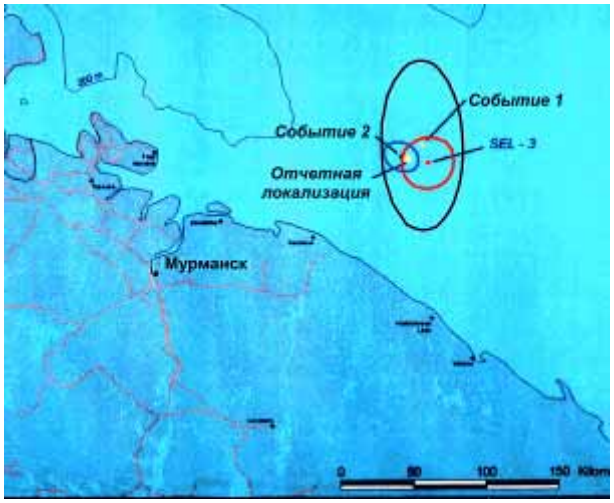


Рисунок 3. Локализация взрыва на подводной лодке Курск системой ПМЦД

Запуск космического корабля Шатл во Флориде 23 июля 1999 г. Главной проблемой инфразвуковых технологий является недостаток информации о многочисленных инфразвуковых источниках. Поэтому важно изучение самых различных источников инфразвукового поля, среди которых - запуск ракет. На рисунке 4 приведен пример инфразвуковых записей, зарегистрированных станцией DLIAR (Лос- Аламос) и результаты их обработки в CMR.

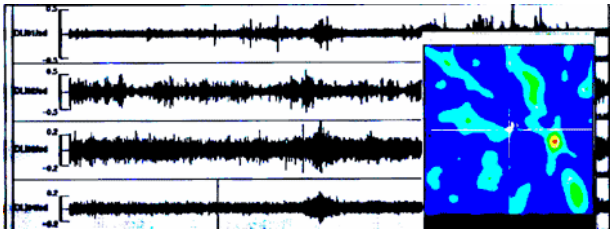
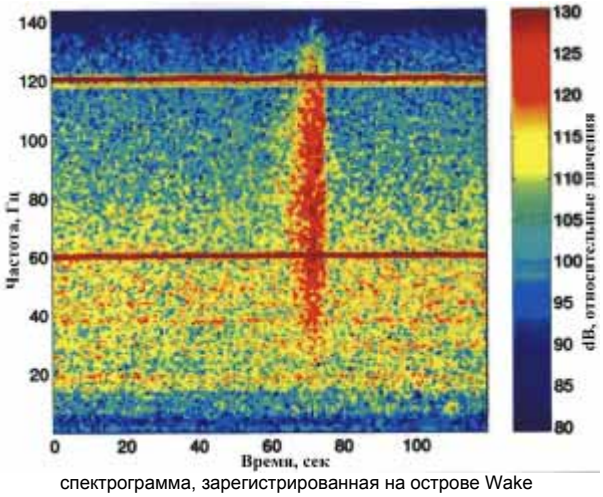


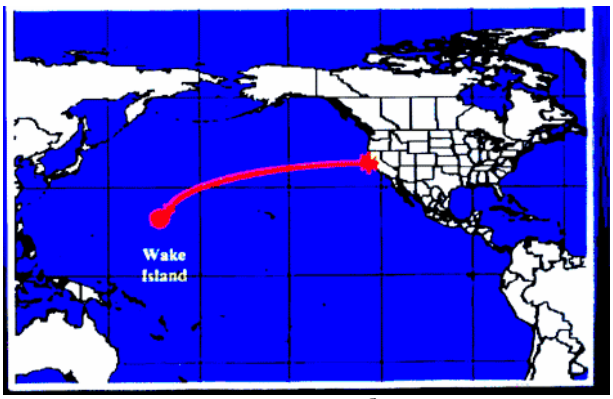
Рисунок 4. Инфразвуковые данные запуска космического корабля Шатл с мыса Кеннеди

Показано место запуска ракеты Шатл (STS-93) с мыса Кеннеди 23 июля 1999 г., зарегистрированное на расстоянии 2556 км.

Калибровочные подводные взрывы морских сил США 1ноября 1997г. Гидроакустический метод очень чувствителен к малым взрывам под водой. На рисунке 5 показана запись частоты, по которой обнаруживается подводный взрыв мощностью 2 кг на острове Wake (рисунок 5), т.е. на расстоянии 7100 км. Соотношение сигнал-шум >100, обеспечиваемое гидроакустической технологией, обеспечивает возможность порога обнаружения взрыва, имеющего мощность всего 4 грамма.



спектрограмма, зарегистрированная на острове Wake

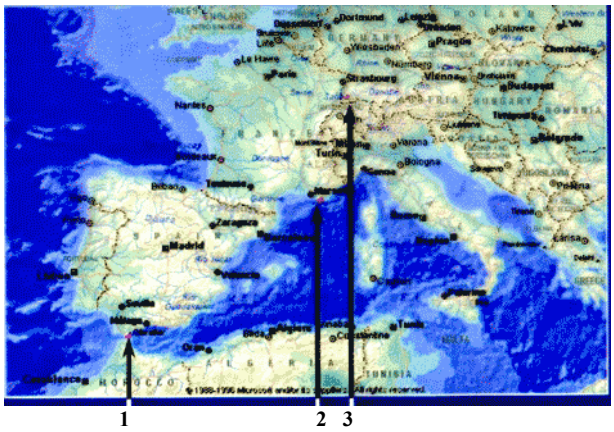


местоположение события

Рисунок 5. Гидроакустические данные калибровочного подводного взрыва

Радионуклидный выброс в Альгесирас (Испания) 30 мая 1998 г. (рисунок 6). Источник выброса – сталеплавильный завод, в составе выброса - только Cs-137. Точные данные (длительность и высота) выброса остались неизвестными. Предположительная причина – это металлические отходы, содержащие цезий-137. Радионуклид был обнаружен станцией MCM DE002 в Германии (Шауинсланд/ Фрайбург).

На станции отмечено содержание цезия-137 на три порядка выше, чем порог обнаружения данной станции, что одновременно на восемь порядков ниже допустимой медицинской нормы США.



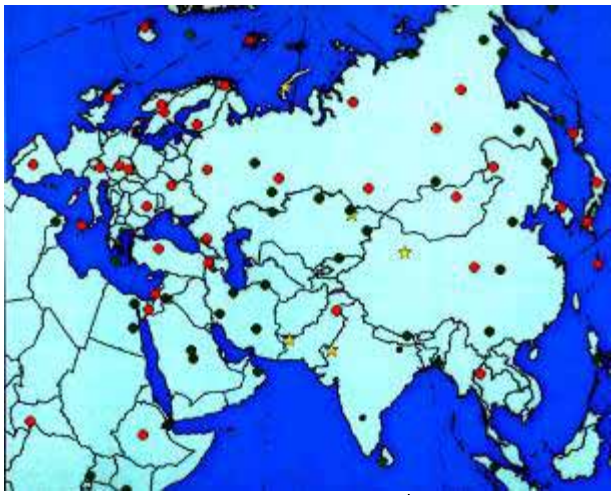
1 – завод в Альгесирасе; 2 – максимальная концентрация цезия-137, зарегистрированная во Франции; 3 – станция МСМ в Германии - DE002

Рисунок 6. Радионуклидное событие в Альгесирас (Испания)

Ядерные испытания в Южной Азии (11 мая 1998 г в Индии, 28 и 30 мая 1998 г в Пакистане. В процессе стандартной обработки и анализа данных в ПМЦД локализованы три сейсмических события, зарегистрированные в Южной Азии станциями МСМ - 11, 28 и 30 мая 1998 г. Автоматическая локализация каждого события была выполнена в течение одного часа. Перелокализованные события отличались от автоматических определений на 10, 20 и 10 км, соответственно. Фильтрацией выделено два события. Был проведен дополнительный анализ данных, который включал поиск объявленных, но не обнаруженных событий, локализацию событий относительно "контрольных наземных данных", сравнение форм сигналов. Для радионуклидного анализа измерений региональными станциями не было получено (поскольку ближайшие станции расположены в Кувейте и восточной России). Поэтому проведено имитирование атмосферного переноса радионуклидов.

Эпицентр ядерного взрыва на полигоне в Индии определен по данным 29 станций первичной и 33 станций вспомогательной сети с ошибкой 9 км. Магнитуда события mb 5,0, Ms 3,2Большие значения отношений Pn/Sn и Pn/Lg являются показателем того, что взрыв был ядерным. Событие 13 мая 1998 г. с магнитудой mb ~2,5 по записи этой станции не обнаружено.

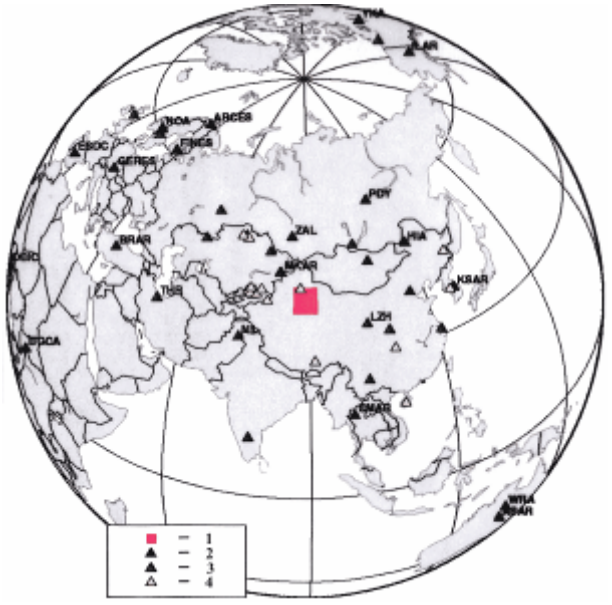
Эпицентр ядерного взрыва на полигоне в Пакистане 28 мая 1998 г. определен по данным 31 станции первичной и 30 станций вспомогательной сети с ошибкой 11 км. Магнитуда события mb 4,9, Ms 3,6. Ошибка определения эпицентра ядерного взрыва 30 мая 1998 г., сделанного по данным 28 станций первичной и 20 станций вспомогательной сетей, составила 15 км. Магнитуда события mb 4,3. Расположение сейсмических станций МСМ, которые позволяют изучать события в Азии, показаны на рисунке 7.



Станции: ● действующие ● планируемые. ☆ Ядерные полигоны

Рисунок 7. Сейсмические станции МСМ в Азии

Подводя итоги разработкам программного обеспечения для МЦД, следует отметить, что Прототип системы постоянно эксплуатировался в CMR в течение пяти лет и показал свою жизнеспособность. Полученный опыт используется для модернизации и обновления системы по ходу развития и завершения строительства МСМ. Начинается работа над новым поколением системы, в которую предполагается включить все лучшее и передовое, полученное в различных областях знаний и техники. Это, например, - лучшая и более дешевая связь, более скоростное и недорогое аппаратурное обеспечение, Интернет-технологии, улучшенные методы безопасности и аутентификации, более эффективные геофизические разработки. Что касается геофизической части работ, то CMR для ее улучшения, проводят так называемые демонстрации передовых концепций (ACDs). Если географический район является объектом ACDs, первым очевидным шагом является создание наиболее полного набора данных с использованием действующих и создаваемых станций. Первая демонстрация, проведенная Центром мониторинговых исследований, сфокусировала внимание на историческом китайском полигоне Лобнор. Источниками сейсмических данных по нему явились записи станций МСМ, недавно установленных в Китае, исторические данные из архива CMR по действующим и возможным будущим испытательным площадкам полигона. Возможности МСМ применительно к этому региону значительно увеличились после установки сейсмической группы Маканчи в Казахстане. Для данных исследований были собраны и использованы также данные других станций, установленных в Казахстане, Монголии, Кыргызстане, России (рисунок 8).



1 – район полигона; 2 – станции, данные которых включены в архив CMR; 3 – дополнительные станции (ACD); 4 станции – потенциальные источники информации

Рисунок 8. Демонстрация передовых концепций на примере полигона Лобнор в Китае: источники сейсмических данных

Для региона ядерного полигона был создан обширный набор данных по взрывам и землетрясениям. Особое внимание уделялось периоду времени с 1995 по 2001 гг. В результате набор базовых данных по полигону Лобнор включает 21 подземный ядерный взрыв, 51 REB – событие за 1995 – 2001 гг., 101 событие из китайского регионального бюллетеня за 1995 – 1999 гг., набор фиксированных данных: 10-ти дневный блок записи; записи за 2 – 11 августа 2002 г.

Полученный набор данных позволил провести оценку технологий определения, локализации сейсмических событий, включая оценку их глубины, описать события и выполнить более сложный анализ. Одна из технологий, которая была использована для улучшения конечного результатов, - это масштабирование данных. Имеется в виду не прямое изменение амплитуды сигнала, а изменение формы спектра источника. В связи с этим, помимо вышеперечисленных данных, был создан набор «суррогатных» данных - масштабированные формы волн от ядерного взрыва, а также форм сигналов, перекрытых фоновым шумом (вложенные сигналы). На рисунке 9 показан пример масштабирования записи ядерного взрыва в Китае, зарегистрированного станцией IRIS, установленной в казахстанском Курчатове. Приведены четыре формы сейсмических волн. Первая из них - исходный сигнал, масштабированный до магнитуды mb=3,5. Остальные – вложенные сигналы, масштабированные до магнитуды mb=3,5; 3,0: 2,5, соответственно.

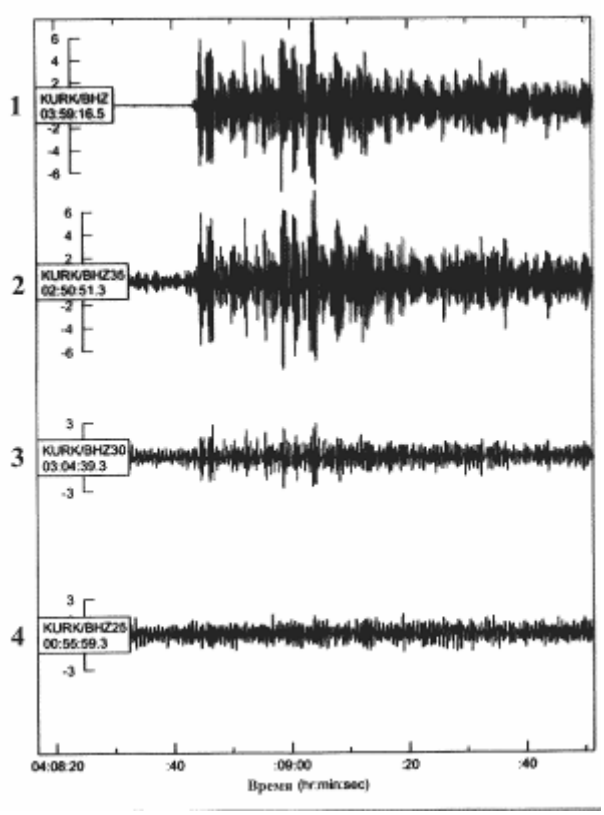


Рисунок 9. Демонстрация передовых концепций на примере полигона Лобнор: масштабирование записей сейсмических волн

Для более точной локализации событий использовались спутниковые съемки, которые имели разрешение не хуже 1 м.

Данные космических съемок использовались для подтверждения результатов локализации события.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Основная цель данного направления работ CMR – это обеспечение поддержки исследовательского сообщества по проблемам, относящимся к обнаружению и идентификации ядерных взрывов. Поддержка состоит, прежде всего, в предоставлении доступа к обширному архиву CMR. Например, доступа к таким ресурсам, как: данные, получаемые в режиме, близком к режиму реального времени, станциями МСМ и GSETT3; архивы сейсмических, гидроакустических и инфразвуковых форм волн, особенно, калибровочных взрывов; научно-исследовательские архивы, гамма-спектрометрия высокого разрешения; базы данных бетта-гамма-спектрометрии радионуклидов; информационные продукты прошлых лет и настоящего времени, полученные Прототипом МЦД и МЦД.

Кроме того, поддержка выражается в составлении и предоставлении специальных наборов данных для тестирования и оценки новых исследовательских методов, в обеспечении доступа к результатам исследовательских контрактов DTRA, в предостав-

лении территории для дальнейшего тестирования, нацеленного на будущую интеграцию в составе операционных систем, подающих надежды на многообещающие результаты исследований. CMR служит соединительным звеном между Департаментом обороны США и национальными и международными исследовательскими сообществами по ядерному мониторингу, поддерживает Соглашения США с иностранными партнерами по исследованию мониторинга ядерных испытаний.

Важную роль CMR отводит предоставлению ученым инструментов для тестирования и оценки научно-исследовательских результатов. Тестирование может проводиться, начиная от загрузки полных данных станций МСМ и полной обработки МЦД, до особого тестирования специального комплекса данных.

Укрупненная схема тестирования результатов научных исследований показана на рисунке 10.



Рисунок 10. Модель тестирования научных исследований

Тестирование научно-исследовательских работ может быть разномасштабным:

- полномасштабное тестирование (Прототип Центра данных);
- проверка взаимодействия и функционирования элементов системы;
- тестирование элементов;
- специальные испытания, например, классифицирующие и т. д.

Тестирование должно быть достаточно гибким, для того, чтобы обеспечивалось научно-исследовательское взаимодействие, и достаточно структурированным для получения реального результата оценки. Такой подход позволит повысить эффективность научных исследований, важных для развития мониторинга ядерных испытаний. Что касается научной тематики, то CMR проводит и поддерживает разнообразные исследования, прежде всего по стандартным технологиям МСМ ДВЗЯИ. Ниже приводится перечень части из них.

Сейсмические и гидроакустические исследования:

1. Распространение и обработка инфразвукового сигнала.
2. Калибровка локализации события с определением станционных поправок для источника и станционных поправок медленности – азимута.
3. Сравнительный анализ работы МЦД-и ПМЦД.
4. Сбор контрольных наземных данных.
5. Пороговый мониторинг.

Радионуклидные исследования:

1. Изучение естественного фона Be^7, Pb^{210}, радона, торона, космической радиации с учетом сезонных влияний, что напрямую связано с возможностями станций по обнаружению радионуклидов.
2. Изучение антропогенных источников радионуклидов, мешающих обнаружению испытаний ядерного оружия, и необходимых для фильтрации событий.
3. Использование нейронных сетей и интеллектуальных систем для локализации радионуклидного источника и корреляции радионуклидного события (работы совместно с американскими университетами).

Создание исследовательских баз данных:

1. Большой архив результатов обработки, бюллетеней (например, ПМЦД) и параметров событий.
2. База данных ядерных взрывов.
3. База наземных контрольных данных.
4. Гидроакустическая база данных.
5. Инфразвуковая база данных.

Состав специалистов CMR, включая научные группы, группы по разработке программного обеспечения, тестирования и поддержки инфраструктуры, готов оказать поддержку сообществу ученых на любом этапе научной деятельности - по перспективному планированию, составлению графиков исследований, содействию планам тестирования и другим работам.

Поддержка контроля и анализа

Данное направление деятельности связано с оценкой состояния выполнения контроля и оценкой возможностей МСМ и МЦД. Основными задачами являются:

- обеспечение длительного обзора данных и результатов, представляемых венским МЦД;
- мониторинг технологий в рамках договоров, заключенных США, и информирование менеджера ДВЗЯИ.

Контроль состояния дел МСМ и МЦД включает, прежде всего, оценку исправности сети МСМ, в том числе, полноты и своевременности получения данных, издания информационных продуктов, наряду с про-

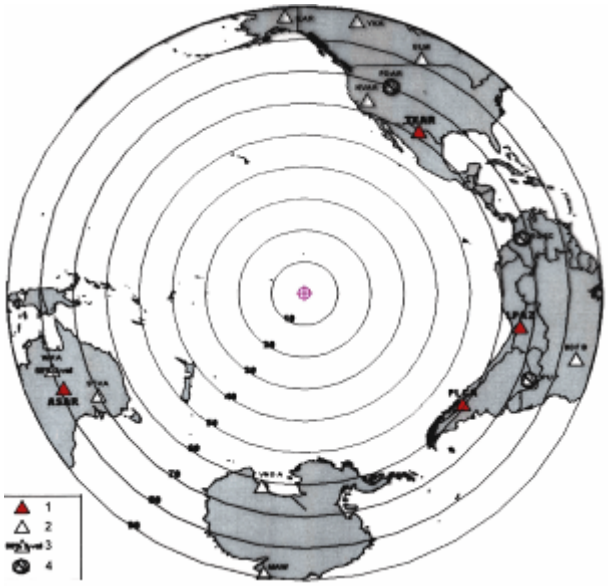
веркой их качества. Проверка качества данных проводится посредством повторного анализа случайно отобранных событий, отраженных в бюллетенях МЦД.

Оценку рабочего состояния станций можно проиллюстрировать на примере американских станций, входящих в МСМ. Проводимые здесь работы важны не только для обеспечения выполнения обязательств США по ДВЗЯИ, но и для оптимального выполнения возможных запросов со стороны государств – участников. Детальный мониторинг состояния станции включает:

- визуальное отображение работы станции в режиме реального времени;
- параметризацию режимов (например, марки времени);
- прогнозирование возможных отказов.

Основными продуктами мониторинга состояния станции являются уведомление об аварии на станции, отчет о состоянии станции.

CMR выполняет поддержку анализа данных мониторинга. Для иллюстрации приводится пример рассмотрения одного из событий, включенных в отчет REB МЦД. Событие произошло 1 ноября 2000 г. и локализовано на территории бывшего французского ядерного полигона на архипелаге Туамоту (рисунок 11).



Станции МСМ: 1 – с ассоциированным выделением события
2 – с не ассоциированным выделением события;
3 – с готовностью < 99%; 4 – неработающая.

Рисунок 11. Данные для анализа события 01.11.2000 г., включенного в REB

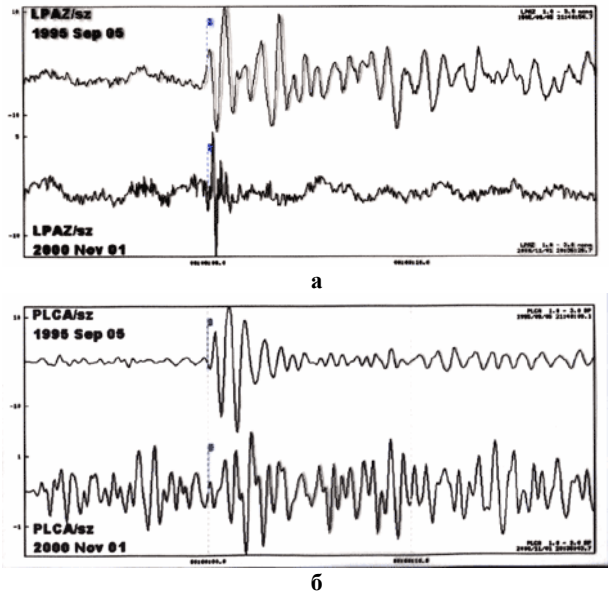


Рисунок 12. Сравнение формы волн события 01.11.200 г. и ядерного взрыва 05.09.1995 г: а – станция LPAZ (Боливия); б – станция PLCA (Аргентина)

МЦД опирался на данные станций TXAR, ASAR, VNDA, расположенных на удалении >500 км от французского полигона (SEL1. Данные по SEL2, SEL3 идентичны SEL1). Аналитики МЦД удалили из рассмотрения станцию VNDA, провели ассоциированное ручное выделение события по данным станции PLCA и ассоциированное автоматическое выделение события по данным станции LPAZ. REB, изданный через 6 дней после регистрации события, характеризовал его по данным станций TXAR, ASAR, LPAZ, PLCA как событие, происшедшее на французском полигоне с магнитудой - mb=3,8. Оперативный анализ, проведенный в CMR, показал, что проведенное ассоциирование этого события выполнено неверно. Вывод сделан на основе двух сравнений. Во-первых, сравнивались формы волн изучаемого события и ядерного взрыва, взятого из базы данных. Во-вторых, проведено сравнение характеристик сигналов (азимут, расстояние до эпицентра) для анализируемого события и для серии исторических ядерных взрывов, взятых из той же базы данных. На рисунке 12 показаны формы сейсмических волн, зарегистрированные на двух станциях - LPAZ, PLCA. На рисунке 12а верхняя запись - ядерный взрыв, произведенный 5 сентября 1995 г., нижняя запись - ассоциированный сигнал. Обращает на себя внимание высокая частота нижней записи, что свидетельствует о местном или региональном происхождении волн. На записи, сделанной станцией PLCA (Пасо Флорес, Аргентина), сигнал четко не выделяется, поэтому он выделен вручную.

На рисунке 13 приведены результаты сравнения параметров событий - азимута (направление), медленности (расстояние). В сравнении участвовали наборы данных для 4 станций - LPAZ, PLCA, TXAR, ASAR, по историческим ядерным взрывам 1995-1996гг. и по анализируемому событию. Как видно из рисунка, эпицентры исторических ядерных взрывов по данным всех станций располагаются достаточно плотно, тогда как эпицентр анализируемого события

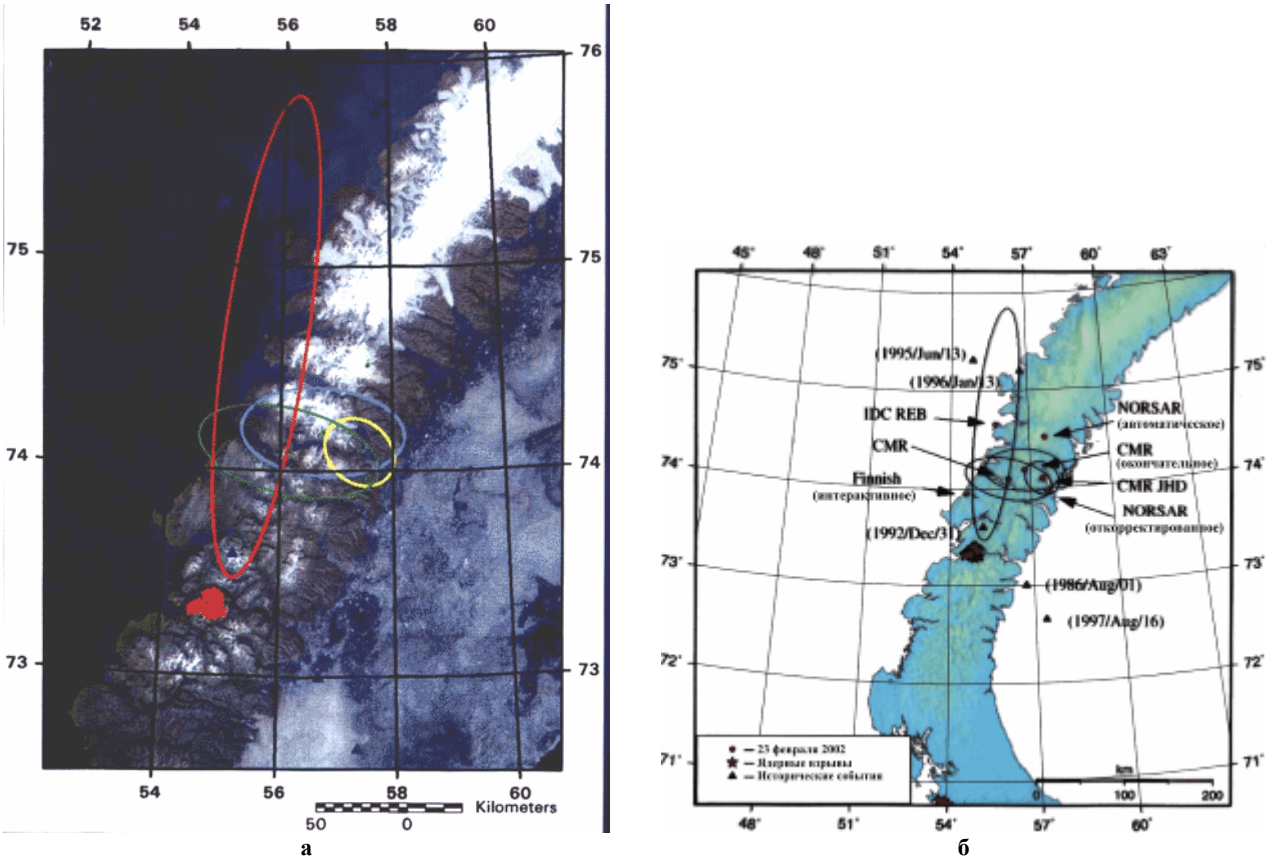
находится на некотором удалении от них. Отсюда следует вывод, что анализируемое событие не может быть ассоциировано с источником на архипелаге Туамоту.

Был рассмотрен вопрос о возможном источнике этого события. При его решении были учтены результаты предыдущего анализа (рисунок 12), а именно, что на записях станции PLCA нет четкого сигнала, а станция LPAZ зарегистрировала одно из местных или региональных событий. Поэтому для дальнейшего анализа были взяты записи станций TXAR (Ладжитас, Техас) и ASAR (Элайс Спрингс, Австралия), на записях которых сигнал достаточно хорошо выделялся. В каждом из двух случаев сигнал ассоциирован с событием в южной части Тихого океана. Отсюда был сделан вывод, что:

- для события, зарегистрированного 1 ноября 2000 г, в REB дана неверная интерпретация из-за неверного выделения действительных сигналов и влияния шумов;
- исторические события REB с признаками сигнала TXAR совместимы с характеристиками сигнала анализируемого события;
- исторические события REB с признаками сигнала ASAR совместимы с характеристиками сигнала анализируемого события.

Опыт CMR по поддержке контроля и анализа данных мониторинга ядерных испытаний относится также к повышению точности локализации событий. Актуальность этих исследований на данном этапе развития системы мониторинга может быть проиллюстрирована различием в точности локализации события, приведенным на рисунке 13. Пример относится к событию на Новой Земле.

Таким образом, Центр мониторинговых исследований обладает значительными ресурсами и опытом для улучшения мониторинга ядерных испытаний и возможностей контроля. В статье рассмотрены только технологии, включенные в стандартную систему мониторинга ДВЗЯИ, хотя здесь ведется изучение и других технологий (ионосферной, магнитометрической и др.), что еще больше увеличивает потенциал. CMR может оказывать поддержку научному сообществу, начиная от постановки исследований, через тестирование результатов, до архивации окончательного результата. Такая поддержка может иметь самые многообразные формы – предоставление данных МСМ, информационных продуктов, архивных данных и др.



а б

Рисунок 13. Новая Земля. Результаты локализация события 23 февраля 2002 г. различными Центрами данных

МОНИТОРНИГТІК ЗЕРТТЕУЛЕР ОРТ АЛЫҒЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ СЫНАУЛАР МОНИТОРИНГІСІНІҢ ЗЕРТТЕУЛЕРІ МЕН ДАМУЫ

Норт Р.Г.

Мониторингті зерттеулер орталығы, АҚШ, Арлингтон қ.

Мониторингті зерттеулер орталығының (CMR) дамуының қысқаша тарихы келтіріледі, оның Халықаралық мониторинг жүйесі (IMS) мен Халықаралық деректер орталығын (IDC) құруындағы еңбегі бағаланады. Үш негізгі бағыты бойынша Мониторингті зерттеулер орталығының қызметі сипатталады: Америка Құрама Штаттарының Қорғаныс Департаментінің Әскери Қаупін Қысқарту Агентствосы (DTRA) қаражаттандыратын зерттеулік бірлестігін сүйемелдеуі; IMS және IDS мүмкіншіліктерін бағалауы; ядролық сынаулар мониторингтің мүмкіншіліктерін жақсарту мақсатымен «Озат Идеялар Демонстрациясын» (ACDs) өткізуі.

NUCLEAR MONITORING RESEARCH AND DEVELOPMENT AT THE CENTER FOR MONITORING RESEARCH

R.G. North

Center for Monitoring Research, Arlington, USA

A brief history of the Center for Monitoring Research development and its role in establishment of the International Monitoring System (IMS) and International Data Center (IDC) are given. The article describes a present-day activity of the Center for Monitoring Research in three main areas: support to the research community that is funded by the Defense Threat Reduction Agency (DTRA) of the United States Department of Defense; assessment of the real capabilities of the IMS and IDC; the conduct of "Advanced Concept Demonstrations" (ACDs) aimed at improving nuclear monitoring capability through focused research and development.

УДК 621.039.9:551.24[(73)+(574)]

СОВМЕСТНАЯ ПРОГРАММА МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ AFTAC – НЯЦ РК

Варнум Б.Р.

Национальный центр данных США, г. Мельбурн

Центр прикладных технологий военно-воздушных сил Соединенных Штатов Америки (AFTAC) сотрудничает с Национальным ядерным центром Республики Казахстан над соблюдением исполнения Договоров по контролю за ядерными испытаниями в рамках Соглашения, ратифицированного между США и РК.

Проведены совместные работы по установке, эксплуатации и обслуживанию двух новых сейсмических групп - в Восточном и Южном Казахстане. Начаты работы по созданию новой сейсмической группы Акбулак в Западном Казахстане.

ИСТОРИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА

В течение почти 30 лет Агентство или Центр прикладных технологий воздушных сил США (AFTAC) сотрудничает со многими странами мира в осуществлении мониторинга Договоров по контролю за ядерными испытаниями. Совместно с этими странами мы установили, эксплуатируем и проводим техническое обслуживание стационарных станций в удаленных и сейсмически спокойных районах. Одна часть этих станций входит в состав Международной системы мониторинга по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), другая часть принадлежит AFTAC (рисунок 1).

С ноября 1997 г. AFTAC сотрудничает с Национальным ядерным центром Республики Казахстан по установке, эксплуатации и обслуживанию новых сейсмических групп. В рамках этого сотрудничества США и Казахстан установили две сейсмические группы: одну - в Маканчи, вторую - в Каратау (рисунок 2).

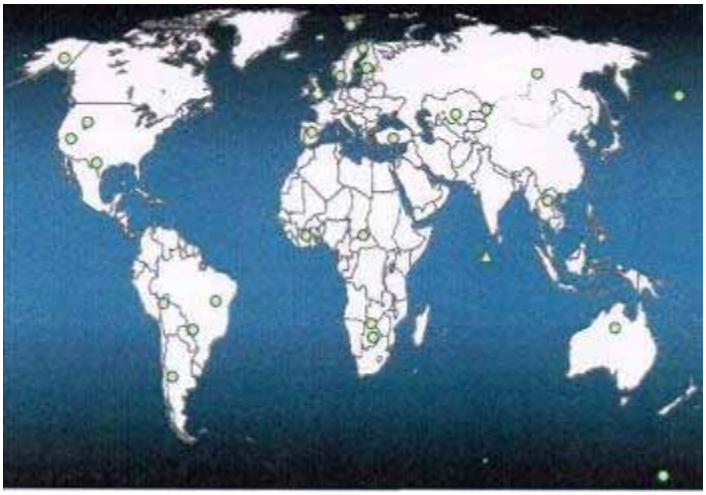


Рисунок 1. Станции мониторинга, построенные AFTAC в сотрудничестве с различными странами



Рисунок 2. Станции Маканчи и Каратау, построенные в Казахстане

Маканчи

Совместная деятельность началась в Восточном Казахстане, где новая сейсмическая группа Маканчи устанавливалась как первичная станция Международной системы мониторинга, разработанной для контроля за исполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Совместная команда выполнила значительную работу. Прежде всего, в 1997 г в районе Маканчи были исследованы шумы и проведены геологические работы для выбора наиболее благоприятного местоположения новой сейсмической группы. Изучение территории привело к заключению, что, хотя Маканчи – это удаленное место, что представляет некоторые материально-технические трудности, но в отношении сейсмических шумов оно идеально.

В 1999 г. начата подготовка участка под станцию совместно с ВТС Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний и с НЯЦ РК. Были пробурены приборные скважины, построены помещения для приборных скважин, установлены технические здания, дизельная электростанция, построены подъездные пути, линии электропередач, антенные мачты, ограждения.

Установка оборудования была начата в октябре 1999 г. Однако в связи с суровыми погодными условиями установка была приостановлена и могла быть возобновлена только в мае 2000 г. В июне 2000 г. сейсмическая группа была подготовлена к тестированию в полной конфигурации. Группа включала следующие элементы: два широкополосных трехкомпонентных сейсмометра, 9 однокомпонентных вертикальных короткопериодных скважинных сейсмометра. На рисунке 3а показано типичное оборудование: помещение, для скважины с сейсмометром, открытое для достуа к оборудованию при техническом обслуживании (рисунок 3а), площадка с антенной, линиями электропередач и устьем подземного помещения (рисунок 3б).



а **б**

Рисунок 3. Типичное оборудование элемента сейсмической группы: а – помещение для сейсмического оборудования; б – площадка с этим помещением, антенной и линиями электропередач



а **б**

Рисунок 4. Каратау. Открытие (а) и условия эксплуатация (б) станции

Помимо сейсмического оборудования, установлено оборудование для сбора и передачи данных в режиме реального времени. С каждого из элементов группы данные по радиоканалам собираются на центральном регистрирующем устройстве и затем по спутниковому каналу передаются сначала в Центр сбора и обработки данных в Алматы, а оттуда – в Международный центр данных и в AFTAC.

Кульминационным моментом деятельности в Маканчах была торжественная церемония открытия сейсмической группы в июне 2000 г. (рисунок 4).

Таким образом, сейсмическая группа Маканчи эксплуатируется с лета 2000 г. Даже в суровых условиях зимы (рисунок 4б) специалисты НЯЦ РК делают все возможное для поддержания ее стабильной работы.

КАРАТАУ

После успешной работы в Маканчи, Республика Казахстан и США начали работу над установкой второй сейсмической станции - Каратау в Южном Казахстане. Эта станция не входит в сеть ДВЗЯИ, создана по двустороннему соглашению, и ее сейсмические данные принадлежат Республике Казахстан и США.

Планирование сейсмической группы Каратау было начато в 1999 г. После продолжительного исследования сейсмических шумов вблизи г. Чимкента пришли к выводу, что искусственные источники шумов не позволяют разместить здесь жизнеспособную сейсмическую группу. Поэтому в марте 2000 г. исследования были перемещены на 150 км, в район Каратау. Первая же из исследованных площадок оказалась прекрасным местом для размещения южноказахстанской группы.

Подготовка площадки начата в сентябре 2000 г. Как и в случае со станцией Маканчи, площадка Каратау является удаленной, поэтому потребовалось построить подъездные пути для подвоза тяжелого оборудования. Бурение скважин было начато в октябре 2000 г., но не было завершено до марта 2001 г, как это предполагалось, из-за повышенной твердости пород. Несмотря на замедление в бурении скважин, в сейсмическом отношении площадка, сложенная породами такой твердости, была предпочтительной. В апреле 2001 г подготовка площадки была завершена.

В октябре 2001 г. на станции начата установка оборудования. Конфигурация сейсмической группы Каратау является аналогом сейсмической группы Маканчи. Подготовка станции к эксплуатации и к техническому обслуживанию специалистами Казахстана была осложнена погодными условиями и в полном объеме закончена в феврале 2002 г.

18 июня 2002 г. на торжественной церемонии открытия совместная команда отпраздновала ввод в строй новой сейсмической станции Каратау (рисунок 5).



а **б**

Рисунок 5. Каратау. Завершение установки оборудования (а) и открытие станции (б)

АКБУЛАК

В том же 2002 г. начата работа над созданием третьей сейсмической группы, на этот раз, - в Западном Казахстане. Исследовались два потенциальных района - Мугоджары (Южный Урал) и Горный Мангистау (п-ов Мангистау). Лучшими для размещения станции оказались геологические условия на Мугоджарском плато. 23 июля 2002 г. совместная полевая команда отправилась из Алматы для изучения шумов и определения участка под новую станцию в Мугоджары. Полевая команда завершила измерения шумов к 16 августа 2002 г. Результаты исследований были сразу же рассмотрены на заседании Казахстанско-Американской рабочей группы. 10-17 сентября 2002 г. выбран участок под строительство новой сейсмической станции вблизи Актюбинска, получившей наименование Акбулак. Это позволило начать подготовку к ее строительству.



Рисунок 9. Выбор участка для станции Акбулак завершен. Сентябрь 2002 г., Сателит Бич, Флорида

Выводы

AFTAC обладает преимущественным правом работы со многими странами-участницами ДВЗЯИ. Пять лет из 30 AFTAC пользуется уникальной возможностью работать с НЯЦ РК над соблюдением во всем мире Договоров по контролю за ядерными испытаниями. Мы в AFTAC надеемся завершить строительство третьей сейсмической группы в Казахстане и успешно работать с НЯЦ РК многие годы в будущем.

ЯДРОЛЫҚ СЫНАУЛАР МОНИТОРИНГТІҢ AFTAG – ҚР ҰЯО БІРЛЕСКЕН БАҒДАРЛАМАСЫ

Варнум Б.Р.

АҚШ Ұлттық деректер орталығы, Мельбурн қ. Флорида штаты

Америка Құрама Штаттар Әскери Әуе Күштерінің Қолданбалы Технологиялар Орталығы (AFTAG) АҚШ және ҚР арасындағы бекітілген Келісім шегінде ядролық сынаулар бақылау бойынша Шарттарын орындауын сақтауына Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық орталығымен ынтымақтастық жасайды.

Шығыс және Онтүстік Қазақстанда екі жаңа сейсмикалық топтарын орнату, пайдалану және қызмет көрсету бойынша бірлескен жұмыстар өткізілген. Батыс Қазақстанда жаңа Ақбулақ сейсмкалық тобын құру бойынша жұмыстар басталды.

JOINT AFTAC-NNC NUCLEAR TEST MONITORING PROGRAM

B. R. Varnum

The US National Data Center, Melbourne, FL

The United States Air Force Technical Applications Center (AFTAC) cooperates with the Republic of Kazakhstan National Nuclear Center to verify the compliance with Nuclear Test Treaties within a ratified agreement between the USA and RK.

Joint efforts were carried out to install, operate and maintain two new seismic arrays in eastern and southern Kazakhstan. Work on the third seismic array Akbulak in western Kazakhstan has commenced.

УДК 550.34:621.039.9

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЯВЛЕНИЯ ПО РЕГИОНАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Китов И.О., Овчинников В.М.

Институт динамики геосфер Российской академии наук, г. Москва

С использованием записей взрывов, произведенных в 1969-1989 гг. на территории Сибири и Средней Азии и зарегистрированных станциями наблюдения на региональных расстояниях, оценена точность определения координат сейсмического явления с применением пяти одномерных и одной трехмерной скоростной модели земной коры и мантии. Установлено, что при хорошем окружении эпицентра явления станциями наблюдении использование трехмерной модели среды снижает величину смещения рассчитанного эпицентра, по крайней мере, в 1.7 раза по сравнению с одномерными моделями.

Введение

Координаты гипоцентра сейсмического источника являются теми важнейшими параметрами, от успешного определения которых во многом зависит правильность последующей геофизической интерпретации наблюденных данных. В системе мониторинга Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (СТВТ) на погрешность определения координат гипоцентра налагаются достаточно жесткие требования - доверительная область ограничивается кругом площадью 1000 км^2. Международные эксперименты по обмену сейсмическими данными, проведенные в последние 15 лет, выявили недостаточность теоретического и экспериментального обоснования методов обработки данных мониторинга, в частности, на региональных расстояниях. Эксперименты показали, что без тщательной калибровки системы мониторинга СТВТ достижение высоких показателей эффективности системы становится невозможным.

Экспериментальные данные

В качестве экспериментальных данных для оценки точности определения координат сейсмических явлений были использованы времена вступлений сейсмических волн 27 взрывов, произведенных в азиатской части СССР и зарегистрированных постоянными станциями Единой системы сейсмических наблюдений. Места проведения взрывов показаны на рисунке 1, а основные параметры взрывов (дата, время в очаге hh mm ss, широта φ, долгота λ и глубина h), а также число станций (N_{st}), зарегистрировавших взрыв, приведены в таблице 1.

Семнадцать первых взрывов из таблицы 1 проведены на Семипалатинском испытательном полигоне с 1969 по 1989 гг. Остальные 10 взрывов - в промышленных целях на территории Сибири и Средней Азии. За этот период времени система наблюдений претерпела изменения, иногда значительные, как по составу станций, так и по их оснащению измерительной аппаратурой.

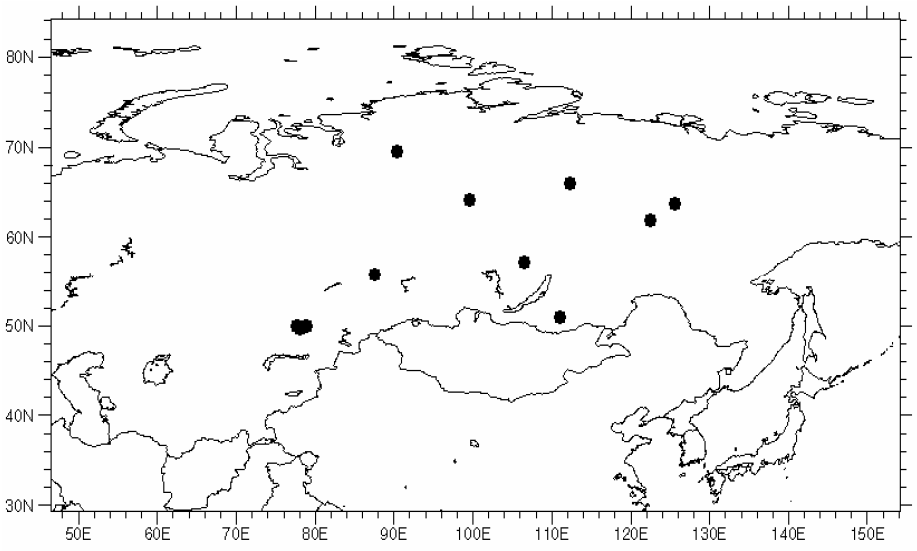


Рисунок 1. Районы проведения взрывов (черные кружки)

Таблица 1. Априорные данные о взрывах, используемых в данной работе

N	Дата	hh	mm	ss	φ°	λ°	h, км	N_{st}	Литература
1	30.11.69	3	32	59.7	49.924	78.956	0.47	20	3
2	06.09.70	4	2	59.91	49.785	78.009	0.25	21	3
3	04.11.70	6	2	59.77	49.989	77.762	0.25	26	3
4	25.04.71	3	32	59.9	49.769	78.034	0.35	21	3
5	06.06.71	4	2	59.66	49.975	77.66	0.25	21	3
6	30.12.71	6	21	0.13	49.753	78	0.2	22	3
7	11.11.72	1	27	0.20	49.927	78.817	0.35	21	3
8	06.05.79	3	16	59.60	49.8	78.12	0.0	16	6
9	18.08.79	2	51	59	49.948	78.919	0.4	17	5
10	13.09.81	2	17	20	49.914	78.894	0.2	19	5
11	06.10.83	1	47	6.8	49.91	78.83	0.0	14	6
12	09.09.84	2	59	6.5	49.83	78.15	0.0	22	6
13	17.07.87	1	17	7.1	49.77	78.1	0.0	16	6
14	20.12.87	2	55	7.0	49.85	78.00	0.0	11	6
15	22.03.88	9	30	6.9	49.76	78.09	0.0	13	6
16	23.11.88	3	57	6.74	49.82	78.07	0.0	11	6
17	17.02.89	4	1	6.9	49.87	78.08	0.0	12	6
18	29.09.75	11	0	0.43	69.578	90.337	0.83	10	7
19	26.07.77	17	0	0.22	69.575	90.375	0.88	7	
20	10.08.77	22	0	0.1	50.955	110.983	0.5	13	7
21	20.08.77	22	0	0.77	64.108	99.558	0.59	7	7
22	10.09.77	16	0	0.19	57.251	106.551	0.54	9	7
23	09.08.78	18	0	0.79	63.678	125.522	0.57	10	7
24	24.08.78	18	0	0.35	65.925	112.338	0.58	11	7
25	12.08.79	18	0	0.21	61.803	122.43	0.98	9	7
26	06.09.79	18	0	0.31	64.11	99.562	0.6	11	7
27	17.09.84	21	0	0.03	55.834	87.526	0.56	23	7

Чтобы имитировать условия регионального мониторинга при использовании экспериментальных данных, для расчета координат эпицентра взрыва использованы времена вступления записей, сделанных на станциях, находящихся на расстоянии менее 2000 км. Взрывы на Семипалатинском испытательном полигоне зарегистрированы станциями, которые окружают полигон со всех сторон, в то время как взрывы в мирных целях, проведенные на востоке и севере, зарегистрированы меньшим числом станций, расположенных на западе и юго-западе, то есть при одностороннем их расположении.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СХЕМА И МОДЕЛИ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

Координаты эпицентра взрыва определялись путем решения оптимизационной задачи

$$\psi(\Theta) \to extr.$$

В качестве функции $\psi(\Theta)$ использована сумма невязок времен пробега:

$$\psi(\Theta) = \sum_{k \in K} \left| t_k - f_k(\Theta\ , \Theta_k) \right|^n , \qquad (1)$$

где K - множество станций, на которых измерены время первого вступления, t_k - измеренное время вступления на k -ой станции, $f_k(\Theta) = T_0 + t_k(\Theta, \Theta_k)$ - время вступления в соответствии с выбранной скоростной моделью среды, $\Theta = (T, \varphi, \lambda, h)^T$ - вектор искомых параметров очага, T - знак транспонирования. Для одномерных моделей среды $f_k(\Theta, \Theta_k) = T_0 + t_k(\Delta)$, т. е. зависит только от расстояния между эпицентром явления и станцией, в то время в трехмерных моделях время пробега зависит от координат станции и эпицентра. Функция $\psi(\Theta)$ является нелинейной функцией искомых параметров и имеет сложный рельеф. Чтобы исключить ошибки, связанные с выбором начального приближения, в качестве последнего задавались точные значения параметров очага, и времена пробега рассчитывались для источника с нулевой глубиной (в процессе расчетов глубина была фиксированной).

Оценки параметров очага получены в рамках двух вычислительных процедур - метода наименьших модулей, для которого в формуле (1) n=1, и метода наименьших квадратов с n=2.

Для расчета времени пробега $t_k(\Theta, \Theta_k)$ использованы пять одномерных и одна трехмерная скоростные модели земной коры и верхней мантии:

1) mod1 - по измерениям времен вступлений от ядерных взрывов на Семипалатинском испытатнльном полигоне, полученным на станции «Боровое», для которых известны координаты и время в очаге из несейсмологических данных [1];

2) mod2 - по измерениям времен вступлений и форме сейсмических сигналов взрывов в мирных целях, зарегистрированных на станции «Боровое»[2];

3) mod 3 - по измерениям времен вступлений сейсмических сигналов взрывов в мирных целях, полученных на станции «Боровое» в предположении о постоянстве скорости волны P_n [J.Murphy, 2001, personnel communication];

4) mod 4 - по измерениям времен вступлений сейсмических сигналов подземных ядерных взрывов

на территории СССР, полученным на постоянных сейсмических станциях;

5) mod 5 - по измерениям времен вступлений сейсмических сигналов подземных ядерных взрывов на территории Восточной Сибири, полученным на постоянных сейсмических станциях;

6) corr3D - по результатам введения в модель IASPI91 временных поправок, соответствующих трехмерной модели скоростей, полученной в результате инверсии времен пробега методом сейсмической томографии [4].

На рисунке 2 показан характер изменения сейсмической скорости с глубиной для каждой из пяти одномерных моделей.

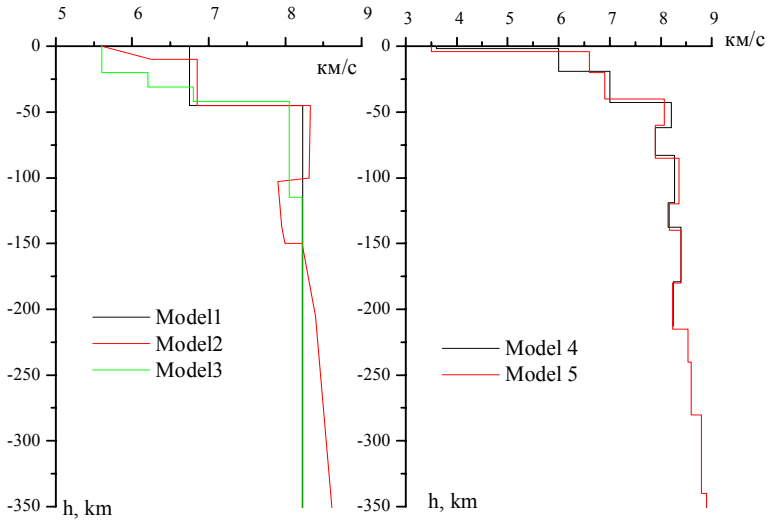


Рисунок 2. Пять скоростных моделей среды, построенных с использованием сейсмограмм ядерных взрывов

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Для каждого взрыва определена величина смещения δ рассчитанных координат эпицентра взрыва относительно указанных в таблице 1:

$$\delta = ((\varphi-\varphi_0)^2 + (\lambda-\lambda_0)^2\cos^2\varphi_0)^{1/2}. \qquad (2)$$

Результаты оценки величины δ для всех моделей при вычислениях по методу наименьших квадратов (формула (1), n=2) приведены на рисунке.3.

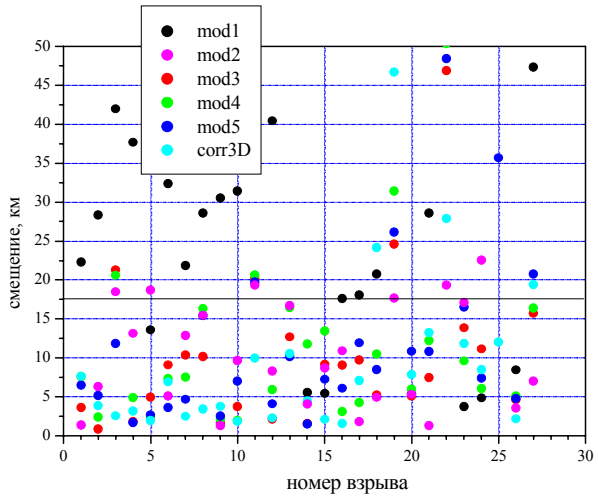


Рисунок 3. Смещение координат взрыва для различных моделей среды, n=2 (номера взрывов по оси абсцисс указаны в соответствии с таблицей 1)

Из рисунка 3 видно, что одномерные модели, за исключением модели mod1, имеют примерно одинаковые показатели точности. Трехмерная модель дает лучшие результаты практически для всех взрывов. Исключение составляют только три взрыва, произведенные в Восточной Сибири. Следует отметить, что использованная трехмерная модель может быть улучшена путем привлечения дополнительных данных.

Аналогичные результаты оценки величины δ, но полученные с применением метода наименьших модулей (формула (1), n=1) (Рис. 4.).

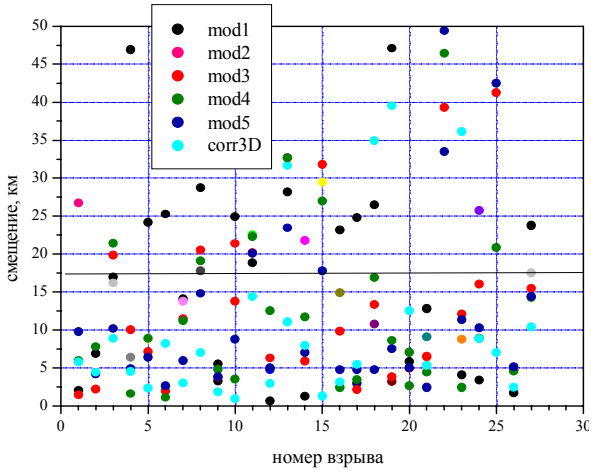


Рисунок 4. Смещение координат взрыва для различных моделей среды, n=1 (номера взрывов по оси абсцисс указаны в соответствии с таблицей 1)

Рассмотрим несколько подробнее результат оценки положения очага взрыва, произведенного 10 августа 1979 г. в Восточной Сибири. На рисунке 5 показано расположение станций с указанием их международных кодов относительно эпицентра этого взрыва (вверху) и полученные расчетные положения эпицентра (в координатах λ_0, ψ_0) для различных скоростных моделей земной коры и верхней мантии (внизу). Смещение эпицентра для всех использованных моделей оказалось достаточно большим - от 34 до 50 км.

Как видно из рисунка, все рассчитанные эпицентры взрыва смещены к западу. Это, по-видимому, связано с влиянием группы станций, расположенных в Байкальской рифтовой зоне, которая характеризуется относительно низкими значениями скоростей продольных волн в верхней мантии. Результаты расчетов по формуле (1) при *n=2* для взрывов, произведенных как на Семипалатинском испытательном полигоне, так и в промышленных целях, приведены в таблице 2. Для 6 моделей среды в ней даны статистические характеристики определения координа взрывов: сдвиг (смещение), среднеквадратическая ошибка сдвига и размах (в км).

Из данных таблицы 2 хорошо видно, что использование трехмерной модели для взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне приводит к уменьшению всех статистических показателей по сравнению с одномерными моделями. Величина смещения эпицентра явления уменьшается почти в 1.7 раза по сравнению с лучшим результатом для трехмерной модели mod5. Аналогичная тенденция, хотя и не столь отчетливая, прослеживается и для взрывов в мирных целях. Выигрыш по сравнению с лучшим результатом для модели mod2 составляет 1.3 раза.

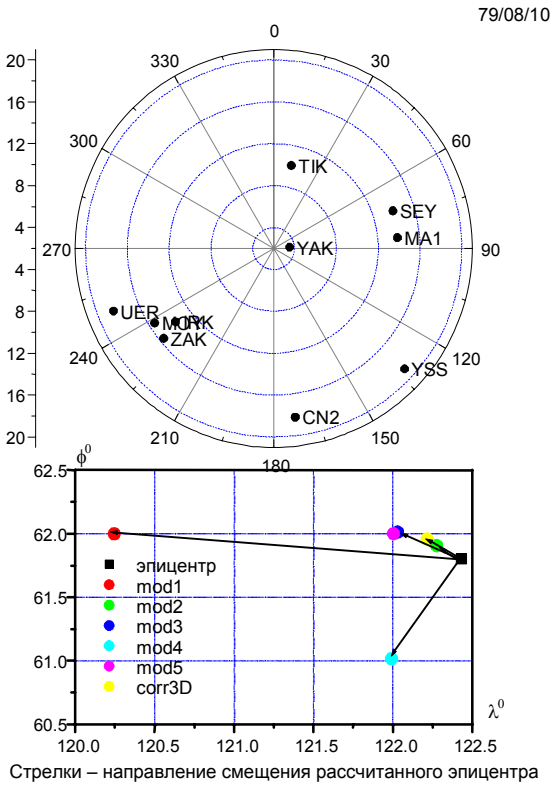


Рисунок 5. Расположение сейсмических станций относительно действительного эпицентра взрыва (вверху) и величина смещения эпицентров, рассчитанных для различных моделей скорости земной коры и верхней мантии (внизу). Взрыв 10 августа 1979 г. в Восточной Сибири

Таблица. 2. Статистические характеристики результатов расчета координат взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) и взрывов в мирных целях в Восточной Сибири

Модель	Взрывы на СИП			Взрывы в мирных целях		
	Сдвиг, км	Ошибка, км	Размах, км	Сдвиг, км	Ошибка, км	Размах, км
mod1	30.7	19.4	5.4 - 81	53.4	72.2	3.7 - 223
mod2	10.1	6.2	1.3 -19.4	16.2	18.1	1.3 - 62.9
mod3	7.8	6.2	0.9 -21.3	19.4	19.0	4.6 - 59.2
mod4	8.8	6.5	2.0 - 20.6	20.2	18.7	5.1 - 54.6
mod5	7.2	5.1	1.5 -19.7	19.0	14.1	4.8 - 48.5
corr3D	4.4	2.9	1.6 -10.5	12.4	12.9	2.2 - 46.7

Выводы

1. Все одномерные модели, за исключением самой простейшей (mod1), позволяют получать сопоставимые результаты определения эпицентра по величине смещения и среднеквадратической ошибке.

2. Использование трехмерной модели при хорошем окружении эпицентра взрыва станциями наблюдении снижает величину смещения, по крайней мере, в 1.7 раза по сравнению с одномерными моделями. При одностороннем расположении станций наблюдения относительно эпицентра взрыва в достаточно узком азимутальном створе улучшение не столь значительно и составляет 1.3 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (проект №1221).

Литература

1. Адушкин В.В., Ан В.А., Овчинников В.М., Краснощеков Д.Н. О скачке плотности на внутренней границе земного ядра по наблюдениям волн PKiKP на расстояниях около 6°// ДАН. – 1997. - Т. 354, № 3. - С. 382-385.
2. Адушкин В.В., Ан В.А., Овчинников В.М. Структурные особенности внутреннего строения Земли по результатам сейсмических наблюдений за ядерными взрывами// Физика Земли. – 2000, №12. - С.3-26.
3. Бочаров В.С., Зеленцов С.А., Михайлов В.Н. Характеристики 96 подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне// Атомная энергия.- 1989. - Т.67, вып.3.- С.210-214.
4. Китов И.О., Данилова Т.В. Сейсмическая томография Северной Евразии//Тектоника и геофизика литосферы/ XXV тектоническое совещание. М.: Геос - Т.1. -. 2002. – С. 246-247.
5. Коновалов В.Е., Грязнов О.В. Размещение объектов подземных испытаний на площадке Балапан Семипалатинского полигона// Геофизика и проблема нераспространения/ Вестник НЯЦ РК.– Курчатов: НЯЦ РК, 2000.- Вып. 2. - С.101-104.
6. Bulletin of the International Seismological Centre. UK. - Newbury.- 1972-1989.
7. D. D. Sultanov, J. R. Murphy and Kh. D. Rubinstein. A Seismic Source Summary for Soviet Peaceful Nuclear Explosions// Bull. Seism.Soc.Am.- 1999, v.89, №3. - p.640-647.

АЙМАҚТЫҚ ДЕРЕКТЕР БОЙЫНША СЕЙСМИКАЛЫҚ ОҚИҒАНЫҢ КООРДИНАТТАРЫН АНЫҚТАУ ТУРАЛЫ

Китов И.О., Овчинников В.М.

Ресей ғылыми академиясының Геосфера динамикасы институты, Мәскеу қ

1969-1989 ж.ж. Сібір және Орта Азия аумағында өткізілген және аймақтық қашықтықта бақылау станцияларымен тіркелген жарылыстардың жазбасын пайдаланып, жер қыртысы мен мантияның бес бірөлшемді және бір үшөлшемді жылдамдық моделін қолданып, сейсмикалық оқиға координаттарын анықтауының дәлдігі бағаланған. Оқиға эпиорталығы бақылау станцияларымен жақсы қоршалуында ортаның үшөлшемді моделін қолдануы есептелген эпиорталықтың ығысу шамасын бірөлшемді моделдерін қолданыумен салыстырғанда 1,7 рет төмендететіні анықталған.

ON SEISMIC EVENT LOCATION BY USING REGIONAL DATA

I.O. Kitov, V.M. Ovtchinnikov

Institute for Dynamics of the Geospheres, Russian Academy of Sciences, Moscow

Using the explosion records of 1969-1989 at the territory of Siberia and Middle Asia and recorded by the observation stations at regional distances, accuracy of a seismic event location using five 1d and one 3d velocity model of the Earth's crust and mantle is assessed. Application of 3d model of environment is determined to reduce a displacement value of the calculated epicenter at least 1.7 times in comparison with the 1d models if the event epicenter is sufficiently surrounded by the observation stations.

УДК 550.34:621.039.9

ОТНОШЕНИЕ АМПЛИТУД ВОЛН L_G И P_N В ПРОБЛЕМЕ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Халтурин В.И.

Геологическая Обсерватория Ламонт-Дохерти Колумбийского Университета

Описаны региональные различия соотношения Lg/Pn на записях взрывов и землетрясений. Эти различия иллюстрируются записями Семипалатинского ядерного взрыва станцией Талгар и Индийского ядерного взрыва станцией Нилор. В обоих случаях эпицентральные расстояния примерно одинаковые (750 км), но значения отношения Lg/Pn на записях ядерных взрывов различаются в 11-13 раз. Еще более значительные различия наблюдаются для землетрясений на трассах, пересекающих регион Средней Азии и Тибета. В статье характеризуются региональные вариации Lg/Pn для взрывов и землетрясений применительно к записям конкретных станций и их стандартные отклонения. В диапазоне 0.3 – 2 Гц величина Lg/P на записях взрывов вдвое меньше, чем на записях землетрясений того же региона. На больших частотах это различие увеличивается, и эффективность распознавания растет. Стандартное отклонение не зависит от частоты и составляет в среднем 0.17 лог. ед. для взрывов и 0.30 для землетрясений. Масштаб региональных и станционных различий параметра Lg/P свидетельствует о необходимости строить транспортабельный критерий распознавания на основе пространственного поля значений параметра (базы данных) для землетрясений в зависимости от положения эпицентра и порознь для каждой станции сети мониторинга. Такие поля спектральных параметров были впервые предложены автором еще в 1975 г.

Введение

Соотношение амплитуды волн Lg/Pn широко применяется для распознавания природы источника. Однако, эта величина сильно зависит от пути распространения волн, причем одинаковым образом для волн, порожденных взрывом и землетрясением. К настоящему времени разработаны эффективные процедуры распознавания ядерных взрывов и землетрясений из регионов основных полигонов – Невады, Казахстана, Лобнора. Эти методики основаны, главным образом, на различиях отношения спектральных амплитуд продольных (Pn, P) и поперечных волн (Sg, Sn, Lg) на записях землетрясений и взрывов. Для некоторых районов предложены различные варианты зависимости параметра Lg/P от расстояния, чтобы сделать этот параметр транспортабельным в определенном интервале расстояний. Однако динамика волн Pn и Lg регионально сильно изменчива. Параметр Lg/P зачастую зависит не столько от расстояния, сколько от строения региона и типа пересекаемых структур. К тому же, объектом глобального мониторинга являются, в принципе, все сейсмоактивные территории, пригодные для проведения ядерных взрывов, а не только регионы существующих полигонов. В этом контексте построение транспортабельного параметра дискриминации как функции только расстояния становится совершенно недостаточным.

Региональные различия L_G/P_N на записях землетрясений

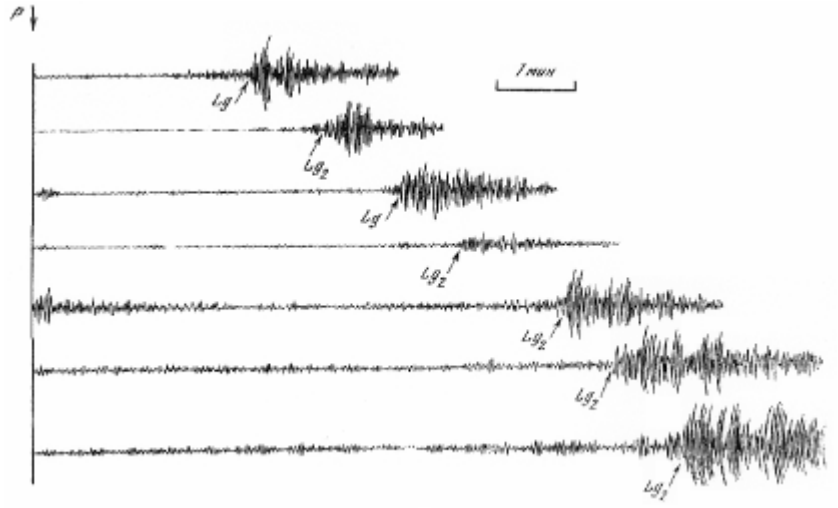
Изучение параметра lg(Lg/P), его региональных вариаций и информативности в проблеме распознавания было начато в Казахстане в начале 1960-х годов [1, 2]. Тогда же, видимо, впервые в мире, этот параметр был применен для изучения и разделения землетрясений и взрывов. Метод был разработан сначала применительно к записям широкополосной аппаратуры, а в дальнейшем – к записям частотно-избирательных станций ЧИСС [3,4]. Более десяти станций ЧИСС вели наблюдения в регионах Средней Азии, Туркмении и Кавказа. Из них четыре станции были опорными и привлекались для сравнительного изучения землетрясений и подземных ядерных взрывов. Это станции Гарм, Талгар, Зеренда и Новосибирск, расположенные на расстоянии 650 – 1350 км от Семипалатинского испытательного полигона. Помимо этих станций, в 1970-1972 гг. пять комплектов аппаратуры с видимой записью ЧИСС были установлены на стационарных сейсмических станциях Службы спецконтроля Министерства Обороны СССР - Семипалатинск, Маканчи, Майли-Сай, Малин и Улан Батор.

По материалам четырех опорных ЧИСС Комплексной сейсмической экспедиции и станции Семипалатинск Халтуриным В.И. и Рузайкиным А.И. были изучены особенности распространения региональных фаз в регионе от Каспия до Южного Китая. Амплитудные соотношения Lg/P были получены в диапазоне частот от 0.05 до 40 Гц. Прежде всего, было установлено, что на трассах, пересекающих границу Тибета, происходит резкое уменьшение амплитуды волн Lg, вплоть до полного их исчезновения. Наиболее ярко этот эффект наблюдается на северной границе Тибета, по хребту Алтын-Таг, чуть менее ярко – на его южной границе. Впервые это явление (по северной границе Тибета) было замечено и детально прослежено Рузайкиным А.И. и Халтуриным В.И. еще в 1971-1972 гг. при анализе записей, полученных станциями ЧИСС - Семипалатинск, -Талгар.

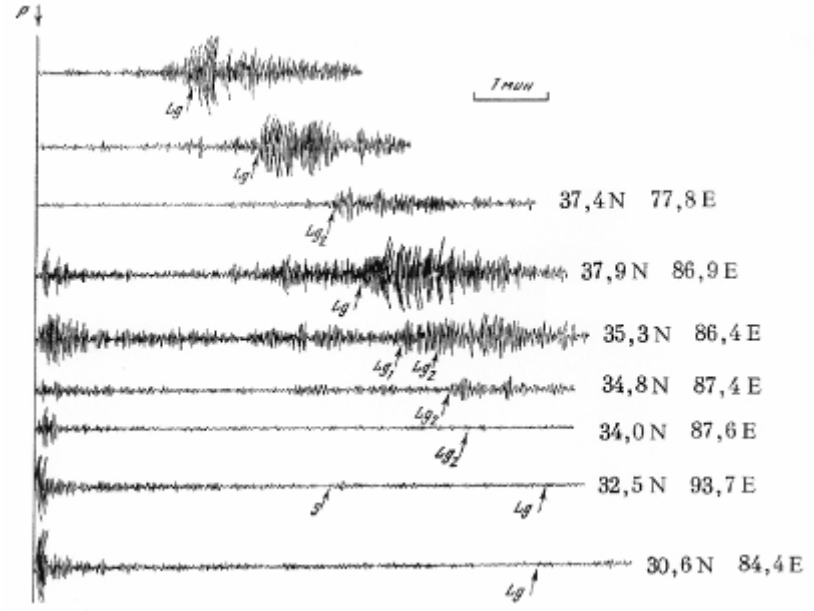
Позднее, П. Молнар проследил резкое затухание (или экранирование?) волн Lg на южной границе Тибета. Эти результаты были описаны в совместных публикациях [6-8]. Сходные эффекты, хотя и не

столь впечатляющие, были обнаружены при пересечении волнами других структур - Загроса, Копетдага, Тянь-Шаня [5].

На рисунке 1 показаны записи станцией ЧИСС-Семипалатинск землетрясений с эпицентрами северо-восточного (Байкал – Восточная Сибирь) и южного (Синьцзянь - Тибет) направлений. Записи совмещены по моментам первого вступления волны Р.



а



б

Рисунок 1. Примеры записи волн Lg землетрясений Байкальского (а) и Тибетского (б) направлений. Станция ЧИСС - Семипалатинск. Полоса пропускания канала 1.4 – 2.3 сек

Для северо-восточного (Байкальского) направления вплоть до северной Камчатки на записи доминирует волна Lg. На южном (тибетском) направлении при пересечении границы Тибета (около 34.5° N для данного профиля землетрясений) волна Lg полностью исчезает. Одновременно с исчезновением волны Lg, происходит резкое увеличение интенсивности волны Р (относительно Р-коды), тогда как для Байкальского направления в большинстве случаев волна Р практически не превышает уровень Р-коды. Значительное различие относительной интенсивности волны Р и параметра Lg/Pn наблюдается и в других регионах. Подчеркнем, что речь идет именно о волне Pn (или волне Р - после 2200 км), но не о волне Pg, которая, равно как и Rg, проявляет себя аналогом Lg. Яркий пример тому – землетрясения Байкальской зоны на записях, полученных станциями, расположенными к северу от Байкала. У сильных толчков в этих зонах видны лишь слабые вступления волны Pn и огромные вступления Pg и Lg-волн,

читаемые только на канале пониженной чувствительности. Соотношение Pg/Pn достигает 100! У более слабых землетрясений в этом районе волны Pn и, тем более, волны Sn, не видны совсем. Поведение параметра Lg/P, повидимому, есть проявление региональных различий резкости границы Мохо и градиентности среды ниже нее. При резкой границе и слабой градиентности среды интенсивность волн Pg, Lg, и Rg возрастает, а волн Pn и Sn - уменьшается. И, наоборот. В результате - отношение Lg/Pn меняется очень сильно. Кинематика гораздо менее чувствительна к этим особенностям строения среды.

Общая выявленная тенденция состоит в том, что относительная интенсивность волн Lg, Pg и Rg велика, а волн Pn и, особенно, волн Sn – относительно слаба, так что параметр Lg/P велик на трассах, проходящих севернее Альпийского пояса. Напротив, на трассах южнее Альпийского пояса волновые соотношения типа Lg/Sn, Pg/Pn и Lg/Pn относительно малы.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ L_G/P_N НА ЗАПИСЯХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

На рисунке 2 для сравнения приведены ядерный взрыв в Казахстане на записях приборами СКМ и СКД станции Талгар (TLG) и индийский взрыв 11 мая 1998 г., записанный цифровой станцией Нилор (NIL). Записи станции Нилор трансформированы в соответствии с частотными характеристиками СКМ и СКД.

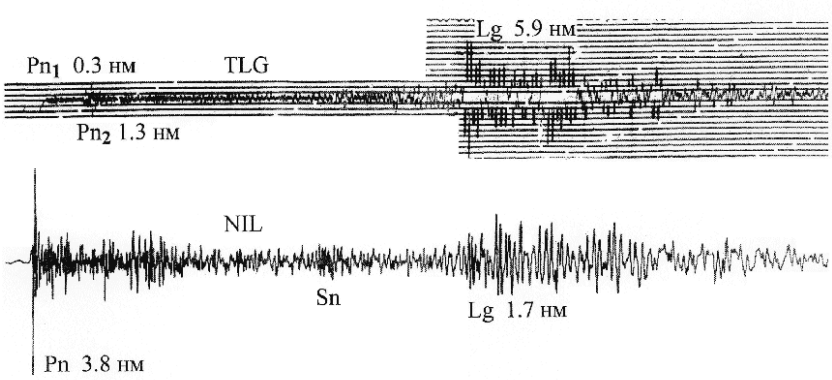


Рисунок 2. Сравнение записей подземных ядерных взрывов - казахстанского, станцией Талгар (СКМ, расстояние 745 км) и индийского 11 мая 1998 г., станцией Нилор (редуцированной к записи СКМ, расстояние 738 км)

Запись станции Нилор была проанализирована непосредственно после индийского взрыва [9, 10]:

- по первым четырем экстремумам волны P был определен азимут на эпицентр (188°) и угол выхода волны Pn (71°);
- -по разностям времен вступлений волн (Lg – Pn и Sn – Pn) было оценено эпицентральное расстояние (750 км) и время в очаге.

Для этого был использован годограф, полученный нами ранее для Казахстанской платформы и ее обрамления по наблюдениям ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне. Положение эпицентра по выполненной оценке с использованием данных только одной станции Нилор отклоняется от данных международной сети всего на 15-20 км, а время в очаге – на 1.5 секунды и примерно совпадает с данными Н. Михайловой и др. [11]. Хорошая сходимость определений времени в очаге и эпицентра показывает, что скоростные характеристики районов распространения сейсмических волн на Казахской платформе и на Индийском щите различаются незначительно, в то время как динамические характеристики, как будет показано ниже, различаются значительно.

Сравнение записей взрывов очень показательно. Их магнитуды mb примерно одинаковы - 5.0 и 5.3. Эпицентральные расстояния также одинаковы - 738 и 745 км. Трассы волн в обоих случаях проходят по платформенным структурам. Однако амплитуда региональных фаз на записях этих станций различается очень сильно. Запись станции Нилор характеризуется очень интенсивным вступлением волны Pn и сравнительно слабой волной Lg. Волна Rg совсем не видна на фоне коды Lg. На записи станции Талгар волна Lg имеет четкое вступление и большую амплитуду. Волна Rg уверенно выделяется на записи СКД.

Амплитуда волн Pn и Lg (в нанометрах) на обеих станциях и их отношение приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения амплитуды волн Pn и Lg (вНм) и их отношение для записей станций Талгар и Нилор

Волна	TLG	СКМ NIL	TLG/NIL	TLG	СКД NIL	TLG/NIL
Pn	0.9	3.7	0.24	1.0	3.7	0.27
Lg	3.6	1.3	2.8	6.8	1.9	3.6
Lg/Pn	4.0	0.35	11.4	6.8	0.5	13.6

Приведенный пример показывает, что региональные различия отношения Lg/P не только для землетрясений, но и для ядерных взрывов могут быть весьма значительными, в данном случае - в 13 раз. Это в два-три раза больше, чем ожидаемые различия между взрывами и землетрясениями из одного района.

Таким образом, динамический диапазон пространственных вариаций параметра Lg/Pn как у землетрясений, так и у взрывов, чрезвычайно велик.

Обусловленный мало известными особенностями земной коры и верхней мантии на пути распространения волн, он пока стойко сопротивляется теоретическим расчетам. Так что, единственным практическим выходом для объяснения причины является эмпирический подход - систематическое накопление данных о значениях параметра Lg/Pn в зависимости от положения эпицентра события и для каждой станции сети мониторинга.

ОБОБЩЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ L_G/P_N ДЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РЕГИОНЕ МОНИТОРИНГА КОНКРЕТНОЙ СТАНЦИИ

Простейший вариант эмпирического обобщения данных предложен и реализован нами в 1973-1974 гг. по записям станций ЧИСС - Талгар, - Семипалатинск и - Новосибирск. Несмотря на свою почтенную давность, около 30 лет, этот опыт представляется весьма полезным.

Обобщение выполнено в двух вариантах:

- в виде кривых Lg/Pn в зависимости от расстояния, построенных отдельно для разных трасс распространения волн – Байкальского и Тибетского (рисунок 3);
- в виде изолиний Lg/P (рисунки 4, 5).

Карты изолиний параметра Lg/Pn, приведенные на рисунках 4, 5, построены по записям 1971–1973 гг., сделанных четырьмя спектральными каналами станции ЧИСС - Семипалатинск, для двух азимутальных направлений распространения сейсмических волн:

- «Китай» - очаги в Синьцзяне, Тибете, Гималаях и Южном Китае,
- «Байкал»- очаги в Саянах, Монголии, Байкале, Северо-восточном Китае,

Также по записям станции Талгар в нескольких частотных интервалах. Высокая чувствительность станций позволила определить отношение Lg/Pn для более 300 землетрясений. На обеих картах видно резкое уменьшение значений параметра Lg/P для землетрясений с эпицентрами южнее Копетдага, Загроса, северной границы Тибета и южного Китая. На трассах северо-восточного направления значение параметра Lg/P мало меняется, испытывая заметное уменьшение лишь при пересечении зоны Байкала.

Полученные в докомпьютерное время, карты изолиний параметра Lg/P были рекомендованы для применения и использовались в Службе специального контроля Министерства Обороны СССР. Сигналы, отличающиеся по своим параметрам на заданную величину, от ожидаемых согласно карте, принимались как подозрительные на взрыв. Применительно к нашему времени, речь идет о создании постоянно пополняемой базы данных, содержащей значения параметра Lg/P от источников с известными координатами. Величина lg(Lg/P) каждого нового сигнала сравнивается со средним значением параметра в некоторой зоне. При этом величина и форма такой зоны зависят от характера неоднородности поля Lg/P.

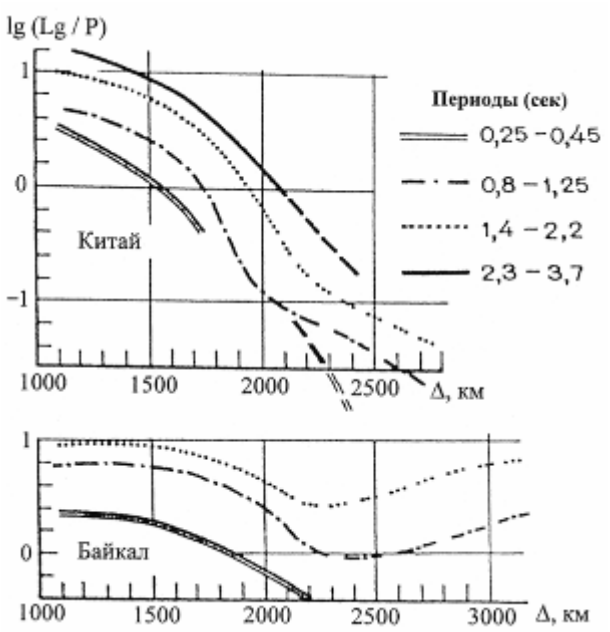


Рисунок 3. Зависимость параметра lg(Lg / P) от расстояния в нескольких интервалах периода для эпицентров с двух направлений трасс: Синьцзянь Тибетского (вверху) и Байкальского (внизу)

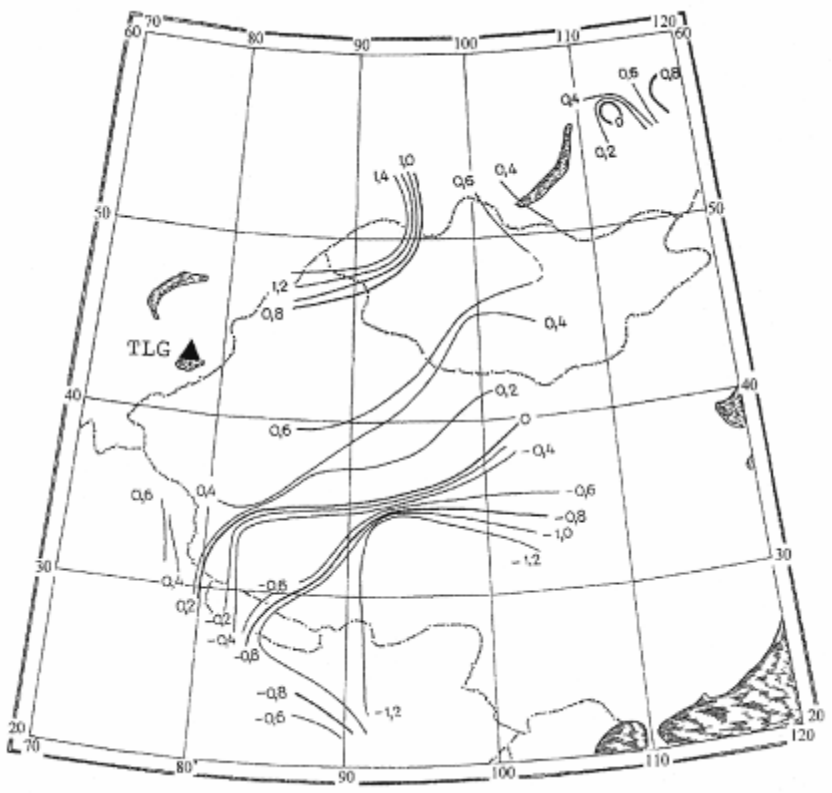


Рисунок 4. Изолинии параметра lg(Lg/Pn) для землетрясений, записанных станцией ЧИСС-Талгар. Периоды 0.6 – 1.0 сек.

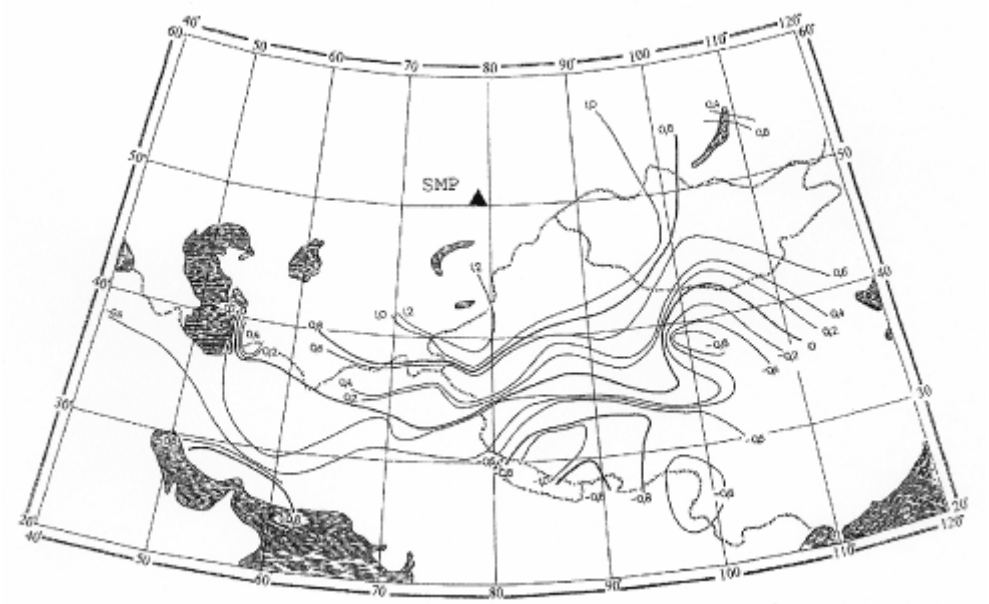


Рисунок 5. Изолинии параметра lg(Lg/Pn) для землетрясений, записанных станцией ЧИСС - Семипалатинс. Периоды 1.4 – 2.3 сек.

ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА L_G/P И ЕГО РАССЕЯНИЕ У ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ВЗРЫВОВ

Выбор порогового значения определяется рассеянием параметра lg(Lg/P) для взрывов и землетрясений, а также выбранным уровнем допустимых пропусков цели и ложных тревог. Оценим средние значения параметров Lg/P и их стандартные отклонения для нескольких выборок взрывов и землетрясений, записанных широкополосной и ЧИСС-станциями.

Оценка 1. 61 ядерный взрыв и 62 землетрясения Алтайского региона (СКМ)

Очаги землетрясений Западного Алтая и взрывы Семипалатинского испытательного полигона, также как и их трассы до станции Талгар, находятся в аналогичных геологических условиях. Расстояние от

них до станции Талгар примерно одинаковое (700-850 км). На рисунке 6 сопоставлены значения Lg/Pn для двух выборок по записям СКМ станции Талгар. Волна P измерялась на записи вертикальной компоненты, волна Lg – на записи горизонтальной компоненты. Среднее значение lg(Lg/P) составляет 0.81 - для землетрясений и 0.47 - для взрывов, при дисперсии 0.27 и 0.18 лог.ед., соответственно. Эффективность распознавания событий (отношение разностей средних к сумме стандартных отклонений), вычисленная по выборке обучения, составляет 0.75.

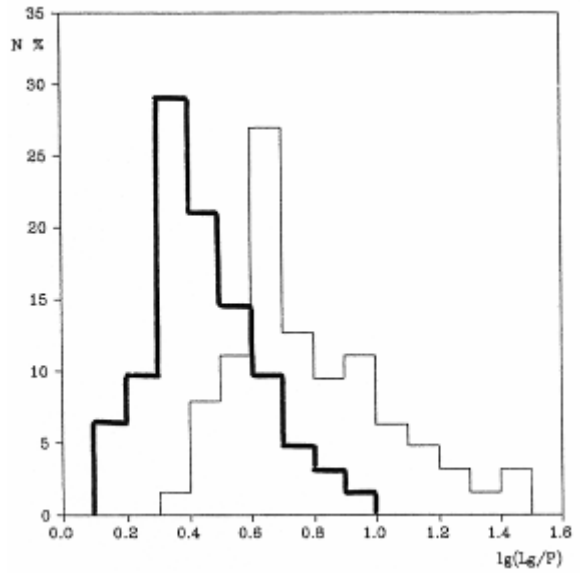


Рисунок 6. Гистограммы lg(Lg/P) ядерных взрывов (слева) и алтайских землетрясений (справа) по записям СКМ станции Талгар. Расстояние 700-850 км.

Оценка 2. 27 местных землетрясений и 23 химических взрыва района Алматы (ЧИСС).

Хайдаров М.С. [12] использовал отношение спектральных амплитуд волн P и S для распознавания слабых (К=6-7) местных землетрясений и карьерных взрывов из района Алматы. Параметр S/P определен по записям семи каналов ЧИСС-Талгар в диапазоне частот от 0.62 до 27 Гц. Средние разностные спектры lg(S/P) приведены на рисунке 7. Как видно из рисунка, по мере перехода к высоким частотам различие между значениями параметра S/P взрывов и землетрясений возрастает и на частотах 2.5 Гц и выше достигает 0.8 – 0.9 лог.ед.

Так как дисперсия практически не зависит от частоты (таблицы 4 и 5), эффективность распознавания существенно улучшается при переходе к частотам 2.5-10 Гц. Так, например, на частоте 5 Гц выборки для землетрясений и взрывов почти полностью разделяются. Среднее значение lg(S/P) для землетрясений равно 0.52, для взрывов – 0.36. Разность их средних равна 0.88. При стандартном отклонении 0.15 лог. ед. для взрывов и 0.35 для землетрясений, гистограммы (рисунок 8) почти не перекрываются.

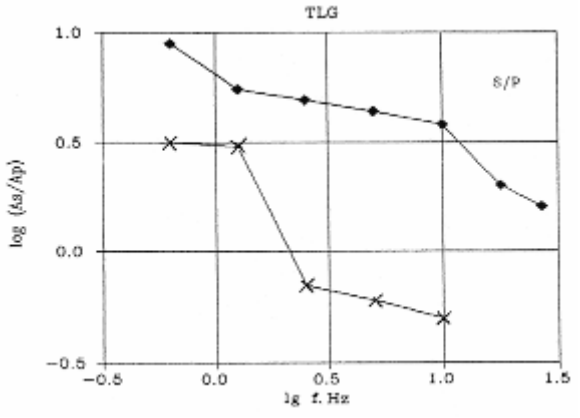


Рисунок 7. Изменение параметра S/P с частотой для местных землетрясений (вверху) и промышленных взрывов (внизу) вблизи Алматы. По записям ЧИСС-Талгар

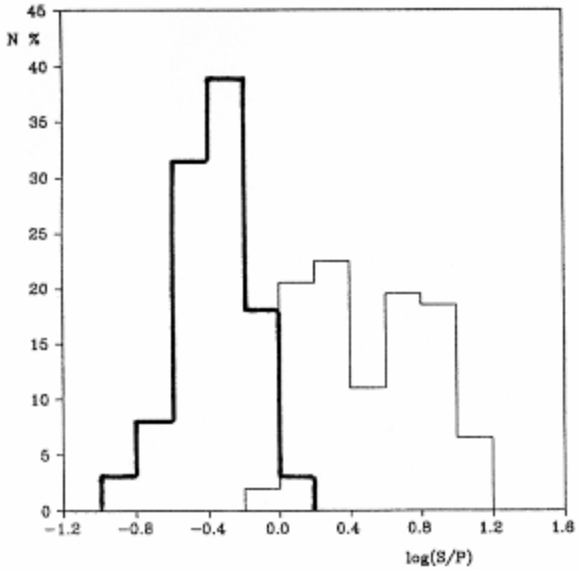


Рисунок 8. Гистограммы параметра lg(S/P) для химических взрывов (слева) и для местных землетрясений (справа). Частота 5 Гц. По записям ЧИСС-Талгар

Оценка 3. 41 ядерный взрыв и 3 землетрясения по записям станции Талгар (СКМ и СКД) из района Семипалатинского испытательного полигона.

Три землетрясения (26 декабря 1966, 20 марта 1976 и 31 марта 1981) произошли на Семипалатинском испытательном полигоне или вблизи него. Взрывы произведены на Семипалатинском испытательном полигоне. Измерения параметров P волн производились по вертикальной, а Lg по горизонтальным компонентам. Полученные значения Lg/P и их стандартных отклонений приведены в таблице 3.

Таблица 3. Параметр lg(Lg/Pn) и его стандартное отклонение σ для ядерных взрывов и землетрясении. По записям станции Талгар

Прибор	Землетрясения		Ядерные взрывы	
	lg(Lg/P)	σ	lg(Lg/P)	σ
СКМ	0.96	0.24	0.54	0.16
СКД	1.13		0.68	0.18

Оценка 4. Три типа событий на Семипалатинском испытательном полигоне (ЧИСС).

Те же три землетрясения, 14 химических взрывов и 20 ядерных взрывов, произведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, были записаны ЧИСС-Талгар. Значения параметра Lg/P, полученные для трех типов событий в частотном диапазоне 0.31 – 10 Гц, приведены в таблице 4.

Таблица 4. Параметр Lg/P для трех типов событий на Семипалатинскомиспытательном полигоне. По записям станции ЧИСС-Талгар

Частота, Гц	Землетрясения	Химические взрывы	Ядерные взрывы
0.31	14	--	6.5
0.62	13	17	6.5
1.25	5.8	7.3	3.0
2.5	2.7	0.65	1.1
5	0.9	--	0.21
10	--	--	0.08

Параметр Lg/P на частотах 0.6 и 1.2 Гц для химических взрывов оказался намного (в 2-2.5 раза) больше, чем для ядерных взрывов, но на частоте 2.5 Гц, его значение резко падает и становится в 2 раза ниже, чем для ядерных взрывов. В более широком частотном диапазоне проследить изменение параметра не позволила слабость сигналов от химических взрывов. Значение параметра Lg/P ядерных взрывов в два раза меньше, чем у землетрясений на частотах от 0.3 до 2 Гц. Это отношение резко возрастает до 4.4 на частоте 5 Гц.

Таким образом, каждый из трех типов рассматриваемых событий характеризуется на разных частотах своим специфическим набором значений параметра lg(Lg/P). Эффективность распознавания событий выше для высоких частот.

Оценка 5. Семипалатинские ядерные взрывы по данным четырех станций - Талгар, Гарм, Новосибирск и Зеренда (ЧИСС).

Эффективность распознавания событий сильно зависит от вариабельности используемых параметров. Казахстанские ядерные взрывы – это наиболее представительная выборка данных, позволяющая получить статистически значимый результат.

Для некоторых частот количество взрывов в выборке – около 100. Совокупность семипалатинских взрывов позволяет оценить стандартные отклонения параметра lg(Lg/P) для разных частот, сравнить среднее значение параметра и стандартное отклонение для разных станций.

Четыре станции - Гарм (GRM), Новосибирск (NSB), Талгар(TLG) и Зеренда (ZRN), - располагаются в разных азимутах относительно Семипалатинского испытательного полигона. В таблице 5 для каждой из станций приведены средние значения отношения Lg/Pn, величина стандартных отклонений σ и количество N записей, участвовавших в осреднении. Данные относятся к нескольким полосам частот из общего диапазона 0.18 – 5.0 Гц.

Таблица 5. Средние значения lg(Lg/P) и их стандартные отклонения σ для ядерных взрывов. По записям 4 станций ЧИСС

Станция	f, Гц	0.28	0.31	0.62	1.25	2.5	
GRM	lg(Lg/P)	0.74	0.90	0.69	0.36	-0.21	
GRM	σ	0.12	0.18	0.19	0.20	0.20	
GRM	N	42	18	136	79	60	
	f, Гц	**0.18**	**0.35**	**0.71**	**1.41**	**3.1**	
NSB	lg(Lg/P)	0.84	1.00	0.86	0.85	0.17	
NSB	σ	0.07	0.12	0.18	0.17	0.19	
NSB	N	8	49	42	32	36	
	f, Гц		**0.31**	**0.62**	**1.25**	**2.5**	**5**
TLG	lg(Lg/P)		1.14	0.94	0.47	-0.10	-0.70
TLG	σ		0.12	0.21	0.30	0.26	0.18
TLG	N		12	128	95	86	35
	f, Гц		**0.28**	**0.62**	**1.25**	**2.5**	**5**
ZRN	lg(Lg/P)		1.05	0.89	0.55	0.05	-0.58
ZRN	σ		0.10	0.18	0.10	0.16	0.11
ZRN	N		18	13	12	9	5

Максимальное значение параметра lg(Lg/P) у ядерных взрывов приходится на частоту 0.3 Гц, которой соответствует максимум спектра скорости волн Lg. По мере роста частоты значение параметра lg(Lg/P) систематически уменьшается, но не одинаково для разных станций. Это уменьшение более заметно для станции Гарм и слабее – для станции Новосибирск. Полученная закономерность еще раз подтверждает, что не следует ожидать одинаковых значений параметра Lg/P для разных станций, даже если станции находятся в одном и том же регионе на одинаковых расстояниях от событий. Средние значения параметра lg(Lg/P) семипалатинских ядерных взрывов для всех четырех станций показаны в таблице 6. Как можно видеть, различие значений параметра для разных станций на фиксированной частоте не намного меньше, чем разброс значений для одной и той же станции при разных взрывах.

Значение стандартного отклонения для взрывов варьирует от 0.1 до 0.3 лог.ед и в среднем для всех станций и частот равно 0.17. Наименьший разброс значений стандартного отклонения характерен для станции Зеренда, он равен 0.13, тогда как для станции Талгар - 0.21. Трасса от Семипалатинского испытательного полигона до станции Зеренда проходит по наиболее высокодобротной и однородной части Казахской платформы. Величина стандартных отклонений между станциями минимальна при частотах 0.3 – 0.6 Гц, т.е. около максимума спектра Lg.

Таблица 6. Средние по четырем станциям значения lg(Lg/P) и станционная компонента стандартного отклонения $\sigma_{ст}$

f	0.18	0.28	0.31	0.62	1.25	2.5	5
lg(Lg/P)	0.84	0.90	1.01	0.85	0.56	-0.02	-0.64
$\sigma_{ст}$		0.16	0.08	0.08	0.15	0.13	0.06

Выводы

Региональные вариации параметра распознавания событий Lg/Pn и его изменение с расстоянием могут быть значительными. Они могут превышать не только естественный разброс для фиксированных станций и очага, но и различие между взрывами и землетрясениями. Поэтому для мониторинга взрывов в обширном регионе, охватывающем не только известные полигоны, необходимо использовать транспортабельные критерии. При этом совершенно недостаточно учитывать только расстояние от очага. Транспортабельный критерий должен строиться на основе отклонений от пространственного поля параметра lg(Lg/Pn), полученного для каждой отдельной станции мониторинга по землетрясениям. В 1975 г. такое поле в виде сглаженных карт изолиний было предложено в качестве основы распознавания событий и использовалось на практике сетью ЧИСС станций Службы спецконтроля Министерства обороны СССР.

Транспортабельный мониторинг состоит в определении для каждого текущего события величины его рабочих параметров и в вычислении отклонения их от локального среднего, согласно имеющейся (и постоянно пополняющейся) базе данных для землетрясений, происшедших в той же зоне и записанных той же станцией. Событие считается возможным взрывом, если значение параметра lg(Lg/Pn) отклоняется от локального среднего в окрестности эпицентра на величину δ лог. ед, превышающую критическую. Критическое отклонение может быть взято постоянным для всех расстояний и участков региона, в котором ведется мониторинг.

Поскольку промышленные взрывы производятся во многих районах и составляют весомую часть сейсмических событий, аналогичная база данных должна накапливаться и для взрывов.

Различие в значениях параметра lg(Lg/Pn) для взрывов и для землетрясений на высоких частотах 2.5 – 5 Гц) больше, чем на низких. Поэтому распознавание следует вести, используя не максимальные амплитуды широкополосных записей, а амплитуды записей в фиксированных частотных интервалах. Важно отметить, что полосы частот, аналогичные каналам ЧИСС (лог-постоянной ширины) предпочтительнее узкополосных фильтров линейно постоянной ширины Δf. Это связано с тем, что последние отличаются длительным, возрастающим с частотой, переходным процессом в фильтрах, в результате которых временная структура сигнала сильно искажается. В фильтрах лог- постоянной ширины переходный процесс составляет всего два цикла колебаний. Они оптимальны в смысле как частотного, так и временного описания сигнала.

Представляется, что критерий распознавания событий разумно строить в вероятностном выражении [13, 14]. Тогда парциальные вероятности для каждой частотной полосы могут суммироваться по Байесу, что повысит эффективность распознавания событий по сигналам, записанным в нескольких полосах частот.

Литература

1. I.L. Nersesov, T.G. Rautian The study of dynamics and kinematics of seismic waves at the Big Profile Pamir-Baika// Proceedings of the VIII Assembly of the European Seismological Comission. - Budapest, 1964. - P.174-181.
2. Антонова Л.В., Халтурин В.И. и др. Основные экспериментальные закономерности динамики сейсмических волн. – М.: Наука, 1968. - 287 с.
3. Запольский К.К. Частотно-избирательные сейсмические станции ЧИСС//Экспериментальная сейсмология. - М.: Наука, 1971. - С. 20-36.
4. Халтурин В.И. Станции ЧИСС в системе наблюдений КСЭ. Гармский полигон. - М.: ИФЗ АН СССР, 1990. - С. 41-66.
5. Халтурин В.И., Рузайкин А.И. Выделение крупных горизонтальных неоднородностей по характеристикам волн Pn, Lg, Rg//Экспериментальные сейсмические исследования недр Земли: раздел II, главы 1 и 2. – М.: Наука, 1978. - С. 61-88.
6. Молнар П., Нерсесов И.Л., Рузайкин А.И., Халтурин В.И. Волны Lg и их распространение в Центральной Азии//ДАН. – 1975.- Т 222. -С. 829-832.
7. Молнар П., Нерсесов И.Л, Рузайкин А.И., Халтурин В.И. Волны Lg и их распространение в Центральной Азии//Сборник советско-американских работ по прогнозу землетрясений: т. 1, кн. 1. Душанбе: Дониш. - 1976. - С. 185-206.
8. V.I. Khalturin, P.Molnar at al. Propagation of Lg waves and lateral variations in crust structure//Journ.Geoph.Res. - v. 82, N 2, 1977. - Pp. 307-316.
9. V.I. Khalturin, P.G.Richards, W-Y. Kim Analysis of the Nilore, Pakistan, seismogram of the Indian nuclear explosion of 1998, May 11. Lamont-Doherty Earth Observatory, June 25, 1998. Report.
10. B. Barker, P. Richards, V. Khalturin et al. Monitoring nuclear tests//Science, Sep 25 1998. - V. 281, no. 5385. - Pp. 1967-1968
11. Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И. Индийский и казахстанский подземные ядерные взрывы 1998 г. по данным казахстанской сейсмической сети наблюдений//Геофизика и проблема нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000.- Вып. 2.- С. 53-64.
12. Хайдаров М.С. Очаговые спектры землетрясений и пространственно-временные вариации угловой частоты: Канд. диссертация. – 1986. - С. 99-103.
13. Писаренко В.Ф., Раутиан Т.Г Статистическая классификация по нескольким признакам//Вычислительная сейсмология. – 1966. - Вып. 2. - С. 150-182.
14. Нерсесов И.Л, Писаренко В.Ф., Раутиан Т.Г., Смирнова Н.А., Халтурин В.И. Применение теории узнавания для статистического разделения мелких и глубоких землетрясений по динамическим характеристикам записи//Проблемы цунами. – М.: - Наука, 1968. - С. 63-74.

ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР МОНИТОРИНГІСІ ПРОБЛЕМАСЫНДА LG ЖӘНЕ PN ТОЛҚЫНДАР АМПЛИТУДАЛАРЫНЫ ҚАТЫНАСЫ

Халтурин В.И.

Колумбия Университетінің Ламонт-Дохерти Геологиялық Обсерваториясы, Палисадес қ., Нью-Йорк штаты

Семей ядролық жарылыстын Талғар станциясының және индия ядролық жарылыстың Нилор станциясының жазбаларымен безендірілетін жарылыстар мен жер сілкінулер жазбаларында Lg/Pn арақатысының аумақтық ерекшеліктері сипатталады. Оқиғалардың екеуіндеде эпиорталықтық қашықтығы шамамен бірдей (750 км.), бірақ ядролық жарылыстар жазбасында Lg/Pn қатынасы 11-13 рет өзгеше. Оданда көп өзгешілігі Орта Азия мен Тибет аймағын қиып өтетін трассалардағы жер сілкінулер үшін байқалады. Мақалада, айқын станциялар жазбаларына келтіре жарылыстар мен жер сілкінулер үшін Lg/Pn аймақтық вариациялары және олардың стандартты ауытқушылықтары сипатталады. 0,3-2 Гц. жиіліктер ауқымында жарылыстар жазбасында Lg/Pn мөлшері сол аймақтағы жер сілкінулер жазбасындағынан екі есе кіші. Жиіліктің бұдан гөрі улкен мөлшерлерінде бұл өзгешілік көбейеді, және айырып тану тиімділігі өседі. Стандартты ауытқушылығы жиіліктен тәуелсіз, орта мәнде жарылыстар үшін 0,17 лог.бір. және жер сілкінулер үшін 0,30 шамасында.

AMPLITUDE RATIO OF LG AND P-WAVES IN NUCLEAR MONITORING PROBLEM

V.I. Khalturin

Lamomt-Doherty Geological Observatory, University of Columbia, Palisades, NY

The paper presents regional differences of Lg/Pn ratio in explosion and earthquake records of a Semipalatinsk nuclear explosion recorded by Talgar station and Indian nuclear explosion by Nilor station. In both cases epicentral distances are approximately equal (750 km), but Lg/Pn ratio differs 11-13 times in the nuclear explosion records. Even more distinct differences are observed for earthquakes at the traces crossing Middle Asian and Tibet region. Lg/Pn regional variations are characterized for explosions and earthquakes with regard to specific stations' records and their standard deviations. In the frequency range of 0.3-2 Hz Lg/P value in the explosion records is two times less than in the earthquake records of the same region. This difference and discrimination efficiency increase on high frequencies. Standard deviation does not depend upon a frequency and on average is 0.17 log. units for explosions and 0.30 for earthquakes. Scale of regional and station differences of Lg/P parameter proves the necessity to construct a transportable discrimination criterion for earthquakes on the basis of spatial field of parameter values (database) depending upon epicenter location and chiefly for each single station of the monitoring network. The author first proposed such fields of spectral parameters as long ago as 1975.

УДК [621.039.9+550.348]: 007(574.41)

РАСПОЗНАВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ НЯЦ РК

[1)]Соколова И.Н., [2)]Мусин А.К., [1)]Султанова Г.С.

[1)]Институт геофизических исследований НЯЦ РК
[2)]КазНИИ Энергетики

В статье приведены результаты исследований по распознаванию химических, ядерных взрывов и близких землетрясений на Семипалатинском испытательном полигоне. Использовались сейсмические записи периода 1964 - 2002 г, полученные станциями сети НЯЦ РК – Курчатов, Маканчи, Боровое, Талгар, расположенными на региональных расстояниях от полигона. Исследовались спектральные амплитудные отношения Lg/Pg, Sn/Pg, Sn/Pn, Lg/Pn. Приведены результаты анализа частотно-временных полей с целью выявления наиболее эффективных критериев распознавания явлений

Семипалатинский испытательный полигон является уникальным полигоном Азии, где, наряду с подземными ядерными взрывами, производились исследовательские и калибровочные химические взрывы. Последние годы на угольном карьере Каражыра, который расположен на площадке Балапан, проводятся карьерные химические взрывы. Кроме того, на территории СИП и в прилегающих к нему районах проявляется естественная тектоническая сейсмичность. Поэтому интерес к решению задачи распознавания сейсмических событий для этого региона велик, особенно для сейсмических станций НЯЦ РК, часть которых входит в Международную систему мониторинга. В настоящей работе исследуются амплитудные отношения Lg/Pg, Sn/Pg, Sn/Pn, Lg/Pn, замеренные при узкополосных фильтрах с центральными частотами 0.6, 1.25, 2.5, 5.0 Гц. Узкополосные фильтры применены с целью исключения эффектов, связанных с различием частотных характеристик приборов, поскольку, наряду с цифровыми данными, использовались оцифрованные аналоговые записи станций Талгар (TLG) и Боровое (BRVK). Это позволило проанализировать большое количество записей взрывов и землетрясений за продолжительный период времени для сравнительно небольшой площади исследуемого района, уменьшив тем самым разброс различных топографических параметров и прочих характеристик трасс.

СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Анализировались записи, полученные на станциях Боровое (BRVK), Курчатов (KURK), Маканчи (MAKZ) и Талгар (TLG), так как для них был собран наиболее представительный материал. Были обработаны записи 25 химических взрывов, полученные в 1975-2002 гг., с магнитудой m_{pva}~1.6-4.4 на эпицентральных расстояниях 70-785 км от станций, 16-ти землетрясений за 1976-2002 гг. из района с координатами 46°~52.5° с.ш. и 75°~82.5° в.д. с магнитудой m_{pva}~3.8-5.1 на эпицентральных расстояниях 48-1281 км от станций, 10-ти взрывов в карьере Каражыра за 1997-2002 гг. с магнитудой m_{pva}~ 2.0-2.8 на эпицентральных расстояниях 77-749 км, 124-х ядерных взрывов за 1964-1989 гг., с магнитудой m_b~ 3.8-6.5 при диапазоне эпицентральных расстояний 655-774 км. Кроме того, хотя и в меньшей степени, использовались данные, полученные станциями Восточное (VOS), Чкалово (CHKZ), Зеренда (ZRNK).

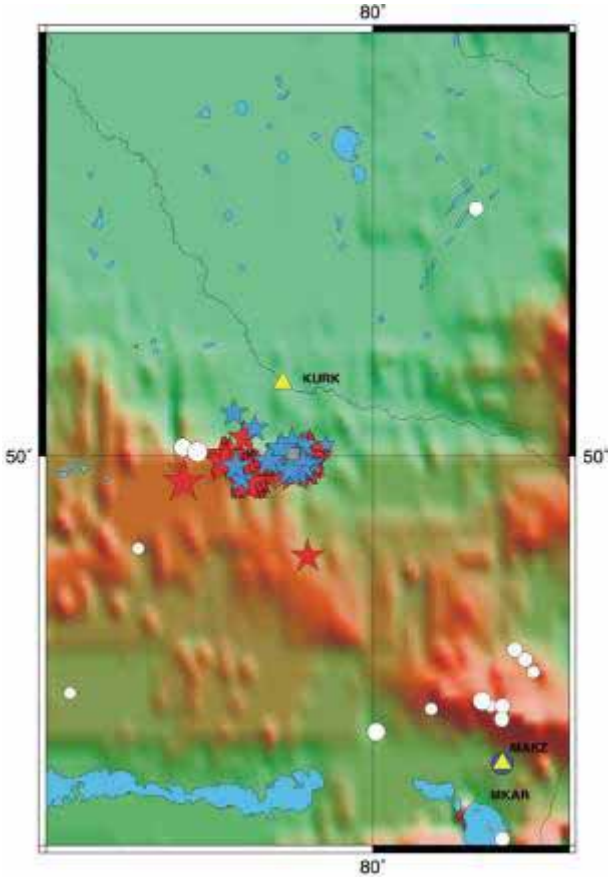
Сведения о землетрясениях и ядерных взрывах были взяты из каталогов NEIC и PDE Геологической службы США, каталога REB, каталога ISC Международного сейсмологического центра, каталога IDC. Информация о химических взрывах была подобрана по [1, 2]. На рисунке 1. показано расположение этих событий.

АППАРАТУРА

В настоящей работе использовались данные, полученные с помощью аппаратуры разных типов, что позволило охватить достаточно большой период времени (1964-2002 гг.). Ниже приводятся основные характеристики использованной аппаратуры.

Цифровые станции. Обрабатывались данные, зарегистрированные трёхкомпонентными цифровыми сейсмическими станциями QUANTERRA, REFTEK и GSN, установленными на стационарных станциях наблюдения НЯЦ РК [3]. Цифровые станции укомплектованы сейсмометрами STS-2, STS-1, L4C, CMG-3 или CMG-40T с полосой пропускания 0.008-45 Гц (STS-2) и 0.03-80 Гц (CMG-3 и CMG-40T). Частота оцифровки использованных данных – 20-100 Гц [3].

Комплекс аппаратуры с магнитной записью АСС-6/12 [4]. Каждая станция магнитной записи укомплектована тремя сейсмометрами СМ-3 (три компоненты) с собственным периодом 1.5 с. Частотный диапазон по уровню –3 Дб при скорости записи 0.5 мм/с – 0.5-16 Гц. Для преобразования информации, зарегистрированной на магнитной ленте станциями записи АСС-6/12 в видимую форму на фотобумаге или в цифровой формат, использовалась станция воспроизведения ВСС-3/6. Записи, использованные в настоящей работе, были оцифрованы с частотой 20 и 25 Гц.



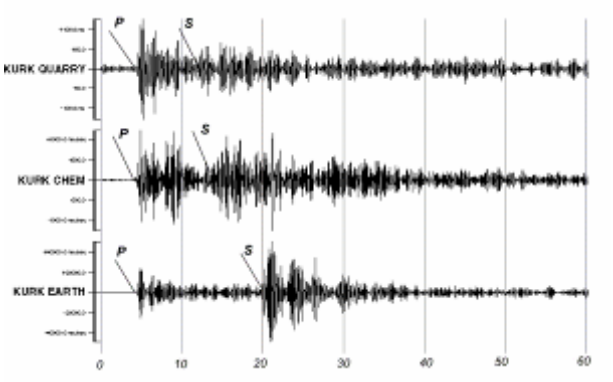
Кружки – землетрясения. Звездочки: красные – подземные ядерные взрывы, голубые – химические калибровочные и исследовательские взрывы, Квадрат – карьерные взрывы. Треугольники – 3-х компонентные сейсмические станции.

Рисунок 1. Расположение сейсмических событий, включенных в базу данных по Семипалатинскому испытательному полигону

Сейсмометры СКМ-3. Трёхкомпонентные записи выполнены комплектом, состоящим из двух горизонтальных и одного вертикального сейсмометров с собственным периодом 1.6 с [5]. Рабочий диапазон частот по уровню -3 Дб - 0.5-9 Гц. Использованные сейсмограммы записаны на фотобумагу, имели временную развертку 120 мм/мин. Сейсмограммы отсканированы и оцифрованы с помощью специального программного обеспечения, частота оцифровки - 40 Гц.

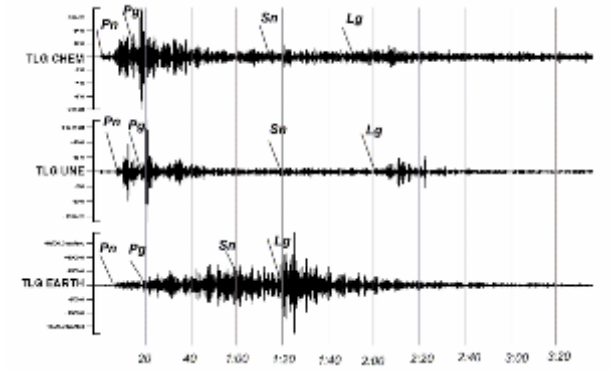
Краткая характеристика волновой картины записей сейсмических событий

События из района Семипалатинского испытательного полигона (рисунок 1) условно можно разделить на 2 зоны в зависимости от эпицентрального расстояния: I – ближняя зона, с эпицентральным расстоянием до 200 км (записи станции KURK); II - дальняя зона, с эпицентральным расстоянием > 200 км (записи станций BRVK, CHKZ, MAKZ, TLG, VOS, ZRNK). При взрывах, производимых под землей, станциями регистрируются продольные и поперечные волны, связанные со слоями в земной коре, которые наблюдаются на соответствующих эпицентральных расстояниях в данном районе и при мелкофокусных землетрясениях. На рисунке 2 приведены сейсмограммы, характерные для ближней зоны. На них четко выделяются фазы - прямая P и S. На рисунке 3 приведены сейсмограммы, характерные для дальней зоны, зарегистрированные станцией Талгар. В этом случае на сейсмогаммах можно выделить фазы Pn, Pg, Sn, Lg.



Вверху - карьерный взрыв 22.05.2002 г., Δ = 77 км. Посередине – калибровочный взрыв 25.09.1998 г., Δ = 83 км. Внизу – землетрясение 26.03.1996 г., Δ = 129 км.

Рисунок 2. Сейсмограммы, зарегистрированные станцией Курчатов (KURK). Фильтр с центральной частотой 5.0 Гц



Вверху - химический взрыв 16.09.1987 г., Δ = 744 км. Посередине – подземноый ядерный взрыв 26.12.1982 г., Δ = 740 км. Внизу – землетрясение 25.09.1996 г., Δ = 492 км.

Рисунок 3. Сейсмограммы, зарегистрированные станцией Талгар (TLG). Фильтр с центральной частотой 5.0 Гц

Методика обработки данных

Методика обработки данных была в целом аналогична методике, описанной в [6-8]. Был применен метод спектральных отношений при узкополосной фильтрации. Использовались фильтры с центральными частотами 0.6, 1.25, 2.5, 5 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы на уровне –3 Дб от максимума. Преобразование записей смещений (СКМ) в скорость (ACC-6/12, CMG-3, CMG-40T, STS-2, STS-1, L4C) или наоборот, не производилось, так как это различие данных несущественно для амплитудных отношений при использовании узкополосных частотных фильтров.

Измерялась максимальная амплитуда в волнах P и S для станций ближней зоны, Pn, Pg, Sn, Lg, - для станций дальней зоны. Времена вступления фаз P, Pn, Pg, S, Lg определялись по годографу [1]. Максимальная амплитуда Sn замерялась после вступления фазы Sn по годографу и до вступления фазы Lg.

Для анализа были использованы десятичные логарифмы отношения амплитуды соответствующих волновых групп к амплитуде волн Pn и Pg, измеренных на той же компоненте (вертикальной или горизонтальной). Далее, для простоты, опускаются повторяющиеся символы. Например, величина $\lg(A_{Lg}/A_{Pn})$ будет обозначаться как Lg/Pn и т.д. Преобразование горизонтальных осей координат по азимуту не производилось. Это связано с тем, что некоторые данные, особенно старые, не позволяют производить такое преобразование достаточно корректно.

Для распознавания событий рассматривались следующие характеристики логарифмов амплитудных отношений:

- средние выборочные значения для взрывов и землетрясений;
- дисперсия по выборке;
- коэффициент качества разделения, определяемый как

$$K_{qd} = \frac{\overline{X}_{eq} - \overline{X}_{ex}}{\sqrt{S_{eq}} + \sqrt{S_{ex}}},$$

где $\overline{X}_{eq}$ и $\overline{X}_{ex}$ - средние выборочные значения, а S_{eq} и S_{ex} - дисперсии для землетрясений и взрывов, соответственно (очевидно, что чем выше абсолютная величина коэффициента качества разделения, тем меньше вероятность ошибки);

- пороговое значение, при котором происходит разделение взрывов и землетрясений [6-8].

Анализ экспериментальных данных

Станция KURK. Сейсмическая станция Курчатов (**KURK**) находится в ближней зоне от Семипалатинского испытательного полигона. Были обработаны записи этой станцией 29-ти событий с эпицентральными расстояниями от 70 до 620 и магнитудой m_b = 1.6 – 4.6 , из них 6-ти землетрясений, 14-ти химических взрывов, 9-ти карьерных взрывов. С учетом характера сейсмической записи в ближней зоне для всех взрывов измерения проводились по волновым фазам P и S. Эпицентры некоторых землетрясений, находились на расстоянии больше 200 км от станции, на записях этих событий замеры проводились по фазам Pg и Lg.

На рисунке 4 представлены результаты замеров отношения S/P для вертикальной компоненты. Как видно из рисунка, разделение отношений наблюдается на частоте 5 Гц, однако один взрыв (Омега-3, 29/07/2000) попал в область землетрясений. По-видимому, это связано с тем, что взрывная камера при эксперименте Омега-3 расположена вблизи тектонического разлома, взрыв мог инициировать движение вдоль разлома, аналогичное землетрясению [9].

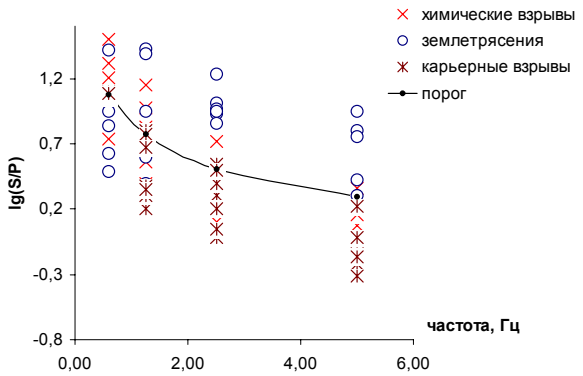


Рисунок 4. Распределение значений параметра S/P для взрывов и землетрясений. Станция Курчатов, канал Z.

В таблицу 1 сведены данные о коэффициенте качества разделения и пороговом значении на разных частотных фильтрах для каналов восток-запад (E), север-юг (N) и Z.

Таблица 1. Коэффициент качества разделения и пороговое значение S/P для станции Курчатов

Канал	Частота	S/P	
		Коэффициент качества разделения	Пороговое значение
E	0,6	-0,17	1,35
E	1,25	0,44	0,86
E	2,5	0,74	0,75
E	5	1,42	0,66
N	0,6	0,10	0,99
N	1,25	1,18	0,68
N	2,5	1,85	0,54
N	5	1,14	0,79
Z	0,6	-0,45	1,078
Z	1,25	0,43	0,77
Z	2,5	1,20	0,51
Z	5	1,23	0,29

Станция MAKZ. Сейсмическая станция Маканчи (**MAKZ**) расположена в предгорьях хр. Тарбагатай, в дальней зоне от Семипалатинского испытательного полигона. По станции Маканчи были обработаны записи 24-х событий с эпицентральными расстояниями от 48 до 620 км и магнитудой m_b 1.6-4.6, из них 10-ти землетрясений, 9-ти химических взрывов и 5-ти карьерных взрывов. С учетом характера сейсмической записи в дальней зоне измерения проведены по волновым фазам Pn, Pg, Sn, Lg. Для нескольких землетрясений из ближней зоны станции (Δ<200 км) проведены замеры по P и S- волнам.

На рисунке 5 представлены основные результаты замеров отношения Lg/Pg для вертикальной компоненты. Как следует из рисунка, наилучшее распознавание событий наблюдается при использовании частотной фильтрации с центральной частотой 5 Гц.

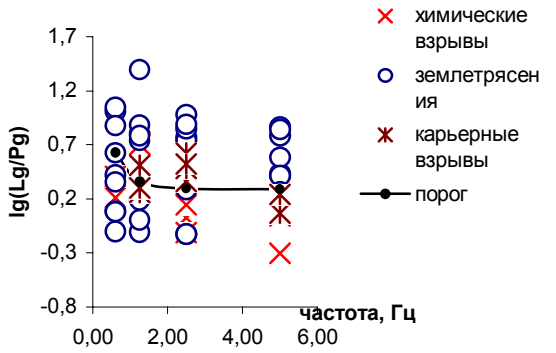


Рисунок 5. Распределение значений параметра Lg/Pg для взрывов и землетрясений. Станция Маканчи, канал Z

Значение параметра Lg/Pg для карьерных взрывов на месторождении Каражыра на высоких частотах выше, чем для взрывов с компактным заложением заряда (калибровочных). Та же тенденция прослеживается для отношения Sn/Pg. В таблице 2 дана информация о коэффициенте качества разделения и пороговом значении Lg/Pg на разных фильтрах для каналов записи восток-запад, север-юг, Z.

Таблица 2. Коэффициент качества разделения и пороговое значение Lg/Pg для станции Маканчи

Канал	Частота	Lg/Pg	
		Коэффициент качества разделения	Пороговое значение
E	0,6	1,43	0,43
E	1,25	1,14	0,57
E	2,5	0,42	0,79
E	5	0,62	0,33
N	0,6	0,32	0,35
N	1,25	0,43	0,20
N	2,5	0,03	0,36
N	5	0,35	0,02
Z	0,6	0,32	0,15
Z	1,25	0,21	0,31
Z	2,5	0,45	0,25
Z	5	1,07	0,26

Станция BRVK. Сейсмическая станция Боровое (**BRVK**) расположена на Кокчетавском массиве, в дальней зоне от Семипалатинского испытательного полигона. По станции Боровое были обработаны записи 16-ти событий с эпицентральными расстояниями от 601 до 1130 км и магнитудой m_b 2.8-5.1, из них 7-ми землетрясений, 8-ми химических взрывов и 1-го карьерного взрыва. По описанной выше методике проведены измерения по всем перечисленным волновым фазам Pn, Pg, Sn, Lg,

На рисунке 6 представлены основные результаты замеров отношения Lg/Pg для вертикальной компоненты. Наилучшее распознавание наблюдается при использовании частотной фильтрации с центральной частотой 5 Гц.

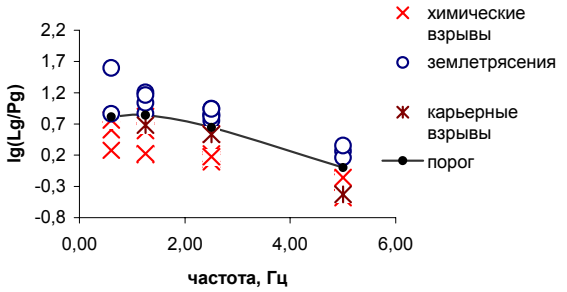


Рисунок 6. Распределение значений параметра Lg/Pg для взрывов и землетрясений. Станция Боровое, канал Z

Замеры для карьерного взрыва на месторождении Каражыра хорошо согласуются с результатами замеров по остальным химическим взрывам. В таблице 3 приведены данные о коэффициенте качества разделения и пороговыом значении Sn/Pg, Lg/Pg, Sn/Pn, Lg/Pn на разных фильтрах для каналов восток-запад, север-юг, Z.

Таблица 3. Коэффициент качества разделения и пороговое значение для станции Боровое

Канал	Частота	Sn/Pg		Lg/Pg		Sn/Pn		Lg/Pn	
		Коэффициент качества разделения	Пороговое значение	Коэффициент качества разделения	Пороговое значение	Коэффициент качества разделения	Пороговое значение	Коэффициент качества разделения	Пороговое значение
E	0,6	6,06	0,71	3,06	1,13				
E	1,25	1,88	0,39	2,05	0,88				
E	2,5	0,34	0,32	0,25	0,04	1,24	0,32	1,05	0,73
E	5	0,82	0,25	0,95	-0,05	5,67	0,17	3,02	-0,12
N	0,6	11,85	1,01	5,24	1,41				
N	1,25	0,55	0,92	3,39	1,06				
N	2,5	0,19	0,37	0,32	0,20	-0,70	1,01	-0,31	1,18
N	5	0,75	0,44	0,89	0,01	2,52	0,01	2,20	-0,19
Z	0,6	0,44	0,36	0,89	0,82				
Z	1,25	0,64	0,46	1,43	0,84				
Z	2,5	0,46	0,64	2,25	0,65	0,00	0,48	-0,18	1,04
Z	5	0,99	0,34	2,29	0,00	1,62	0,47	2,87	-0,11

Станция TLG. Сейсмическая станция Талгар (*TLG*) расположена в Северном Тянь-Шане, в дальней зоне от Семипалатинского испытательного полигона. За более чем 40 лет работы станции накоплено большое количество аналоговых сейсмограмм, что позволило отобрать и обработать записи 141 события с эпицентральными расстояниями от 502 до 1065 км, магнитудой m_b 3.8-6.5, из них 9-ти земле-

трясений, 8-ми химических взрывов и 124-х подземных ядерных взрывов. Проведены измерения по волновым фазам Pn, Pg, Sn, Lg.

На рисунках 7-8 приведены результаты замеров отношения Sn/Pg для вертикальной компоненты. Ядерные взрывы (рисунок 7) и химические взрывы (рисунок 8) в сравнении с землетрясениями проанализированы раздельно.

Разделение событий во всех рассматриваемых случаях наблюдается на частоте 5 Гц. Однако разделение ядерных взрывов и землетрясений для отношений Lg/Pn, Sn/Pn крайне неустойчиво. Этот факт может быть связан с тем, что использованные сейсмические записи имели ряд недостатков - повышенную погрешность при оцифровке данных, низкий динамический диапазон, использование для оцифровки событий с магнитудами > 5.5 загрубленного канала.

В таблицах 4, 5 представлены данные о коэффициенте качества разделения и пороговое значение Sn/Pg, Lg/Pg, Sn/Pn, Lg/Pn на разных фильтрах для каналов записи восток-запад, север-юг, Z.

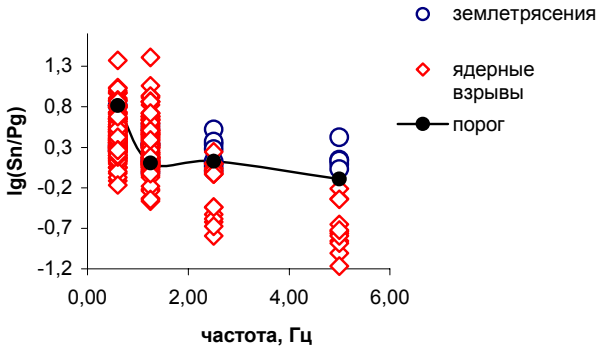


Рисунок 7. Распределение значений параметра Sn/Pg для ядерных взрывов и землетрясений. Станция Талгар, канал Z

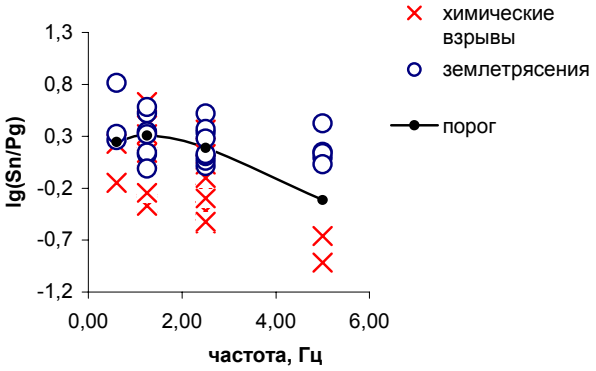


Рисунок 8. Распределение значений параметра Sn/Pg для химических взрывов и землетрясений. Станция Талгар, канал Z

Таблица 4. Коэффициент качества разделения и пороговое значение для химических взрыов и землетрясений. Станция Талгар

Канал	Частота	Sn/Pg		Lg/Pg		Sn/Pn		Lg/Pn	
		Коэффициент качества разделения	Пороговое значение	Коэффициент качества разделения	Пороговое значение	Коэффициент качества разделения	Пороговое значение	Коэффициент качества разделения	Пороговое значение
E	0,6	1,31	0,45	1,90	1,21	1,98	0,67	1,54	1,64
E	1,25	-0,13	0,37	-0,02	0,90	0,47	1,00	0,58	1,46
E	2,5	0,03	0,54	0,18	0,87	0,43	0,75	0,56	1,32
E	5	1,98	-0,21	0,84	0,32	0,85	-0,11	0,55	0,37
N	0,6	-0,07	0,26	0,36	1,16	4,67	0,86	2,37	1,69
N	1,25	-0,08	0,31	0,09	1,10	0,37	0,80	0,62	1,25
N	2,5	0,16	0,44	0,18	0,81	0,59	0,68	0,66	1,15
N	5	0,93	0,13	0,53	0,55	0,65	0,26	0,31	0,59
Z	0,6	0,75	0,25	0,38	1,03	1,06	0,58	0,98	1,40
Z	1,25	0,39	0,31	0,42	0,78	0,99	0,76	0,88	1,26
Z	2,5	0,84	0,19	0,39	0,60	1,17	0,38	0,76	0,87
Z	5	2,89	-0,31	2,49	-0,16	1,53	-0,05	1,03	0,10

Таблица 5. Коэффициент качества разделения и пороговое значение для ядерных взрывов и землетрясений. Станция Талгар

Канал	Частота	Sn/Pg		Lg/Pg		Sn/Pn		Lg/Pn	
		Коэффициент качества разделения	Пороговое значение	Коэффициент качества разделения	Пороговое значение	Коэффициент качества разделения	Пороговое значение	Коэффициент качества разделения	Пороговое значение
E	0,6	0,55	0,80	1,52	1,32	0,45	1,34	0,89	2,03
E	1,25	0,17	0,46	0,31	1,09	0,32	1,12	0,43	1,51
E	2,5	0,58	0,22	0,74	0,70	1,22	0,66	1,33	1,22
E	5	1,23	-0,04	1,20	0,32	0,88	-0,05	1,02	0,32
N	0,6	-0,14	0,26	0,74	1,24	0,68	1,53	1,17	2,01
N	1,25	0,02	0,51	0,34	1,01	-0,09	0,67	0,27	1,36
N	2,5	0,36	0,39	0,66	0,66	0,55	0,67	0,89	0,96
N	5	1,47	0,11	0,90	0,56	1,24	0,20	1,15	0,39
Z	0,6	0,04	0,82	0,39	1,32	0,20	1,25	0,64	1,78
Z	1,25	-0,08	0,11	0,06	1,08	0,01	1,12	0,15	1,56
Z	2,5	0,89	0,13	0,72	0,54	1,14	0,53	1,14	0,86
Z	5	1,70	0,01	1,33	0,02	1,46	0,16	1,06	0,09

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данной работе предпринята попытка оценить возможность идентификации химических, ядерных взрывов и землетрясений, близких к СИП, в региональной зоне эпицентральных расстояний с целью получения критериев, позволяющих аналитикам Центра данных в интерактивном режиме производить распознавание сейсмических источников.

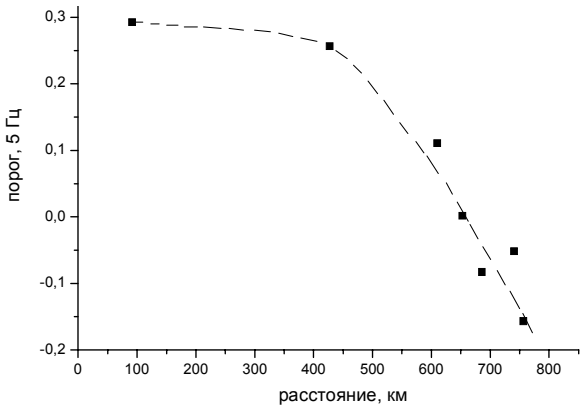


Рисунок 9. Зависимость порогового значения паоаметра Lg/Pg от среднего эпицентрального расстояния до Семипалатинского испытательного полигона. Фильтр 5.0 Гц, канал Z

Для всех рассматриваемых станций, разделение спектральных отношений наблюдается на высоких частотах. Такая же закономерность ранее выявлена для других полигонов Центральной и Южной Азии, таких как Лобнор, Похаран и Чагай [6-8]. Для станций MAKZ, KURK, расположенных в Восточном Казахстане, самых близких к рассматриваемому району, разделение спектральных отношений (S/P, Lg/Pg) наблюдается на частоте 5.0 Гц. Для станции BRVK, расположенной на Кокчетавском массиве, разделение параметров Lg/Pg, Sn/Pn, Lg/Pn наблюдается на той же частоте. И, наконец, для станции Талгар, расположенной на Северном Тянь-Шане, для которой анализ проведен как для химических, так и для ядерных взрывов, разделение спектральных отношений Lg/Pg, Sn/Pg, Lg/Pn, Sn/Pn наблюдается также на частоте 5.0 Гц.

Для этой частоты на рисунке 9 показана зависимость пороговых значений параметра Lg/Pg от среднего расстояния между станциями наблюдения и Семипалатинским испытательным полигоном (таблица 6).

Как видно из рисунка, с увеличением расстояния наблюдается нелинейное уменьшение порогового значения Lg/Pg .

Таблица 6. Пороговое значение параметра Lg/Pg для станций НЯЦ РК. Частота 5 Гц, канал Z

Станция	Пороговое значение Lg/Pg	Коэффициент качества разделения
KURK	0,29	1,23
MAKZ	0,26	1,07
VOS	0,11	1,24
BRVK	0,00	2,29
CHKZ	-0,08	1,00
ZRNK	-0,05	0,44
TLG	-0,16	2,49

Результаты исследований по распознаванию химических, ядерных взрывов и близких землетрясений на Семипалатинском испытательном полигоне, их согласованность с ранее полученными данными позволяют продолжать изучение критериев распознавания различных сейсмических источников для полигонов Центральной Азии с целью создания метода идентификации химических и ядерных взрывов в режиме реального времени, столь необходимого при сейсмическом мониторинге.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова Н.Н., Аристова И.Л., Германова Т.И. Годограф сейсмических волн по результатам регистации сигналов от химических взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. Вып. 2. – С. 46-54.
2. Халтурин В.И., Раутиан Т.Г., Ричардс П.Г. Химические взрывы периода 1961-1988 гг. на Семипалатинском испытательном полигоне//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2000. Вып. 2. - С. 41-43.
3. Беляшова Н.Н., Малахова М.Н. Сейсмологическая сеть Национального ядерного центра Республики Казахстан как составная часть международной системы мониторинга ядерных испытаний//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК - Курчатов: НЯЦ РК, 2000. Вып. 2. - С. 13-16.
4. Брулев Ю.В., Крылов Г.Г., Нерсесов И.Л. и др. Аппаратура для региональных сейсмических исследований//Инструментальные средства сейсмических наблюдений. Сейсмические приборы. - М.: Наука, 1980. - Вып. 13. - С. 138-153.
5. 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.
6. 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. - Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 65-77.
7. Соколова И.Н., Шепелев О.М. Особенности волновой структуры сейсмических записей подземных ядерных взрывов//Труды конференции-конкурса молодых ученых, 16-18 мая, 2000, Курчатов. - 2001. - С. 69-76.
8. Копничев Ю.Ф., Шепелев О.М., Соколова И.Н. Исследования по сейсмическому распознаванию подземных ядерных взрывов на полигоне Лобнор//Физика Земли. – 2001. - № 12. - С. 64-77.
9. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Сравнение калибровочных взрывов Омега-2 и Омега-3 по сейсмическим данным на региональных расстояниях//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. - С. 36-45.

ҚР ҰЯО СЕЙСМКАЛЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫ АУМАҒЫНДА СЕЙСМИКАЛЫҚ ОҚИҒАЛАРЫН АЙЫРЫП ТАНУ

[1] Соколова И.Н., [2] Мусин А.К., [1] Султанова Г.С.

[1]Геофизикалық зерттеулер институты
[2]ҚазҒЗИ Энергетика, Алматы қ

Мақалада Семей сынау полигонында химиялық, ядролық жарылыстар мен жақындағы жер сілкінулерін танып білу бойынша зерттеулердің нәтижелері келтірілген. ҚР ҰЯО сейсмикалық жүйесінің полигоннан аймақтық қашықтықта орналасқан – Курчатов, Мақаншы, Бурабай, Талғар станцияларымен алынған 1964-2001 ж.ж. кезендегі сейсмкалық жазбалары қолданылған. Lg/Pg, Sn/Pg, Sn/Pn, Lg/Pn спектрлі амплитудалық қатынастары зерттелген. Оқиғаларды танып білу ең нәтижелі критерийлерін анықтау мақсатымен жиілікті-уақыттық өрістердің талдауының нәтижелері келтірілген.

DISCRIMINATION OF SEISMIC SOURCES LOCATED ON THE TERRITORY OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE USING NNC RK SEISMIC STATION DATA

[1]I.N. Sokolova, [2]A.K. Mussin, [3]G.S. Sultanova

[1]Institute of Geophysical Research
[2]Kaz SRI of Energy

The work shows the results of research on discrimination of chemical and nuclear explosions and near earthquakes at the Semipalatinsk Test Site. The records for the period between 1964 and 2002 recorded by the NNC RK Kurchatov, Makanchi, Borovoye and Talgar seismic stations located at regional distances from the test site were used. The spectral amplitude ratios were studied: Lg/Pg, Sn/Pg, Sn/Pn, Lg/Pn. A detailed analysis of time-frequency fields was performed in order to reveal the most effective discrimination criteria.

УДК 596.551.510.535

ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ КОНТРОЛЕ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ ИОНОСФЕРНЫМ МЕТОДОМ

Краснов В.М., Дробжева Я.В., Соколова О.И.

Институт ионосферы МОН РК, г. Алматы

С использованием экспериментальных данных проведена проверка эффективности применения метода оптимальной фильтрации для ионосферного метода контроля за проведением подземных ядерных взрывов (ПЯВ). Для рассмотренных экспериментальных случаев уровень сигнала на выходе оптимального фильтра составил величину 0.6 - 0.93, а уровень шумов оказался ниже 0.5. Вероятность правильного обнаружения ПЯВ по экспериментальным примерам оценена как 100% при задании порога принятия решения выше 0.5.

Первостепенной задачей любого метода дистанционного мониторинга взрывов является их обнаружение и идентификация. При этом особенно важно разработать автоматизированные методы обнаружения «сигнала», позволяющие эффективно решать данную задачу в квазиреальном масштабе времени и независимо от квалификации обслуживающего персонала. Подобные задачи по обнаружению сигнала и аналогичные требования предъявляются к эксплуатации ряда систем радиосвязи и радиолокации [1]. Для них решение проблемы оказалось возможным благодаря использованию метода оптимальной фильтрации сигнала. Целью настоящей работы явилась проверка возможности использования метода оптимальной фильтрации для обнаружения «сигналов» от ПЯВ.

Метод оптимальной фильтрации реализуется с помощью оптимального приемника, который включает в себя корреляционное устройство и располагает копией сигнала на приемном конце:

$$R(\tau) = \int_0^T f_s(t) f_p(t-\tau) dt ,$$

где $f_s(t)$ – входной сигнал, $f_p(t)$ – копия сигнала, T-конечный временной интервал.

В нашем случае в качестве копии сигнала предлагается использовать ионосферный «портрет» взрыва, а именно: расчетную форму возмущения доплеровского сдвига частоты (f_d) для конкретной радиотрассы зондирования ионосферы над местом взрыва и в конкретных радио и геофизических условиях. Очевидно, что использование модельной формы в качестве опорного сигнала возможно только в том случае, когда адекватность модельных расчетов эксперименту достаточно высока.

Для решения задачи был создан программный комплекс, описывающий отклик доплеровской частоты на подземный ядерный взрыв. Он включает в себя следующие блоки:

1 - Блок расчета движения земной поверхности в откольной зоне.

2 - Блок расчета генерации откольной зоной акустического импульса.

3 - Блок расчета распространения инфразвука от поверхности земли до высот ионосферы.

4 - Блок расчета воздействия акустических импульсов на ионосферу.

5 - Блок расчета траекторий распространения радиоволн.

6 - Блок расчета воздействия ионосферных возмущений на доплеровский сдвиг частоты радиозондирующего сигнала.

7 - Блок расчета высотных профилей параметров атмосферы.

8 - Блок расчета высотных профилей ветра.

9 - Блок расчета высотных профилей электронной концентрации ионосферы.

Блок 1 был создан на основе следующих эмпирических формул [2].

Время прихода сейсмической волны от места взрыва до поверхности земли

$$t_0 = \sqrt{H^2 + r^2} / \alpha , \qquad (1)$$

где H- глубина заложения заряда, м; r – эпицентральное расстояние, м; α- скорость сейсмической волны, м/с.

Формула (1) хорошо удовлетворяет эксперименту при известных скоростях сейсмической волны.

Вертикальная скорость движения земной поверхности (м/с):

$$v_z = 455 \bar{R}^{-1.68} , \qquad (2)$$

где $\bar{R} = \frac{\sqrt{H^2 + r^2}}{\sqrt[3]{Q}}$, а Q - тинитротолуоловый эквивалент (ТНТ) в тоннах.

Численный коэффициент в формуле (2) может иметь другое значение для различных полигонов. Расчеты, выполненные по данной формуле, показали, что коэффициент корреляции с экспериментальными данными составляет 0.96 [2].

Время нарастания импульса (с):

$$t_n = 17.9 \bar{R}^{-0.2} . \qquad (3)$$

Формула (3) получена на наибольшей статистике [2]. Следует учесть, что в силу малой длительности

по сравнению с длительностью фазы сжатия данный параметр оказывает малое влияние на параметры излучаемого акустического импульса, поэтому неточности формулы несущественны.

Для расчета длительности фазы сжатия использована формула, описывающая закон баллистики при свободном полете тела в атмосфере, имеющем начальный импульс движения

$$t_+ = v_z(r)/g\,, \qquad (4)$$

где g - ускорение свободного падения, время в секундах.

На основе закона сохранения количества движения формулы (2-4) использованы и для описания отрицательной фазы импульса.

Для расчета радиальной границы откола использовано следующее условие: предельное минимальное значение вертикальной компоненты массовой скорости, при которой еще наблюдаются откольные явления, равно

$$V = 0.085 - 0.11 \text{ м/с}. \qquad (5)$$

Блок 2 выполнен на основе алгоритма численного решения интеграла Релея без каких-либо упрощений:

$$p(t) = \frac{\rho_0}{2\pi}\int \frac{a(t - L/c)}{L}\,dS\,,$$

где p – давление в акустическом импульсе, ρ_0 – фоновая плотность воздуха над местом взрыва, a – вертикальное ускорение движения единичного элемента площади откольной зоны, L – расстояние от элементарной площадки откольной зоны до точки наблюдения, c – скорость звука.

Точность расчетов акустических импульсов, генерируемых откольной зоной, проверена американскими учеными экспериментально [3]. Результаты расчета и эксперимента совпадают до деталей в пределах доверительного интервала ±25%. Это позволяет оценить диаграмму направленности ПЯВ как источника акустической энергии. В частности, на рисунке 1 представлены результаты расчета формы акустического импульса, генерируемого откольной зоной ПЯВ мощностью 15.427 ктн, при глубине заложения заряда 529 м для условий участка Балапан Семипалатинского испытательного полигона при различных зенитных углах выхода акустического луча. Видно, что с увеличением угла выхода происходит не только уменьшение амплитуды, но после 29° начинают преобладать высокочастотные составляющие (по периоду колебаний - сотые и десятые доли секунды) на порядок меньшие, чем огибающая. Учитывая, что инфразвук, распространяющийся на дальние расстояния, выходит под углом к зениту 30° и более, инфразвуковой мониторинг регистрирует именно высокочастотные сигналы от ПЯВ. При этом высокочастотные колебания при распространении в атмосфере ослабляются сильнее. В случае ионосферного метода, регистрация инфразвука ведется непосредственно над местом взрыва. Этим обеспечивается регистрация низкочастотных сигналов (единицы – десятки секунд), которые при распространении волн в атмосфере поглощаются в значительно меньшей степени.

Блоки 3-9. Физические модели, реализованные в блоках 3-9, детально описаны в [4], поэтому здесь остановимся только на некоторых особенностях их использования в приложении к ПЯВ. Прежде всего, в [4] описана модель воздействия точечного источника акустической энергии на ионосферу. Принципиальное отличие точечного источника от ПЯВ заключается в форме диаграммы направленности излучения энергии. Для точечного источника, расположенного на земле, она имеет вид полусферы, а для ПЯВ излучаемая энергия сосредоточена в узком лепестке, направленном вертикально вверх. Очевидно, что при ПЯВ, для каждого конкретного угла выхода акустической энергии можно найти точечный источник, эквивалентный по мощности излучения. Был разработан алгоритм именно с учетом такого подхода, что позволило описать распространение акустической волны и ее воздействие на ионосферу для конкретного угла выхода акустического луча.

Проверка программного комплекса, соответствующих моделей и алгоритмов проведена с использованием экспериментальных данных, полученных во время проведения 9 ПЯВ на Семипалатинском испытательном полигоне. В качестве примера рассмотрим использование данных Советско-Американского калибровочного взрыва. Совместный Советско-Американский эксперимент был проведен 14 сентября 1988 г. в 04:00:00 UT. Мощность подземного ядерного взрыва составила по данным Института геофизических исследований НЯЦ РК – 108 ктн; глубина заложения заряда - 642 м. Доплеровское радиозондирование ионосферы проведено одновременно на нескольких радиотрассах: Курчатов - Саржал (частоты зондирования 7.708 МГц и 4.918 МГц), Кайнар - Семипалатинск (частота зондирования 7.812 МГц).

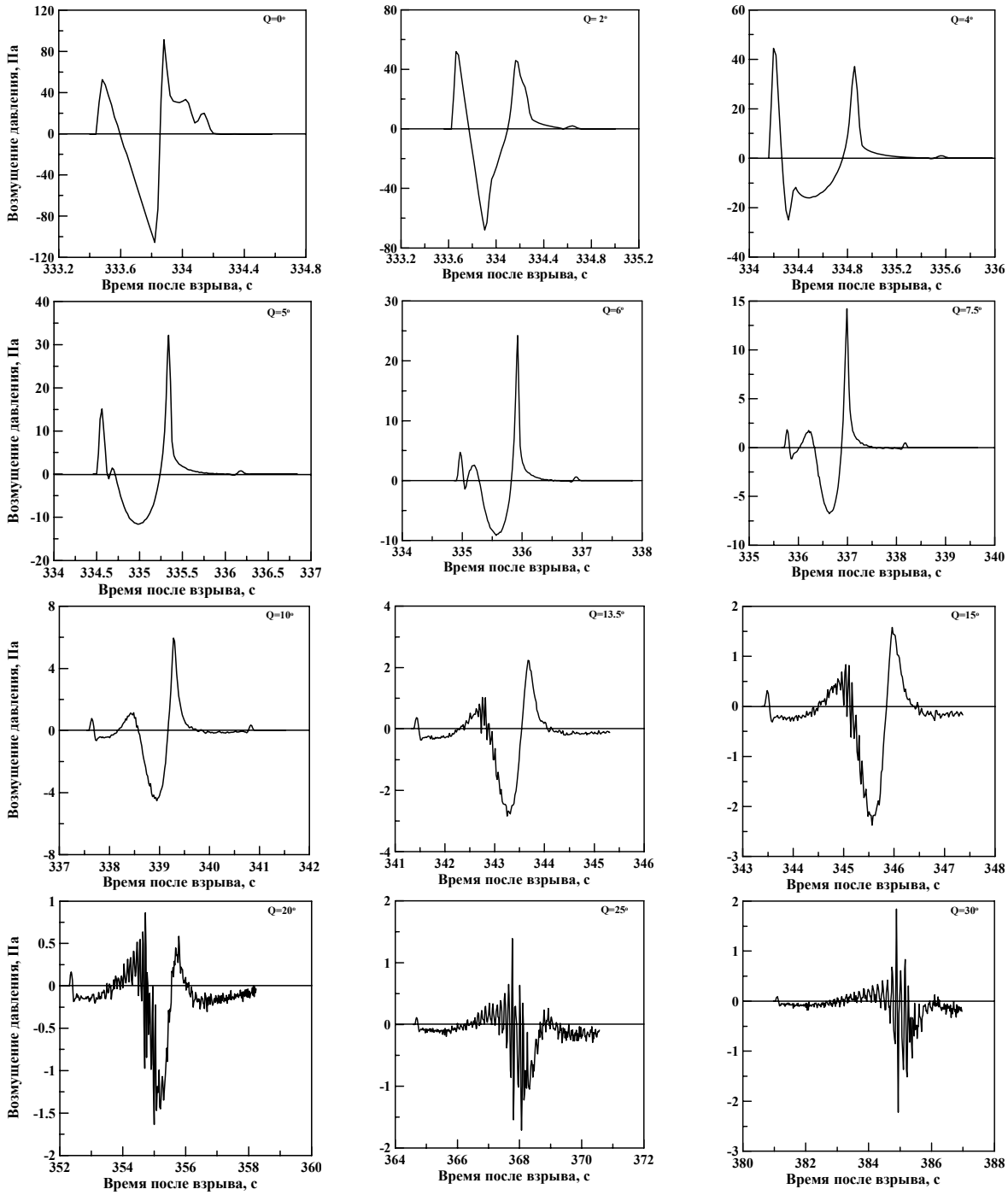
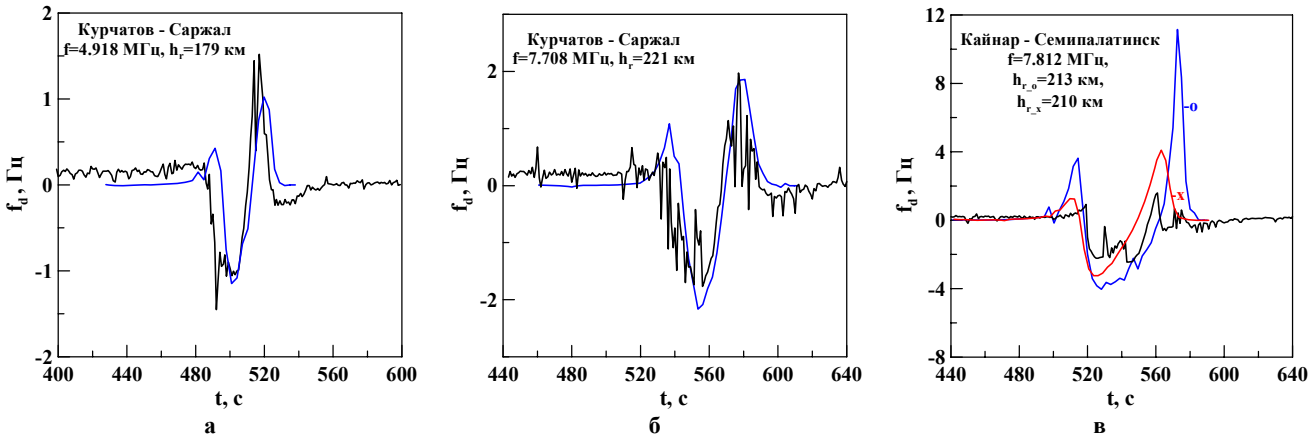


Рисунок 1. Форма акустических возмущений от подземного ядерного взрыва при различных углоах выхода акустического луча (Q)

На рисунке 2 приведены экспериментальные записи и результаты расчета: на рисунках 2а и 2б - для обыкновенной радиоволны, на рисунке 2в – для обыкновенной (о) и необыкновенной (х) радиоволн. Здесь же показана высота отражения радиоволн - h_r, с которой проводилось «наблюдение» за взрывом. Коэффициент взаимной корреляции между расчетными и экспериментальными кривыми составил 0.83 - для кривых на рисунке 2а, 0.8 - для кривых на рисунке 2б, 0.61 - для обыкновенной радиоволны и 0.68 - для необыкновенной радиоволны, на рисунке 2в. Уменьшение коэффициента корреляции для случая, приведенного на рисунке 2в, обусловлен тем, что высоты отражения обыкновенной и необыкновенной радиоволн для этой радиотрассы мало отличались между собой (разность высот составила 3 км), в результате чего возмущение доплеровской частоты проявилось на экспериментальной записи практически одновременно для обоих типов волн, что привело к интерференционной картине (разработанная модель расчетов не учитывает интерференционные эффекты).



Цвет: черный – эксперимент, синий и красный – расчет.

Рисунок 2. Расчетные кривые и экспериментальные записи доплеровского сдвига частоты для подземного ядерного взрыва во время Советско-Американского эксперимента 14 сентября 1988 г.

Значение коэффициента корреляции между экспериментальными и теоретическими «портретами» для других подземных ядерных взрывов изменялось от 0.6 до 0.93. Ошибка расчета времени прихода «сигнала» от взрыва не превысила 3%. Столь хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных позволяет считать, что разработанная физическая модель и программный комплекс адекватно описывают рассматриваемые физические явления. Это позволило реализовать оптимальную фильтрацию «сигналов» от ПЯВ. На рисунках 3а, б приведены примеры сигналов с шумами, полученные на трассах 167 и 182 км, а на рисунках 3в, г - результаты применения к ним метода оптимальной фильтрации.

Видно, что в рассмотренных случаях оптимальная фильтрация существенно подавляет шумы, и амплитуда сигнала на выходе оптимального фильтра значительно превышает шумы. Если в приведенных примерах задать порог принятия решения, равным 0.4, то вероятность правильного обнаружения сигналов будет равняться 100%.

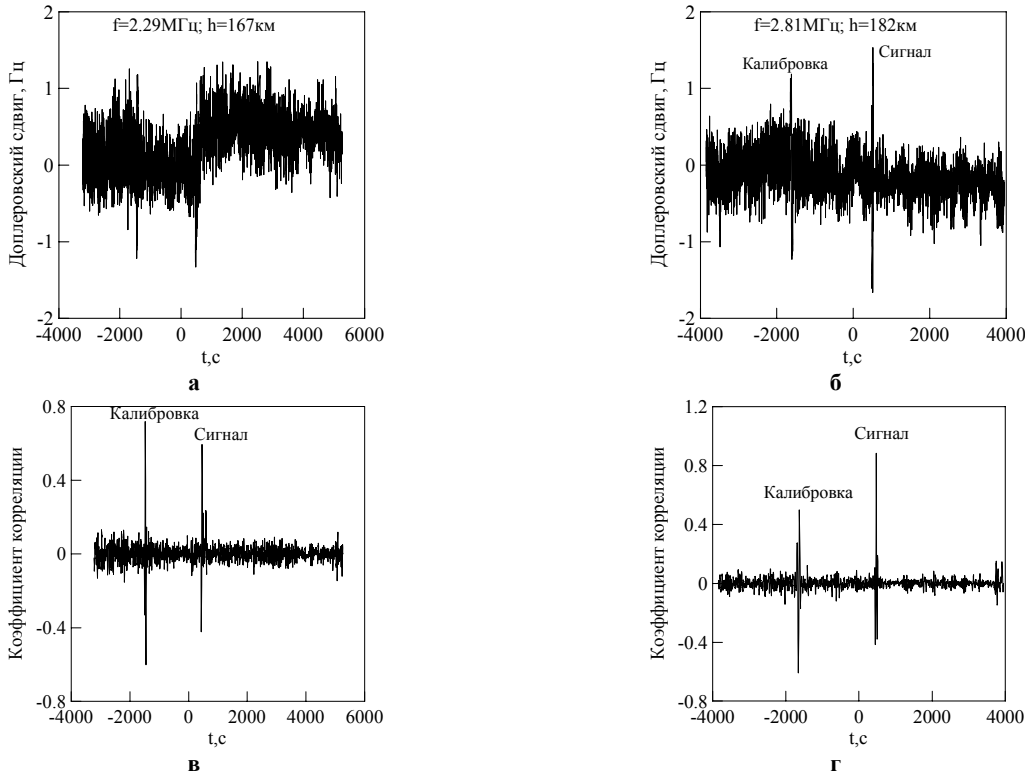


Рисунок 3. Примеры сигналов и шумов на входе (а, б) и выходе (в, г) оптимального фильтра

Аналогичная проверка результативности метода оптимальной фильтрации проведена применительно к записям 9 других ПЯВ, проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне. Для них уровень сигнала на выходе оптимального фильтра составил величину от 0.6 до 0.93, а уровень шумов соответствовал значениям, меньше 0.5. В этой связи, при задании порога принятия решения об обнаружении ПЯВ, равного 0.5, вероятность правильного обнаружения взрывов составила бы 100%.

Таким образом, экспериментально показано, что оптимальная фильтрация может быть использована достаточно эффективно для обнаружения взрывов при ионосферном методе их контроля. На практике, заранее могут быть известны время, трасса и частота радиозондирования ионосферы. На основе этих данных и фоновых параметров атмосферы - ионосферы (рассчитанных, например, исходя из моделей) можно заранее рассчитатьнабор доплеровских «портретов взрывов» различной мощности. Не представляется сложным также исследовать для данной трассы функции распределения шумов на выходе оптимального фильтра с учетом различных «портретов взрывов» и различного времени суток и сезона. Далее, на этой основе может быть выбран порог принятия решения для каждого опорного сигнала. Это позволит в последующем решать задачу обнаружения взрыва автоматически – с помощью метода оптимальной фильтрации сигналов в квазиреальном масштабе времени.

Литература

1. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Советское радио, 1966. - 700с.
2. Бригадин И. В., Лойко В.Н., Рудницкий И.А., Сорокина Е.В. Параметры движения дневной поверхности грунта в зоне откольных явлений//Материалы Межведомственной научной конференции. - М., 1990.- С. 30-46.
3. Banister and W.V. Hereford. Observed High-Altitude Pressure Waves From an Underground and a Surface Explosion// Jounal of Geophysical Research. – 1991. - Vol. 96, No. D3. - Pp. 5185-5193.
4. Drobzheva Ya.V., V.M. Krasnov The Acoustic Field in the Atmosphere and Ionosphere Caused by a Point Explosion on the Ground//Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. - 2003. - Vol. 65. Issue 3. - Pp. 369-377.

ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ СЫНАУЛАРДЫ ИОНОСФЕРЛІК ӘДІСПЕН БАҚЫЛАУЫНДА ОҢТАЙЛЫ СҮЗУ ӘДІСІНІҢ ТИІМДІЛІГІН ТЕКСЕРУ

Краснов В.М., Дробжева Я.В., Соколова О.И.

ҚР БҒМ Ионосфера институты, Алматы қ

Эксперименталды деректерін қолданып, жер астындағы ядролық сынауларын өткізуін бақылауында ионосферлік әдісі үшін оңтайлы сүзу әдісін қолдану тиімділігі тексерілген. Қаралған оқиғаларға оңтайлы сүзгінің шығысында сигнал деңгейі 0,6-0,93 мөлшерінде болды, ал шулар деңгейі 0,5 төмен болды. Шешім қабылдау табалдырығын 0,5 жоғары қойғанда, жер астындағы ядролық жарылыстарын дұрыс табу ықтималы 100% ретінде бағаланды.

EFFICIENCY CHECKING OF OPTIMUM FILTARING METHOD FOR MONITORING UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS BY IONOSPHERIC METHOD

V.M. Krasnov, Ya.V. Drobzheva, O.I. Sokolova

Institute of Ionosphere, MSE RK, Almaty

With use of experimental data, we have checked efficiency of an optimum filtrating method for monitoring underground nuclear explosions (UNE) by an ionospheric method. In the cases of interest the level of signal at the output of optimum filter was in the range of 0.6 to 0.93, and the level of noises was below 0.5. The probability of accurate detection of UNE was assessed as 100%, when the level of decision threshold was higher than 0.5.

УДК 550.34:541.126

СОПОСТАВЛЕНИЕ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ ВИБРАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ И КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ СЕРИИ ОМЕГА

Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск

В статье рассматриваются результаты спектрально-временного анализа сейсмограмм, полученных во время проведения калибровочных взрывов серии Омега в горном массиве Дегелен (Семипалатинский испытательный полигон) и зарегистрированных как на вибросейсмическом полигоне Быстровка (Омега-1, -2), так и на профиле «Дегелен-Быстровка» (Омега-3). Рассматриваются также спектрально-временные характеристики вибрационных сейсмограмм для профиля «Дегелен-Быстровка». Сделано заключение о взаимности волновых полей взрывов и мощных вибраторов на основе сравнения наиболее сильных групп волн на полевых и синтезированных сейсмограммах.

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗРЫВОВ СЕРИИ ОМЕГА

Для изучения характеристик взрывных и вибрационных сейсмограмм были разработаны программы спектрально-временного анализа, основанные на определении текущего спектра сейсмограммы в скользящем временном окне. В качестве временного окна применялось окно Хэмминга, которое позволяет сосредоточить более 90% энергии в главном спектральном лепестке и обеспечивает подавление максимумов боковых лепестков на 40 дБ относительно главного максимума. Ширина окна варьировалась от 2 с до 10 с, что обеспечивало различную детальность спектрально-временных характеристик - от 0.1 Гц до 0.5 Гц. Временные спектры взрывов анализировались в полосе частот 1–11 Гц, которая соответствует полосе частот регистрирующих комплексов ВИРС-М, ВИРС-К и РОСА. Именно эти комплексы использовались при регистрации взрывов и вибросейсмических полей. Длительность сейсмограмм составляла 200 с для удаления от источника (L) - 150–300 км и 250 с - для удаления от источника 600 км.

С использованием программ спектрально-временного анализа обработаны трехкомпонентные сейсмограммы калибровочных взрывов Омега -1, 2, 3, зарегистрированные на Быстровском вибросейсмическом полигоне в Новосибирской области системами ВИРС и КРОСС-РС (удаление от Семипалатинского испытательного полигона 620 км). На временных спектрограммах (рисунок 1) визуально хорошо выделяются основные типы волн от взрывов, определяется их частотный состав, а также - особенности характеристик отдельных взрывов в спектрально временной области. Для всех взрывов серии Омега выделены вступления продольных волн P_n и P_g на 84.8 секунде и 95.4 секунде, соответственно, вступление волны S_n на 147 с и вступление группы волн S и L_g после 168.5 с.

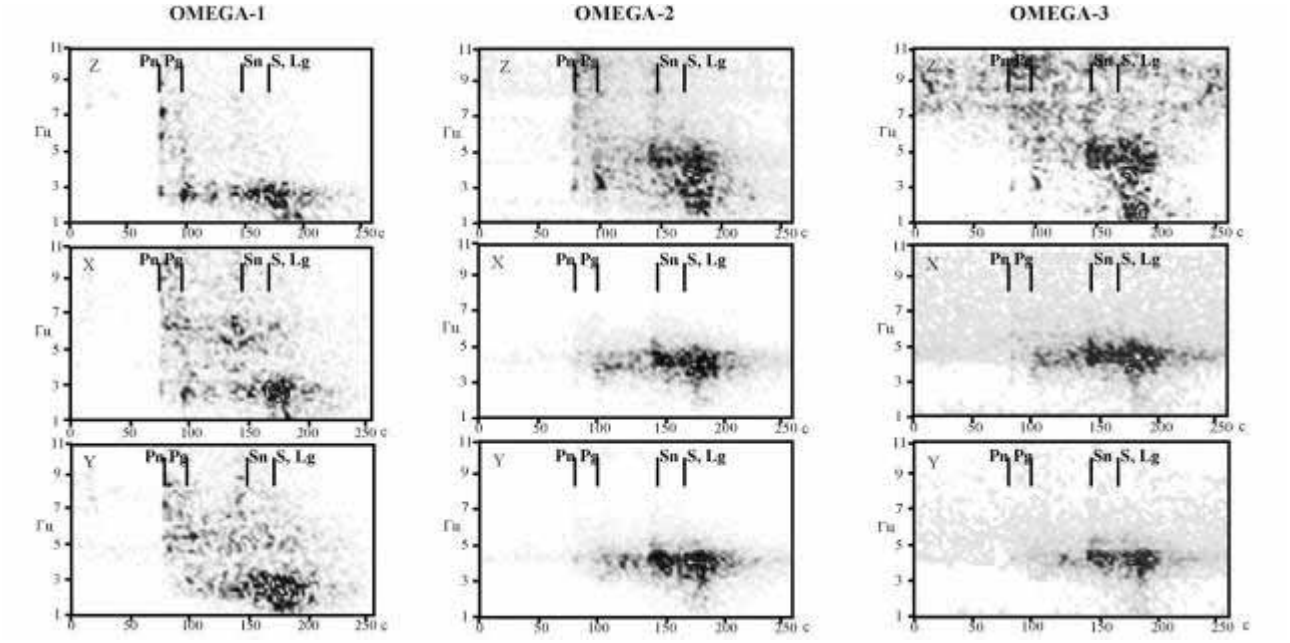


Рисунок 1. Спектрограммы калибровочных взрывов Омега - 1, 2, 3. Регистрация системой ВИРС, п. Быстровка, L=620 км

Спектрально-временные характеристики взрывов серии Омега отличаются друг от друга. У взрыва Омега-1, проведенного в закрытой штольне на глубине 146 м от поверхности, волна P_n занимает полосу частот от 2.5 до 10 Гц, волна P_g имеет меньший частотный диапазон - 2.5–7 Гц с ярко выраженным максимумом в районе частоты 2.5 Гц. Волна S_n видна на X и Y компонентах в частотном диапазоне 2–7 Гц. Группы волн S и L_g занимают частотный диапазон 1–3 Гц на всех компонентах. В целом, для всех волн от взрыва Омега-1 прослеживается максимум спектральных составляющих - в диапазоне 2–3 Гц для Z-компоненты, 1–3 Гц и 5–6 Гц для X-, Y- компонент, соответственно.

Калибровочный взрыв Омега-2 проведен в открытой штольне вблизи дневной поверхности, а следующий взрыв Омега-3 проведен в непосредственной близости, т.е. в породах, разрушенных предшествующим калибровочным взрывом. Спектральные характеристики этих взрывов, зарегистрированных на Быстровском полигоне, оказались полностью идентичными, несмотря на то, что сейсмические волны от последнего калибровочного взрыва имели значительно меньшую интенсивность. Волна P_n занимает полосу частот от 3 до 11 Гц, волна P_g - меньший частотный диапазон, 3–7 Гц с максимумом в районе 3 Гц. Волна S_n видна на всех компонентах и имеет максимум в диапазоне частот 4–5 Гц. Группы волн S и L_g занимают частотный диапазон 1–5 Гц на Z-компоненте и 3–5 Гц на X-, Y- компонентах.

Как можно видеть из проведенного анализа, для калибровочных взрывов Омега-2, Омега-3 характерен более высокочастотный состав всех типов волн по сравнению с калибровочным взрывом Омега-1 и иной вид спектрально-временных диаграмм. Особенно выделяется смещение максимума спектра волн S_n, S и L_g - диапазон 4–5 Гц, по сравнению с частотой 2.5 Гц для взрыва Омега-1.

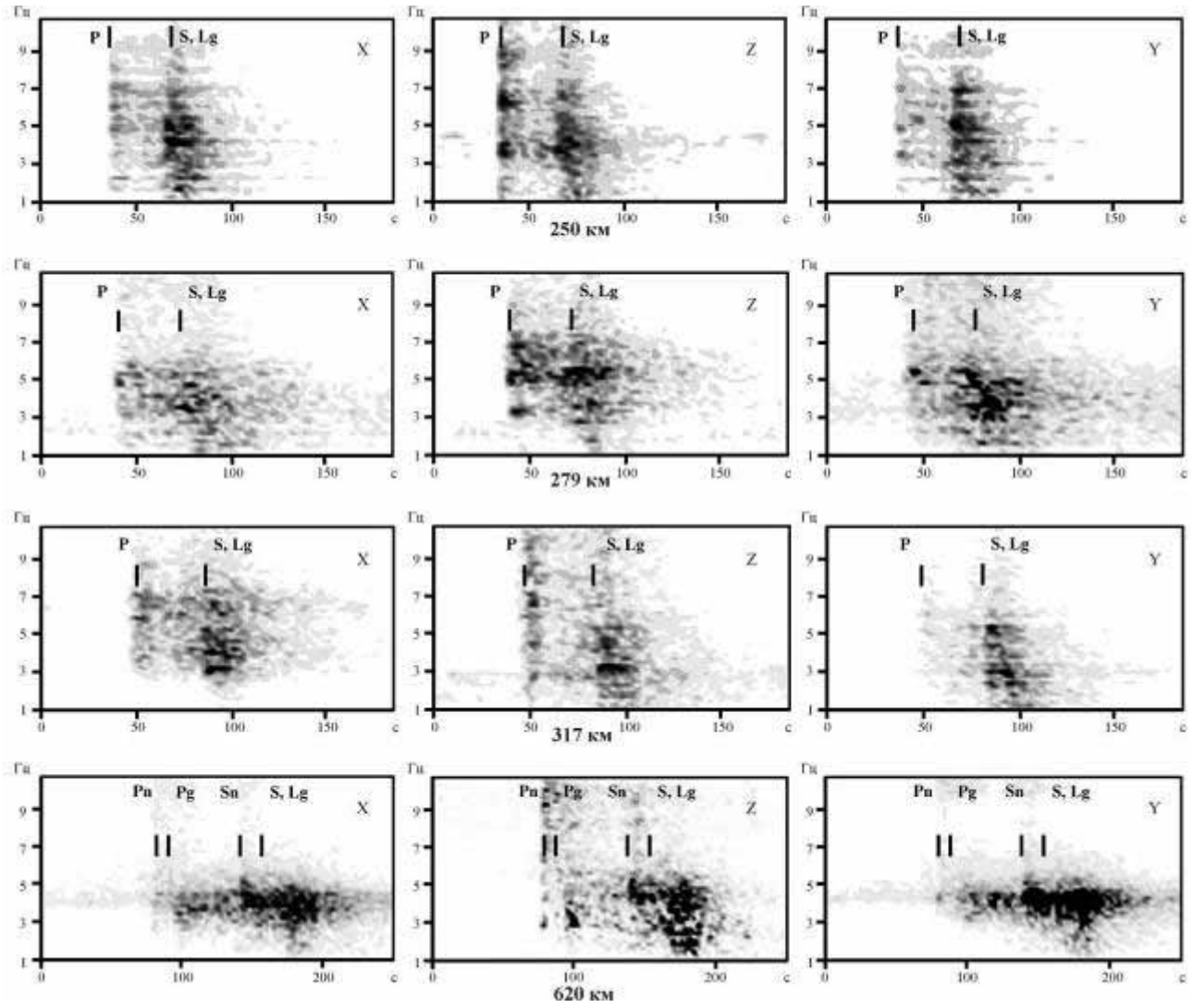


Рисунок 2. Спектрограммы калибровочного взрыва Омега-3 на профиле «Дегелен-Быстровка». Регистрация системой ВИРС при L=250 км, КРОСС-РС при L=279 км, РОСА при L=317 км, ВИРС-К при L=620 км

При проведении калибровочного взрыва Омега-3 в различных точках профиля Дегелен-Быстровка комплексами ВИРС, КРОСС-РС и РОСА зарегистрированы сейсмограммы, для которых также выполнен спектрально-временной анализ (рисунок 2). Группы волн, которые соответствуют продольным волнам P_n, P_g и поперечным волнам S_n, S, L_g выделяются на всех спектрограммах. Волна P_n, на расстояниях 250 км, 279 км и 317 км от места взрыва имеет времена вступления 40 с, 43 с и 48 с, соответственно, и иа временных спектрограммах проявляется в составе единой группы P_n, P_g, поскольку времена прихода волн для этих расстояний отличаются на 2–4 с и во временном окне спектрограммы, равном 10 с, не разделяются. Разделение этих волн становится заметным на расстоянии 620 км, когда разность времен прихода достигает 12 с. Наиболее отчетливо волны P_n, P_g регистрируются на Z-компоненте сейсмоприемников, менее отчетливо на X-компоненте при расстояниях до 317 км и слабо на компоненте Y. Частотный диапазон этих волн - 1–11 Гц для всех расстояний. На расстояниях 250 км и 279 км видна модуляция спектра продольных волн с периодом приблизительно 2 Гц (максимумы на 4, 6, 8 Гц для 250 км и 3.5, 5.5, 7 Гц для 279 км). На расстояниях 317 км и 620 км модуляция спектра продольных волн не наблюдается.

Поперечные волны занимают меньший частотный диапазон, чем продольные, который, кроме того, становится несколько уже с увеличением расстояния - от 1–7 Гц на расстоянии 250 км до 1–4 Гц на расстоянии 620 км. На расстояниях 317 км и 620 км отчетливо проявляется вступление волны S_n на 83 с и 147 с, соответственно. Эта волна, в отличие от последующих волн S, L_g, имеет широкополосный спектр, аналогичный волнам P_n, P_g (1–11 Гц), хотя и имеет меньшую амплитуду. Волны S, L_g и следующие за ними поверхностные волны с увеличением расстояния характеризуются смещением максимума спектра в область низких частот - до 1 Гц и ниже на расстоянии 620 км. Поперечные волы отчетливо проявляются на всех компонентах - X, Y, Z.

Спектрально-временные характеристики вибрационных сейсмограмм

Вибрационные сейсмограммы, при регистрации их по профилю, были получены на удалении 28 - 371 км от вибраторов. Спектрально временной анализ проведен для вибрационных сейсмограмм, полученных на расстояниях от 156 км до 371 км, имеющих наибольшее значение для задач калибровки.

Вид временных спектрограмм для вибрационных источников имеет ряд отличий от спектрограмм, полученных для взрывов, что связано с особенностями вибраторов как источников сейсмических волн. Так, в отличие от взрывов, мощные вибрационные источники имеют более узкий частотный диапазон, который четко ограничен параметрами излученного сигнала.

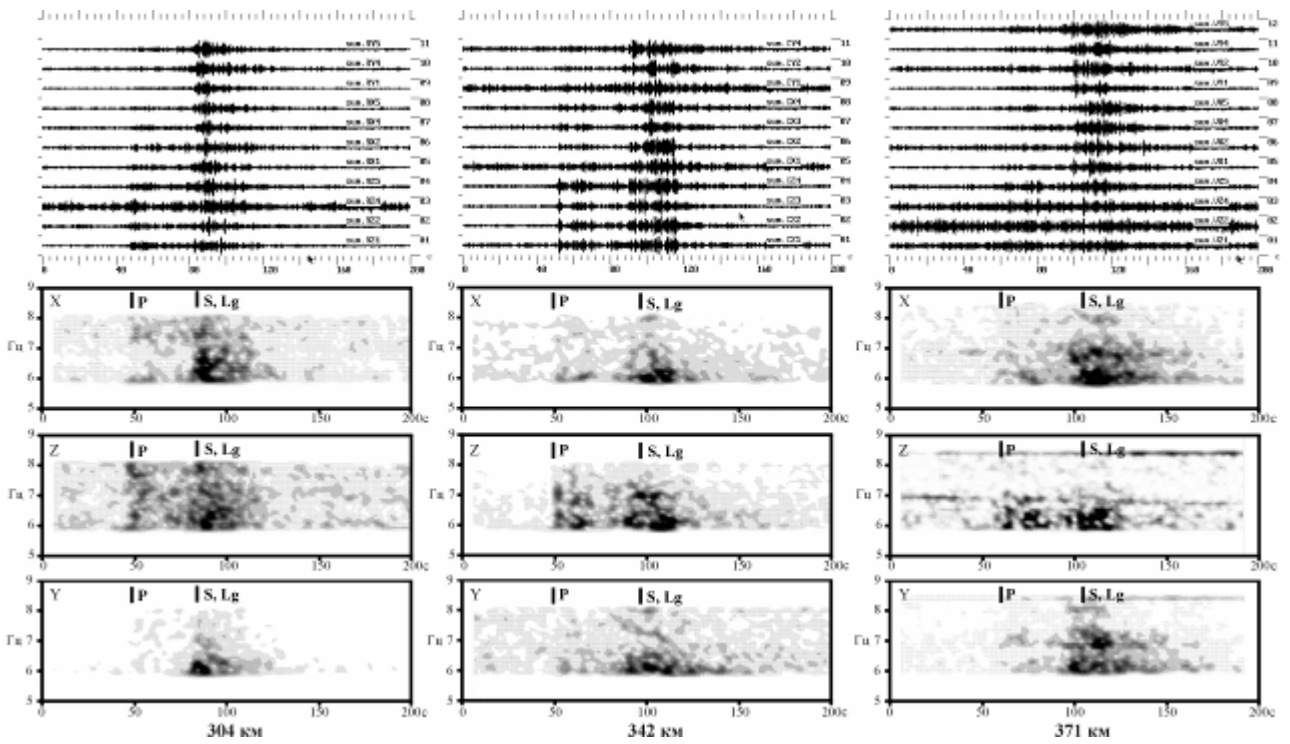


Рисунок 3. Вибрационные сейсмограммы и спектрограммы. Вибратор ЦВ-100, свип-14, 5.85-8.0 Гц. Регистрация системами РОСА при L=304 км, КРОСС-РС при L=342 км и ВИРС-М при L=371 км

Сейсмические волны представляются на вибрационных сейсмограммах в виде автокорреляционных функций излученных свип-сигналов, которые являются нуль-фазовыми. Поэтому временам прихода волн на вибрационных сейсмограммах соответствуют максимумы цугов колебаний и максимумы в спектрах на спектрограммах. Это отличает их от сейсмограмм и спектрограмм, полученных при взрывах, где время прихода волны определяется по началу соответствующего цуга колебаний. Вибрационные источники позволяют многократно повторять сеансы излучения и суммировать получаемые идентичные сейсмограммы для увеличения отношения сигнал/шум.

При встречной регистрации калибровочного взрыва Омега-3 и вибратора ЦВ-100 на профиле «Дегелен-Быстровка» были изучены вибрационные сейсмограммы и спектрограммы для трех точек профиля - на расстояниях 304 км, 342 км, 371 км (рисунок 3). В качестве зондирующего сигнала использовался свип-сигнал с линейной разверткой частоты в частотном диапазоном 5.85–8.0 Гц. Первые вступления продольных P-волн хорошо проявляются на Z-компоненте, слабее на X-компоненте и почти не видны на поперечной Y-компоненте. Они занимают полосу частот 6–8 Гц на спектрограммах, полученных на расстоянии 304 км, 6–7.5 Гц - на расстоянии 342 км и 6-7 Гц - на расстоянии 371 км.

В группе продольных волн хорошо выделяются коровые волны во временном промежутке 15–20 с после первого вступления (особенно отчетливо на Z-компоненте для расстояний 342 км и 371 км).

Группа поперечных S-волн проявляется на всех компонентах, но более четко их вступление прослеживается на горизонтальных компонентах - X и, особенно, Y. Частотный диапазон группы S-волн изменяется от 6–8 Гц на Z-, X- компонентах при расстоянии 304 км до 6–7 Гц при расстояниях 342 км и 371 км. Частотный диапазон S-волн на Y-компоненте несколько ниже - от 6–6.5 Гц до 6–7 Гц при различных расстояниях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ О ВЗАИМНОСТИ ВЗРЫВОВ И ВИБРАТОРОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ КАЛИБРОВКИ СТАНЦИЙ МСМ

Характер группы продольных волн, который виден на экспериментальных сейсмограммах, хорошо согласуется с модельными расчетами, выполненными для профиля «Дегелен-Быстровка». Точкам регистрации на расстояниях 304 км, 342 км, 371 км от вибратора (на полигоне Быстровка) соответствуют теоретические сейсмограммы 620321, 620284 и 620254. В принятых обозначениях первые три цифры - это расстояние по профилю от масссива Дегелен до вибратора — 620 км, вторые три цифры – встречное расстояние точки регистрации от места взрыва на масссиве Дегелен. На этих сейсмограммах продольные волны представлены группой коровых преломленно-отраженных волн длительностью 12–18 с , начиная с первого вступления. Далее следует группа поперечных волн, времена вступлений которых также согласуются с экспериментальными сейсмограммами и спектрограммами.

В целом, согласие имеется в главном – в структуре первой группы волн (первые с 5–10 с). Аналогичные сопоставления с определением природы зарегистрированных волн можно сделать и на других временах.

Следует отметить, что структура земной коры на профиле «Дегелен–Быстровка» пока определена довольно грубо с использованием сейсмологических данных и данных ГСЗ (DSS) по разобщенным профилям, выполненным в разные годы. Накопленные эмпирические сейсмограммы позволяют путем подбора моделей уточнить строение земной коры. Для целей калибровки важно было сравнить вибрационные сейсмограммы с расчетными и определить степень схожести структуры волн в первых группах. Сравнение первых групп волн в пределах первых 10–15 с показывает во всех случаях качественное сходство структур этих групп. Имеющиеся расхождения времен вступления волн в структурах групп можно отнести к ошибкам в скоростях волн и к небольшим неточностям в определении отдельных границ в земной коре. За счет подбора скоростей и слоев модель.можно будет уточнить.

Таким образом, качественное сопоставление сейсмограмм от взрывов и от вибраторов с расчетными сейсмограммами показывает их неплохую сходимость. Это означает, что начальная часть сейсмограмм от взрывов и от виброисточников на одинаковых расстояниях по структуре первых групп волн совпадает, и выпадение волн из первых вступлений не происходит. Этот вывод относится к сейсмограммам как от взрывов, так и от виброисточников (для рассмотренных условий регистрации) и является основным результатом проведенного анализа структуры и времен прихода волн в первых вступлениях.

Из вышесказанного следует, что волновые поля мощных вибросейсмических вибраторов эквивалентны калибровочным сейсмическим взрывам по кинематическим характеристикам и, следовательно, могут быть применены для калибровки сети станций Международной системы мониторинга.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 03-05-64292, 03-05-64292 и МНТЦ № 1067.

ДІРІЛДЕТКІШ КӨЗДЕРІНІҢ ЖӘНЕ ОМЕГА СЕРИЯСЫНЫҢ КАЛИБРЛЕУ ЖАРЫЛЫСТАРЫНЫҢ ТОЛҚЫНДЫҚ ӨРІСТЕРІН САЛЫСТЫРУЫ

Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В.

РҒА СБ Есептеуіш Математика және Математикалық геофизика институты, Новосибирск

Мақалада, Дегелен тау массивінде өткізілген Омега сериясының калибрлеу жарылыстарын өткізгенде алынған және дірілсейсмикалық Быстровка полигонында (Омега-1,2), сондай-ақ Дегелен-Быстровка кескінінде (Омега-3) тіркелген сейсмограммалардың спектрлі-уақытты талдауының нәтижелері қаралған. Сондай-ақ, Дегелен-Быстровка кескініне (Омега-3) дірілдеткіш сейсмограммалардың спектрлі-уақытты сипаттамалары келтірілген. Салыстыру негізінде жарылыстар мен қуатты дірілдіткіштердің толқындық өрістерінің өзаралығы туралы қорытындысы жасалған.

COMPARISON OF WAVE FIELDS OF VIBRATIONAL SOURCES AND CALIBRATION EXPLOSIONS OF OMEGA TEST SERIES

A.S. Alekseev, B.M. Glinsky, V.V. Kovalevsky

Institute of Computational Mathematics & Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk

The results of spectral-temporal analysis of seismograms obtained during a series of high explosive calibration experiments that were conducted in the Degelen Mountain Massif and recorded at the Bystrovka vibroseismic test site (Omega 1 and 2) and Degelen-Bystrovka profile (Omega-3) are considered in this paper. Also, spectral-temporal characteristics of vibrational seismograms for the Omega-3 profile are discussed. Conclusion about the reciprocity of wave fields of explosions and powerful vibrators is made by comparing the strongest wave groups of field seismograms with synthesized seismograms.

УДК 550.34:622.235(571.5)

ОПЫТ РЕГИСТРАЦИИ КАРЬЕРНЫХ ВЗРЫВОВ КУЗБАССА

Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск

В статье представлены методика сейсмической регистрации и результаты спектрально-временного анализа записей промышленных взрывов в карьерах Кузбасса, полученные по профилям в направлении полигона Быстровка. Приведены трехкомпонентные сейсмограммы и соответствующие им спектрально-временные характеристики взрывов, произведенных в карьерах Кедровский, Вачрушевский, Талдинский, Калтанский и Бачацкий, на расстоянии 197-334 км.

Экспериментры по регистрации взрывов в карьерах

Применение методов вибрационной калибровки предполагает проведение теоретических и экспериментальных исследований по двум основным направлениям: анализ эквивалентности волновых полей от взрывов и вибраторов на заданных трассах распространения сейсмических волн; исследование возможностей учета азимутальных неоднородностей среды на основе измерения кинематических характеристик с использованием мощных вибрационных источников.

По первому направлению проведены экспериментальные работы, в основу которых положен принцип взаимности в схеме «излучатель-приемник». В одном случае, в качестве источников излучения были выбраны карьерные взрывы, которые проводятся на открытых угольных разрезах Кемеровской области. В другом случае, в качестве источника сейсмических колебаний выбран центробежный вибратор ЦВ-100, находящийся на полигоне Быстровка. Для оценивания эквивалентности взрывных и вибрационных сейсмограмм излучатель и приемник, в соответствии с принципом взаимности, менялись местами. При этом пункты регистрации вибросейсмических колебаний выбирались на некотором удалении от угольных разрезов, для ухода от высокого уровня технологических шумов в карьерах.

Методика проведения работ

Выбранные для эксперимента разрезы располагались по отношению к пунктам регистрации в различных азимутальных направлениях - в пределах 58–270 град., и на различном расстоянии – 130 – 334 км. В соответствии с разработанной методикой взрывы регистрировались как в непосредственной близости от их эпицентров в карьерах (в пределах зоны безопасности), так и на вибросейсмическом полигоне Быстровка. Кроме этих пунктов, регистрация проводилась в промежуточных пунктах, расположенных на трассе «Угольный разрез — полигон Быстровка».

На полигоне Быстровка регистрация осуществлялась с использованием комплекса ВИРС-М. В состав комплекса входят 5 сейсмических датчиков типа СК1-П, располагавшихся на линейном профиле с общей базой 800 м и с шагом 200 м. Линейный профиль ориентировался по азимуту на взрыв. В состав регистрирующего комплекса Байкал, также базирующегося на полигоне Быстровка, входит скважинный трехкомпонентный сейсмоприёмник, имеющий параметры, аналогичные характеристикам сейсмодатчика СК1-П. Сейсмический приемник располагался на глубине 100 м.

Для регистрации взрывов в местах их проведения использовались комплексы РОСА-Н, РОСА-Д. В промежуточных пунктах применялись комплексы ВИРС-К, РОСА-Д. Регистрирующие комплексы располагались в пределах безопасной зоны — на расстоянии 600÷800 м от эпицентра взрыва. При этом линия расположения сейсмических датчиков ориентировалась на эпицентр. Кроме сейсмических приёмников, для регистрации акустического сигнала, распространяющегося от взрыва вдоль поверхности Земли по воздуху, использовался гидрофон с коэффициентом преобразования 200 мкВ/Па. Профильная расстановка сейсмических приемников позволяла по первому вступлению определять скорость распространения сейсмической волны вдоль профиля, а также абсолютное время первого вступления на сейсмических приемниках и акустическом датчике.

Записи сигналов от взрывов, произведенных в угольных разрезах, на полигоне Быстровка и в промежуточных пунктах были синхронизированы между собой по сигналам GPS. Временная синхронизация осуществлялась с точностью не хуже ±0.1 мс. Это позволило интерпретировать времена пробега волн от взрыва с высокой степенью точности.

Схема профильной регистрации сигналов от взрывов позволяла определять, кроме того, направление на источник методом регулируемого направленного приема (РНП). Селекция волн по времени и направлению прихода волн позволила правильно идентифицировать источник при приеме на полигоне Быстровка сейсмических сигналов от взрывов.

По принятой методике было зарегистрировано значительное количество карьерных взрывов в промежуточных точках на разных траверсах между карьерами (разрезами) Кузбасса и пунктом регистрации на полигоне Быстровка. Введение дополнительных пунктов наблюдения преследовало цель уточнения скоростных характеристик геологической

среды по определенным азимутальным направлениям. Согласно общей схеме проведения работ эти пункты базировались в Новосибирской области и располагались вблизи населенных пунктов Степной, Маяк, Евсино, Огнева заимка, Лебедево.

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРЬЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

В результате регистрации карьерных взрывов Кузбасса, поведенных на полигоне Быстровка, на профилях и промежуточных пунктах получены сейсмограммы, по которым измерены кинематические характеристики основных типов волн P, S. Проведен спектрально-временной анализ сейсмограмм. На рисунке 1 представлены трехкомпонентные сейсмограммы и соответствующие им трехкомпонентные временные спектрограммы взрывов в карьерах Кедровский, Вахрушевский, Талдинский, зарегистрированные на удалении (L) 219–297 км

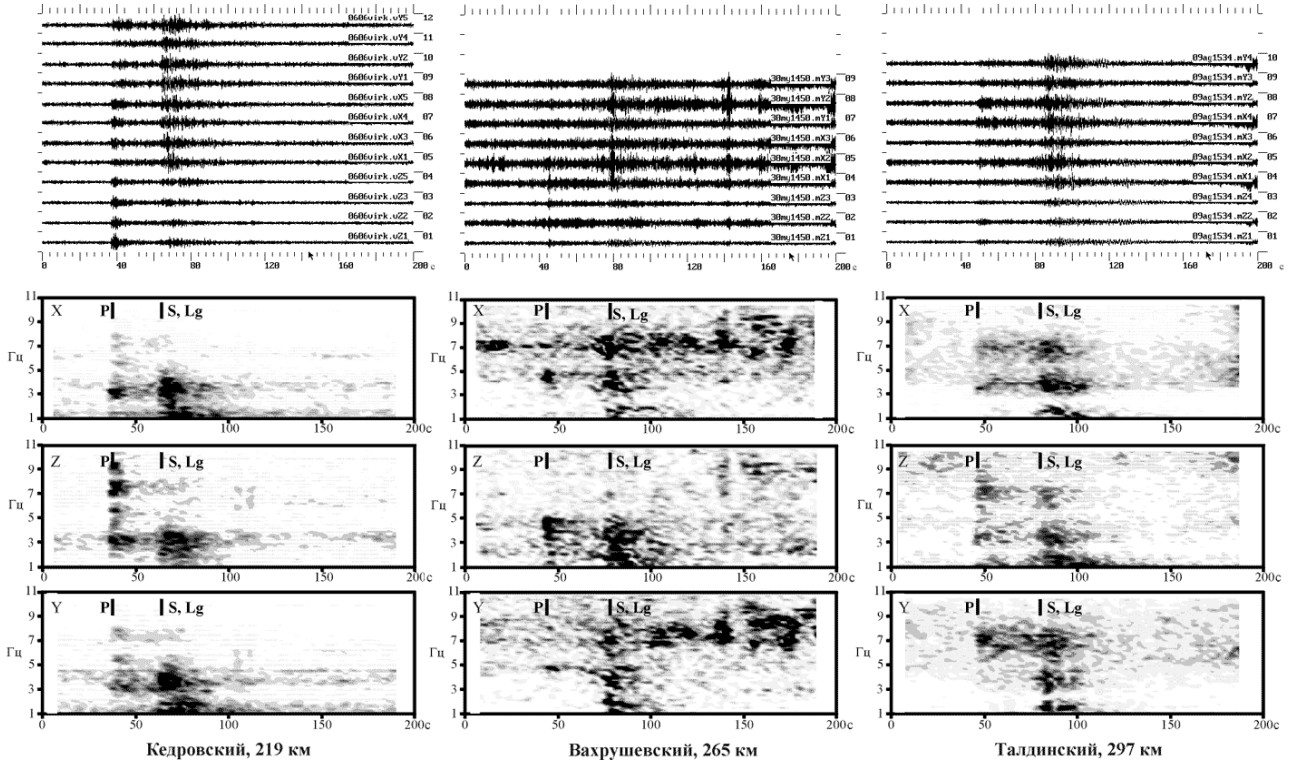


Рисунок 1. Сейсмограммы и спектрограммы взрывов в Кедровском, Вахрушевском и Талдинском карьерах. Регистрирующие системы ВИРС-К и ВИРС-М

Аналогичные данные получены для взрывов в карьерах Калтанский и Бачатский на удалении 197-334 км.

Спектрограммы взрывов, произведенных в различных карьерах, обладают гораздо большим разнообразием, чем спектрограммы калибровочных химических взрывов. Этот факт хорошо известен и отмечается в работах по исследованию карьерных взрывов. Изменчивость сейсмических характеристик карьерных взрывов, в том числе и их спектрально-временных характеристик, обычно связывают с геологическими особенностями района конкретного карьера, его геометрией, схемами размещения и подрыва зарядов. Принятая технология взрывных работ в конкретном карьере часто обуславливает получение повторяющейся формы сейсмических записей приразличных взрывах, что позволяет использовать формы записанных сигналов для идентификации взрывов конкретного карьера, - так называемые «отпечатки пальцев сигнала» (fingerprinting of signal). Для больших карьеров, карьеров занимающих большую площадь, важно иметь формы сигналов от взрывов, производимых в различныхего частях, для того чтобы в дальнейшем надежно идентифицировать взрывы из этого карьера.

Взрыв из Кедровского карьера (рисунок 1) - 76 тонн ВВ, регистрация на удалении 219 км, - характеризуется широким спектром P- волн (от 3 до 11 Гц) и низкочастотным спектром группы S-волн (от 1 до 4 Гц). Продольные волны четко проявляются на Z-компоненте и слабее на обоих горизонтальных компонентах - X,Y. Поперечные волны сильнее проявляются на горизонтальных компонентах. Видна модуляция спектра с интервалом около 2 Гц как для P-волн, так и для S-волн.

Взрыв в Вахрушевском карьере (19 тонн ВВ, регистрация на удалении 265 км) имеет достаточно узкополосную и низкочастотную группу продольных волн (1–5 Гц) по Z- компоненте и группу поперечных волн с более широким спектром по горизонтальным компонентам X, Y (от 1 до 7 Гц), в котором видна модуляция с интервалом около 2 Гц.

Взрыв в Талдинском карьере (51 тонна ВВ, регистрация 297 км) характеризуется одинаковым час-

тотным диапазоном на спектрограммах для продольных и поперечных волн (от 1 до 8 Гц). Вступление волн P хорошо представлено на Z- и X- компонентах и несколько слабее на Y-компоненте. Группа поперечных волн S одинаково хорошо выделяется на всех компонентах - X, Y, Z. Этот взрыв имеет одинаковый частотный диапазон и одинаковую спектральную модуляцию с периодом около 4 Гц как для P-волн, так и для S-волн. Модуляция в спектре для этого взрыва видна очень отчетливо. Максимумы в спектре сигнала сохраняются на всем его протяжении, от первых вступлений P-волн до окончания поперечных S- и поверхностных волн, создавая легко различаемую полосчатость, характерную для замедленных взрывов (apparent banding for delay-fired event).

Взрыв 23 июля (54 тонны ВВ) регистрировался в двух точках профиля «Калтанский-Быстровка» — Быстровка (334 км) и Евсино (294 км). Его характерные особенности в спектрально-временной области: низкочастотный характер, большая длительность как P-волн, так и S-волн. Группа P - волн занимает полосу частот 2–5 Гц в спектральной области и имеет длительность 10–15 с. Группа S - волн - более низкочастотна (1–3 Гц) и более продолжительна (30–40 с). По-видимому, этот взрыв отличается от предыдущего как более замедленным взрыванием, так и пространственным распределением. Следует отметить, что регистрация этого взрыва в двух точках (334 км и 294 км) дала очень близкие спектрально-временные характеристики.

Часть экспериментальных работ была связана с регистрацией взрывов, проведенных на угольном карьере Бачатский. Это очень крупный карьер с размерами (10 км х 2 км) и глубиной выработки 0.5 км. Взрывы в карьере производятся регулярно (часто ежедневно) по единой технологии. Регистрация взрывов произведена системами ВИРС-М и ВИРС-К в двух точках полигона Быстровка на расстоянии 227 км и Степной-2 на расстоянии 197 км. Оба взрыва имеют очень близкие спектрально-временные характеристики. На спектрограммах, зарегистрированных на полигоне Быстровка, группа P-волн занимает диапазон 1–11 Гц и имеет длительность 5–7 с. Группа волн хорошо прослеживается на всех компонентах - X, Y, Z с максимумами спектра как в области низких частот 1–3 Гц, так и в области высоких частот 9–11 Гц. Поперечные волны занимают полосу частот 1–9 Гц для взрыва мощностью 80 тонн и 1–7 Гц для взрыва мощностью 50 тонн. На спектрограммах отмечается повышенный уровень шума в области 6–11 Гц, что несколько искажает высокочастотную часть спектрограммы.

Спектрограммы этих же взрывов, зарегистрированных в п. Степной-2, имеют очень близкий характер относительно спектрограммы, зарегистрированной на полигоне Быстровка. Отличием является более низкий уровень как продольных, так и поперечных волн в высокочастотной части спектра, что связано с частотными характеристиками места регистрации. Максимум энергии поперечных волн для обоих взрывов сосредоточен в области частот 1–3 Гц на всех компонентах. Повторяемость спектрально-временных характеристик двух взрывов, проведенных в различных частях карьера, связана, в первую очередь, с одинаковой технологией взрывания, т.е. с расположением зарядов и временными задержками, и в меньшей степени зависит от места взрыва.

Спектрально-временные характеристики вибрационных сейсмограмм

Регистрация сигналов вибратора в районе Талдинского карьера осуществлена двумя системами - ВИРС-М и РОСА. Одна часть сеансов была проведена с вибратором ЦВ-100, другая при совместной работе вибраторов ЦВ-100 и ЦВ-40 (Рис. 2).

Первые вступления P-волн прослеживаются на спектрограммах от двух вибраторов во всей полосе частот 6–9 Гц, преимущественно по Z- компоненте. На спектрограмме группы P-волн видна модуляция с интервалом 2 Гц (максимум на частотах 6.5, 7.5, 8.5 Гц). Группа S-волн достаточно компактна (длительность 20-25 с), она занимает всю полосу частот 6-9 Гц по всем компонентам - X, Y, Z, с максимальными значениями в области 6–7 Гц.

На узкополосных спектрограммах сохраняется общий характер спектров P и S волн. В спектре продольных волн видны, как и в случае широкополосного сигнала, максимумы на частотах 6.5 Гц и 7.5 Гц по всем компонентам, группа поперечных волн имеет максимум в области 6.5–7 Гц, также по всем компонентам. Короткая длительность группы S-волн и отсутствие после нее поверхностных волн связаны, по-видимому, с географией профиля «Быстровка-Талдинский» и пересечением им Салаирского кряжа.

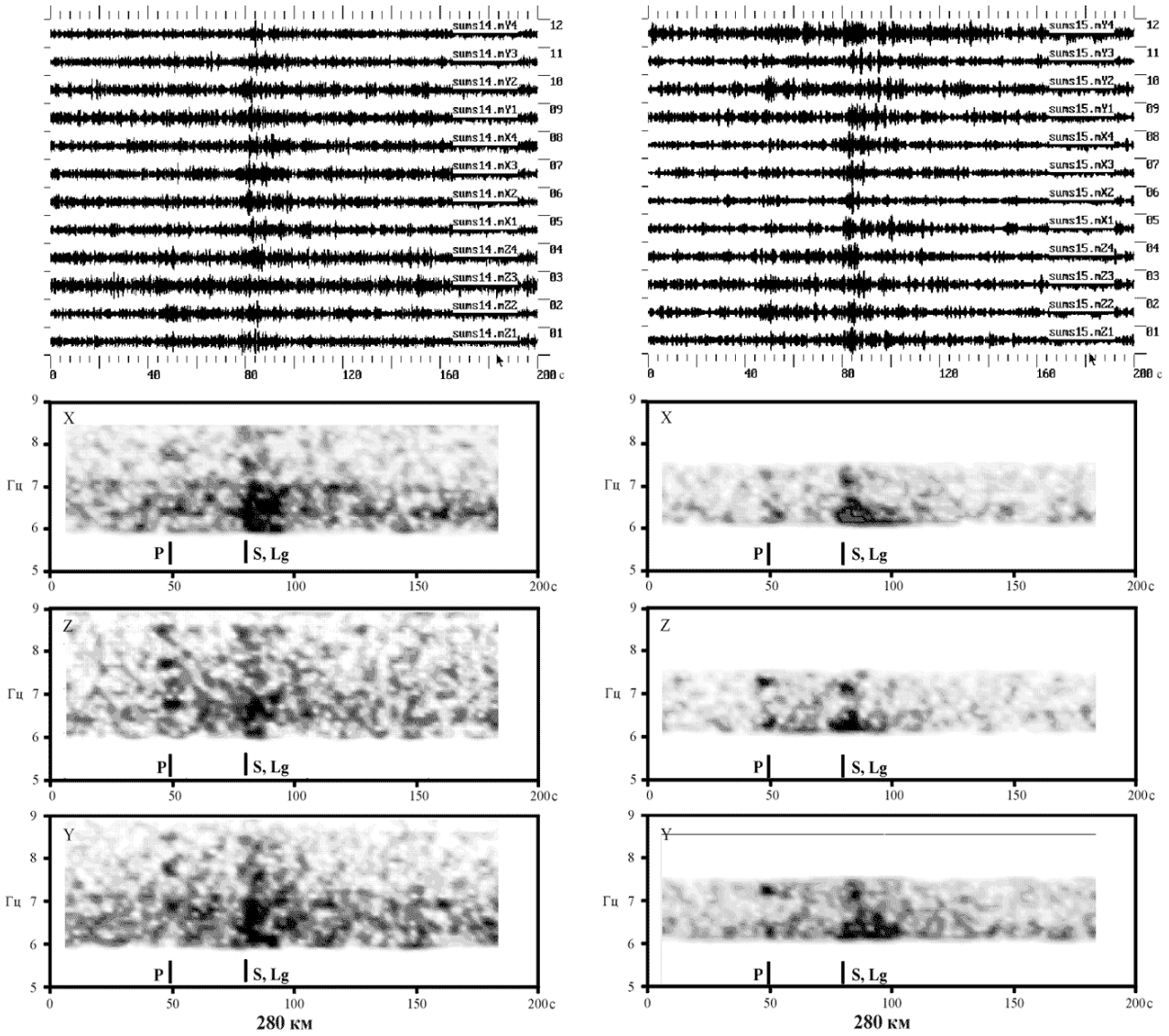


Рисунок 2. Вибрационные сейсмограммы и спектрограммы. Вибратор ЦВ-100 и ЦВ-40, свип-14, 5.85-9.57 Гц (слева). Вибратор ЦВ-100, свип-15, 6.44-7.81 Гц (справа). Регистрация системой ВИРС-М, L=280 км

Сравнение спектрограмм от различных свип-сигналов показывает, что группирование двух вибраторов позволяет обеспечить широкий спектр основных волн на сейсмограммах и, в частности, первых вступлений Р-волн. Этому способствует то, что максимум резонансной характеристики вибратора ЦВ-40 сдвинут в область более высоких частот (7.5–8 Гц) по сравнению с резонансом вибратора ЦВ-100 (6.5–7 Гц). В случае узкополосного свип-сигнала в области максимального резонансного излучения вибратора ЦВ-100 обеспечивается более высокий уровень сигнала и отношения сигнал/шум на сейсмограммах, но уменьшается временное разрешение времен вступления волн. В целом, район Талдинского карьера характеризуется высоким уровнем промышленных шумов, что снижает разрешающую способность вибрационных сейсмограмм.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 03-05-64292, 03-05-64292 и МНТЦ № 1067.

КУЗБАССТІҢ КАРЬЕРЛІК ЖАРЫЛЫСТАРЫН ТІРКЕУ ТӘЖРИБЕСІ

Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С.

РҒА СБ Есептеуіш Математика және Математикалық геофизика институты, Новосибирск

Мақалада, Быстровка полигоны бағытындағы кескіндері бойынша алынған Кузбасс карьерлеріндегі өндірістік жарылыстар жазбаларының сейсмикалық тіркеу әдісі мен спектрлі-уақытты талдауының нәтижелері келтірілген. Кедровский, Вачрушевский, Талдинский, Калтанский және Бачацкий карьерлерде 197-334 км. қашықтықта өткізілген жарылыстардың үш құрауышты сейсмограммалары және оларға сәйкес спектрлі-уақытты сипаттамалары келтірілген.

EXPERIENCE OF KUZBAS PIT EXPLOSIONS RECORDING

B.M. Glinsky, V.V. Kovalevsky, M.S. Khairetdinov

Institute of Computational Mathematics & Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk

The paper presents seismic recording technique and results of the spectral-temporal analysis of records of industrial explosions conducted in quarries of the Kuzbas region. The spectral-temporal analysis was used at processing explosion seismograms which have been recorded on profiles in the direction of the Bystrovka Test Site. The three-component seismograms and relevant spectral - temporal spectrograms for explosions of Kedrovsky, Vachrushevsky, Taldinsky, Kaltansky and Bachatsky quarries, recorded at distance of 197–334 km are considered.

УДК [550.34:(621.039.9+541.126)] (574.41)

ИЗУЧЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В РАЙОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ ПО ЗАПИСЯМ ЯДЕРНЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

[1)]Копничев Ю.Ф., [2)]Соколова И.Н.

[1)]Объединенный институт физики Земли РАН, г. Москва
[2)]Институт геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан, г. Алматы

По записям более 200 подземных ядерных и химических калибровочных взрывов, полученным в 1964 - 2000 гг. станциями Талгар, TLG (Северный Тянь-Шань), Курчатов, KURK (Восточный Казахстан), Боровое, BRVK (Кокчетавский массив), Гарм, GRM (Южный Тянь-Шань), расположенными на расстояниях 77-1400 км от эпицентральной зоны явлений, изучены временные вариации отношения амплитуд волн Lg и Pg, Lg и P. Установлено, что данные параметры изменяются во времени существенно различным образом для разных трасс. Сделано предположение, что пространственно-временные вариации поля поглощения сейсмических волн связаны с подъемом ювенильных флюидов по крупным глубинным разломам, обусловленным длительным воздействием мощных подземных ядерных взрывов.

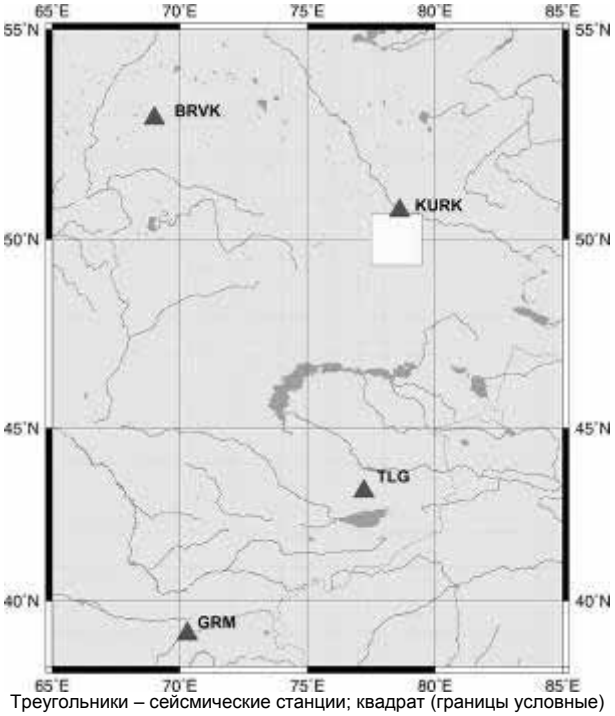
Ранее [1,2] рассмотрены пространственно-временные вариации поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИП) по записям калибровочных химических и подземных ядерных взрывов (ПЯВ). В настоящей работе, продолжающей эти исследования, анализируются вариации поля поглощения в большем районе Центральной Азии, включающем Казахскую платформу и Тянь-Шань.

Использованные материалы

Обработаны сейсмограммы более 200 подземных ядерных взрывов, произведенных в районе СИП в 1964-1989 гг., а также калибровочных химических взрывов, проводившихся здесь в 1997-2000 гг. [3]. Сейсмограммы получены станциями (рисунок 1) KURK (СИП), BRVK (Кокчетавский массив), TLG (Северный Тянь-Шань), GRM (Южный Тянь-Шань).

Для регистрации сейсмограмм на станции KURK в разное время использовалась следующая аппаратура: до 1989 г - аналоговая установка СКМ-III, с 1997 г по 2000 г - широкополосная трехкомпонентная сейсмическая станция DAS Reftek с сейсмометром STS-2. Некоторые обработанные записи событий получены широкополосной трехкомпонентной станцией IRIS/IDA, сейсмометр STS-1. На сейсмической станции BRVK до 1989 г. записи выполнялись цифровой станцией с сейсмометром СКМ-III; в период 1997 -1999 гг. - сейсмической станцией DAS Reftek, сейсмометр STS-2; в 1999-2000 гг. - сейсмической станцией Quanterra Q680, сейсмометр STS-2. На станции TLG использовалась аналоговая установка СКМ-III (СМ-2) и на станции GRM – аналоговая частотно-избирательная станция ЧИСС [4].

Эпицентральные расстояния варьировались от 77 км (станция KURK) до 1408 км (станция GRM).



Треугольники – сейсмические станции; квадрат (границы условные) - СИП

Рисунок 1. Район исследований

Методика обработки данных

В связи с тем, что поглощение поперечных волн в литосфере и астеносфере существенно зависит от частоты колебаний [5], была проведена частотная фильтрация записей. Использовался фильтр с центральной частотой 1.25 Гц и шириной полосы 2/3 октавы на уровне 0.7 от максимума, аналогичный ЧИСС-фильтру.

Анализировались амплитудные характеристики регулярных волн (P, Pg, Lg), а также S- и Lg- коды. Как известно, волны Pg и Lg формируются запредельно отраженными от границ земной коры P- и S-волнами, а кода S- и Lg- волн - отражениями попе-

речных волн от многочисленных субгоризонтальных границ в земной коре и верхней мантии [5, 6]. В связи с этим, логарифмы отношения амплитуды волн Lg и P(Lg/P), Lg и Pg (Lg/Pg) характеризуют степень поглощения поперечных волн в земной коре на всей трассе от очага до станции наблюдения. Скорость затухания амплитуд в группе Lg на сравнительно малых временах после достижения максимума также служит мерой поглощения S-волн в земной коре. В то же время «далекая» кода S- и Lg-волн характеризует поглощение поперечных волн в верхней мантии [5].

АНАЛИЗ ДАННЫХ

На рисунке 2 показаны общие огибающие S- коды, построенные по записям станции KURK двух подземных ядерных взрывов, а также двух калибровочных химических взрывов, произведенных на площадке Балапан (рисунок 3) в 1988 г. и 1997 г., соответственно. Видно, что в интервале от 140 до 300 с скорость затухания амплитуд в коде резко уменьшилась в 1997 г по сравнению с 1988 г. Это свидетельствует о существенном уменьшении поглощения S-волн в верхней мантии района СИП на глубинах более 300 км.

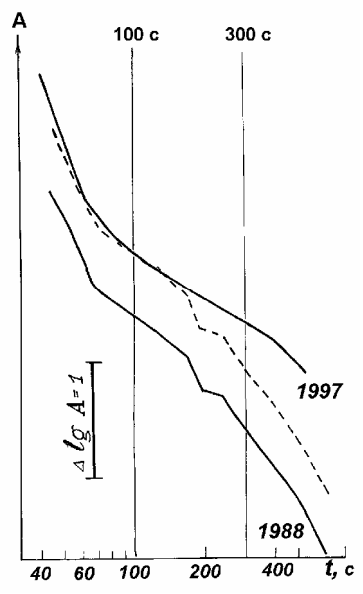


Рисунок 2. Общие огибающие S-коды для ПЯВ и химических взрывов на площадке Балапан (время t отсчитывается от начала излучения в очаге)

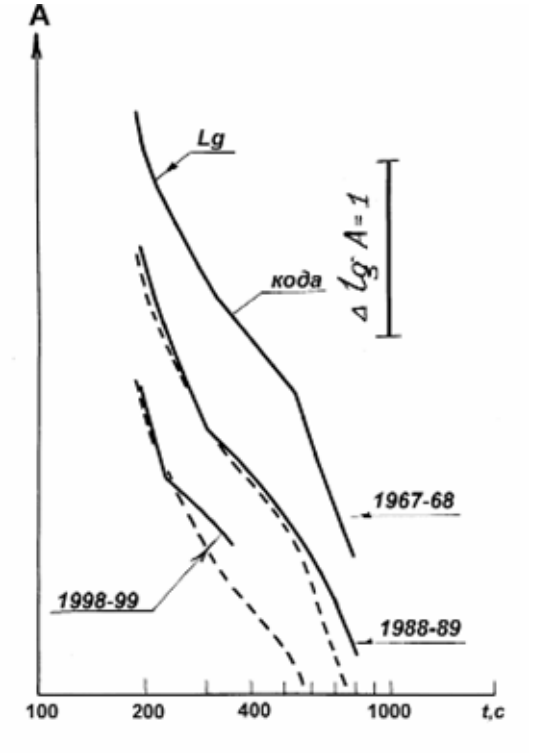


1 – территория СИП; 2 – площадки (M - Муржик, D – Дегелен, B – Балапан); 3 – границы области температурной аномалии, выявленной в 1997 и 1999 гг.; 4 – главные зоны глубинных разломов (a – Чинрауская, b – Калба-Чингизская, c – Главная Чингизская); 5 –наиболее крупные карьеры в окрестности СИП; 6 – эпицентры местных землетрясений; 7 – сейсмическая станция.

Рисунок 3. Семипалатинский испытательный полигон с прилегающими территориями

На рисунке 4 приведены общие огибающие Lg-волны и коды для записей подземных ядерных и химических взрывов на площадке Дегелен, полученных станцией BRVK. Из рисунка следует, что по сравнению с 1967-1968 гг. скорость затухания амплитуд в 1988-1989 гг. заметно увеличилась в группе волн Lg и одновременно уменьшилась в коде Lg. Еще слабее амплитуды в коде затухают на записях, полученных в 1998-1999 гг. Эти данные свидетельствуют о закономерном увеличении со временем среднего поглощения поперечных волн в земной коре и уменьшении поглощения в верхней мантии для трассы Дегелен - BRVK. Отметим, что вывод об увеличении эффективной добротности в верхней мантии согласуется с данными о возрастании средней скорости P-волн на трассе от СИП до станции BRVK в 1964-1989 гг., полученными В.А. Аном и др. [7].

Рисунок 5 иллюстрирует изменение формы огибающих группы волн Lg и коды для взрывов на СИП, записанных станцией TLG. Видно, что по сравнению с 60-ми годами, в конце 80-х годов резко увеличилась скорость затухания амплитуд в группе волн Lg для трассы Дегелен-TLG. При этом скорость затухания амплитуд в коде практически не изменилась. Для трассы Балапан-TLG наблюдалось увеличение скорости затухания амплитуд в группе Lg и, одновременно, – существенное уменьшение в коде Lg.



Пунктир – огибающая для записей ПЯВ, произведенных в 1967-1968 гг.

Рисунок 4. Общие огибающие группы волн Lg и коды для записей ПЯВ и химических взрывов, произведенных на площадке Дегелен. Станция BRVK

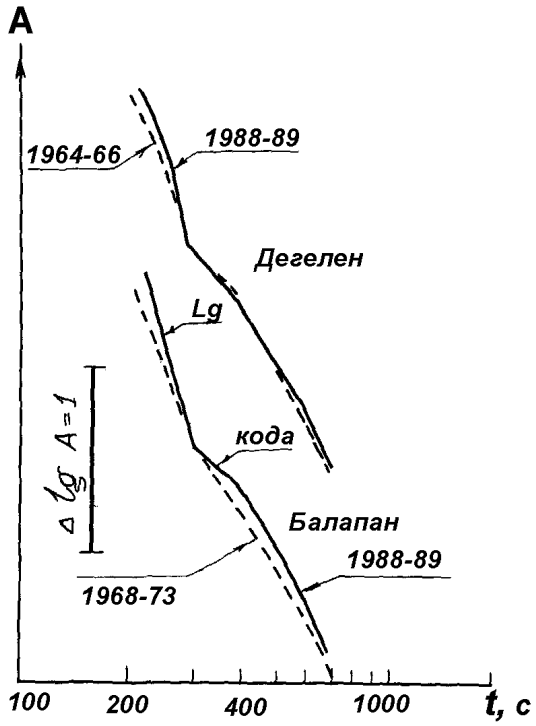
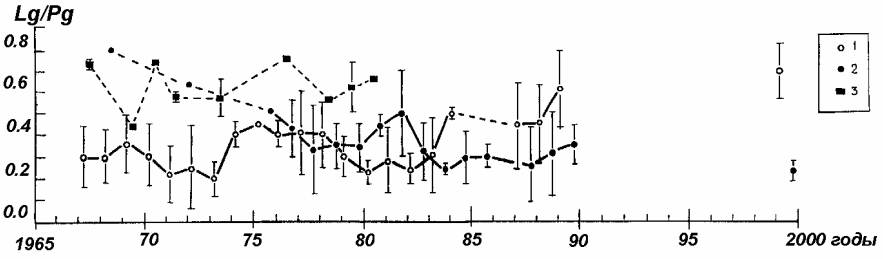


Рисунок 5. Общие огибающие группы волн Lg и коды записей ПЯВ, произведенных на площадках Дегелен и Балапан. Станция TLG

На рисунке 6 показаны графики изменения во времени средних величин параметра Lg/Pg для ПЯВ, произведенных на разных площадках СИП, по данным станции BRVK. При построении этой зависимости использовано в общей сложности 170 записей ПЯВ и 6 записей химических взрывов. Для площадки Муржик, самой близкой к станции BRVK, наблюдаются максимальные значения отношения Lg/Pg. Для трассы Дегелен - BRVK значения параметра Lg/Pg, осциллируют, но в целом величина параметра заметно выросла по срвнению с периодом конца 60-х - конца 80-х годов. Кажущееся противоречие с данными, приведенными на рисунке 4, видимо, связано с тем, что волны, формирующие максимум в группе Lg из-за рефракции, распространяются в основном в нижней части земной коры, а более поздние фазы Lg проходят относительно большую часть пути в верхней части земной коры.



1- Дегелен, 2- Балапан, 3- Муржик

Рисунок 6. Зависимость среднего значения и дисперсии параметра Lg/Pg от времени для ПЯВ и химических взрывов, произведенных на разных площадках СИП. Станция BRVK

Для трассы Балапан - BRVK в течение срока, приведенного на рисунке 6, значения Lg/Pg заметно упали. Интересно, что эта тенденция проявилась и по данным калибровочных взрывов – в конце 90-х годов средние величины Lg/Pg для площадки Дегелен были выше на 0.45 ед. лог., чем для площадки Балапан.

Следует отметить, что в целом эти данные согласуются с результатами, полученными ранее для ПЯВ, зарегистрированных станцией TLG [2].

По станции GRM были обработаны 124 записи ПЯВ. Из рисунка 7 видно, что форма записей взрывов на площадке Дегелен существенно изменяется со временем. В первую очередь, это касается относительного уровня фаз, сформированных продольными и поперечными волнами P, Sn, Lg. На рисунке 8 представлен график зависимости параметра Lg/P от времени. Из него следует, что величины Lg/P в целом растут с середины 60-х до середины 80-х годов (примерно на 0.5-0.6 ед. лог.), а далее, в 1987-1989 гг., резко убывают (на 0.3-0.4 ед. лог.).

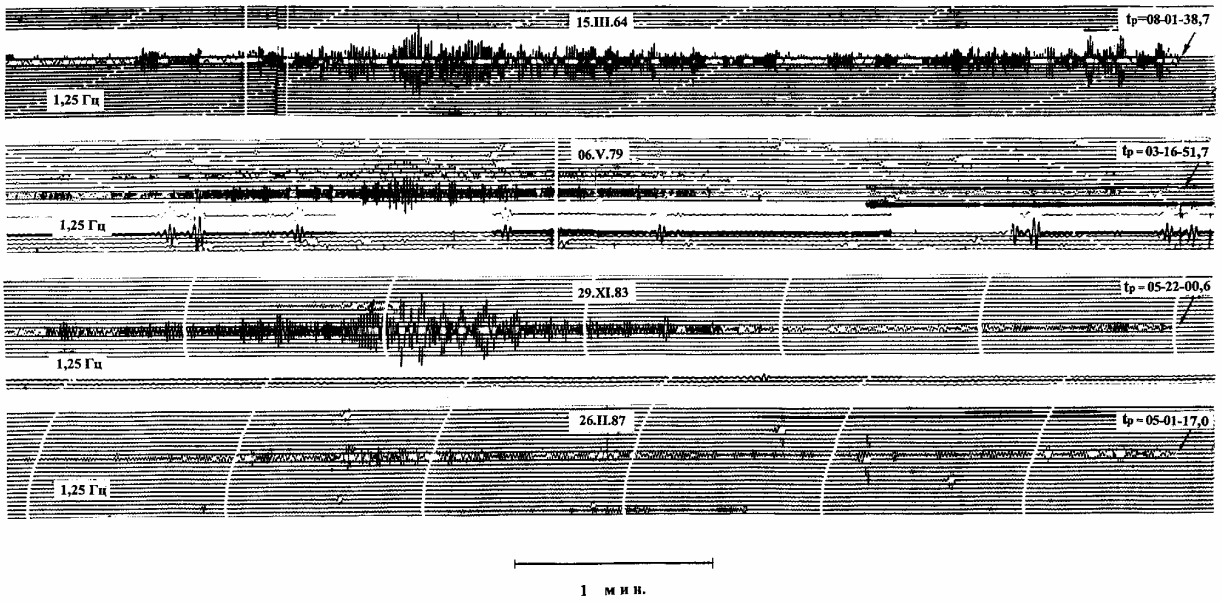


Рисунок 7. Примеры записей ПЯВ (массив Дегелен), полученные станцией GRM. ЧИСС, канал 1.25 Гц

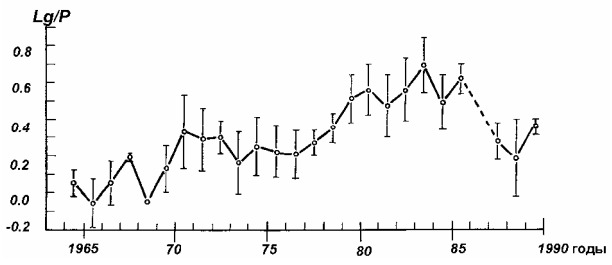


Рисунок 8. Зависимость средних значений параметра Lg/P от времени. Станция GRM

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В [2] путем анализа большого количества записей ПЯВ и химических взрывов были детально исследованы пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в районе СИП. Было установлено очень сильное поглощение S- волн в литосфере под площадкой Балапан, где проходят два крупных разлома, проникающих в верхнюю мантию (рисунок 3). В районе площадки Дегелен поглощение S- волн в земной коре и верхах мантии гораздо слабее. Вместе с тем, аномально слабое поглощение S- волн в верхней мантии под СИП наблюдалось на глубинах более 200 км. На основании полученных данных была выдвинута гипотеза о том, что наблюдаемые особенности волновых полей в районе СИП связаны с подъемом ювенильных флюидов из верхней мантии по крупным разломам, обусловленным длительным, интенсивным воздействием мощных ПЯВ на геологическую среду. Это заключение позволяло объяснить также существование крупной температурной аномалии в районе СИП, обнаруженной на основании дешифрирования спутниковых данных в конце 90-х годов (рисунок 3) [8].

Полученные новые данные в целом подтверждают данную гипотезу. Анализ огибающих Lg и коды, а также отношения Lg/Pg на записях станций BRVK и TLG говорит о том, что интегральное поглощение S- волн в земной коре в районе СИП существенно выросло за 20-30 лет, в том числе, и после окончания ядерных испытаний на полигоне. Вместе с тем, поглощение S- волн в верхах мантии в районе СИП за это время существенно уменьшилось. Данные по S-коде (станция KURK) показывают, что флюиды могли подниматься с глубин более 300 км. В то же время, по данным станции GRM для трасс, которые пересекают Казахскую платформу и Тянь-Шань,

интегральное поглощение S-волн в земной коре резко уменьшилось с середины 60-х до середины 80-х годов. Учитывая, что для Казахской платформы до 1983 г в целом наблюдалась противоположная тенденция (рисунок 6), можно сделать вывод о связи изменений, в первую очередь, с резким уменьшением поглощения S- волн в земной коре Тянь-Шаня, что относится, прежде всего, к западной части Тянь-Шаня, которую пересекают трассы от СИП до станции GRM. Сравнительно длиннопериодные вариации поля поглощения S-волн, связанные с активной миграцией флюидов на северной границе Тянь-Шаня, отмечены в работе [9]. Интересно, что после введения моратория на ядерные испытания в 1985-1987 гг. величины параметра Lg/P для рассматриваемых трасс резко упали, что говорит об увеличении поглощения S- волн, в первую очередь, в нижней части земной коры. Это наводит на мысль, что мощные взрывы на СИП могли оказывать влияние на флюидное поле на достаточно больших расстояниях от полигона. Речь идет, главным образом, о сейсмически активном районе Тянь-Шаня, поскольку для слабосейсмичной Казахской платформы такого эффекта не обнаружено (рисунок 6; данные для трассы СИП-TLG [1, 2]).

В связи с тем, что ювенильные флюиды играют важную роль в процессах подготовки сильных коровых землетрясений [10], этот эффект, в принципе, мог привести к изменению уровня сейсмичности в районах, окружающих СИП. Ранее [11] был сделан вывод о возможности воздействия глубокофокусных гиндукушских землетрясений на флюидное поле в земной коре на больших расстояниях от эпицентральной зоны. Скорее всего, такое воздействие обусловлено существованием уединенных волн деформации, распространяющихся по крупным разломным зонам [12]. Отметим, что выводы о влиянии подземных ядерных взрывов, произведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, на уровень сейсмичности в Гармском районе Таджикистана (на границе Южного Тянь-Шаня и Северного Памира) сделаны в работе [13]. Характерно, что вариации сейсмической активности наблюдались именно в зонах крупных разломов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Вариации структуры поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона //Докл. РАН.- 2001. - Т. 379. - № 5. - С. 670-674.
2. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона //Физика Земли. - 2001.- № 11. – С. 73-86.
3. Беляшова Н.Н., Шацилов 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//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 45-52.
4. Запольский К.К. Частотно-избирательные станции ЧИСС//Экспериментальная сейсмология. - М.: Наука, 1971. - С. 20-36.
5. Копничев Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. - М.: Наука, 1985. - 176 с.
6. 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.
7. Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М. Время пробега сейсмической волны Pn на трассе Семипалатинский испытательный полигон - сейсмическая станция Боровое//Мониторинг ядерных испытаний и их последствий: Тезисы докладов. Международной конференции, 12-16 августа 2002 г, Боровое, Казахстан.- С. 21.
8. 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.
9. Копничев Ю.Ф. Длиннопериодные временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в литосфере и астеносфере Северного Тянь-Шаня//Вулканология и сейсмология. - 2001.- № 3.- С. 63-75.
10. Копничев Ю.Ф., Михайлова Н.Н. Геодинамические процессы в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 г. (Северный Тянь-Шань)//Докл. РАН. - 2000. - Т. 373. - № 1. - С. 93-97.
11. Копничев Ю.Ф., Баскутас И., Соколова И.Н. Пары сильных землетрясений и геодинамические процессы в районе Центральной и Южной Азии//Вулканология и сейсмология.- 2002. - № 5. - С. 49-58.
12. Николаевский В.Н. Математическое моделирование уединенных деформационных и сейсмических волн//Докл. РАН. - 1995. - Т. 341. - № 3.- С. 403-405.
13. 13.Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В. Влияние ядерных взрывов на сейсмический режим//Докл. РАН. - 1995. - Т. 343. - № 4. – С. 543-546.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ЖАЗБАЛАРЫ БОЙЫНША ОРТА АЗИЯ АУДАНЫНДА КӨЛДЕНЕН ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ЖҰТЫЛУ ӨРІСІНІҢ ВАРИЯЦИЯЛАРЫН ЗЕРДЕЛЕУ

[1)]Копничев Ю.Ф., [2)]Соколова И.Н.

[1)]РҒА ЖФБИ. 483310, Мәскеу қ
[2)]ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Алматы қ

Оқиғаның эпиорталықтық аймағынан 77-1400 км. қашықтықта орналасқан Талғар, TLG (Солтүстік Тян-Шань), Курчатов, KURK (Шығыс Қазақстан), Бурабай, BRVK (Көкшетау массивы), Гарм, GRM (Онтүстік Тянь-Шань) станцияларымен 1964-200 ж.ж. алынған 200 көп ядролық және химиялық калибрлеу жарылыстардың жазбалары бойынша Lg и Pg, Lg және P толқындардың амплитудалары қатынасының уақыттық вариациялары зерделенген. Бұл параметрлер әртүрлі жолдарына уақыт ішінде елеулі әр түрде өзгеретіні белгіленген. Сейсмикалық толқындардың жұтылу өрісінің кеңістіктік-уақыттық вариациялары тереңдегі ірі жарылымдар бойынша ювенильді флюидтердің көтерілісімен байланысты жөнінде болжау жасалған.

STUDY OF SHEAR WAVE ATTENUATION FIELD VARIATIONS IN CENTRAL ASIA REGION USING RECORDS OF NUCLEAR AND CHEMICAL EXPLOSIONS AT THE SEMIPALATINSK TEST SITE

[1)]Yu.F. Kopnichev, [2)]I.N. Sokolova

[1)]The Joint Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow
[2)]Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

The temporal variations of amplitude ratio of Lg and Pg, Lg and P waves were studied using the 1964-2000 records of more than 200 underground nuclear and chemical calibration explosions obtained at the Northern Tien Shan TLG station, KURK station (Eastern Kazakhstan), BRVK (Kokchetav Massif), GRM (Southern Tien Shan) located at epicentral distances of 77-1400 km. Variations in this parameter with time are shown to be significantly different for different paths. The spatio-temporal variations of the seismic wave attenuation field are presumably associated with the ascent of juvenile fluids through large deep faults.

УДК [550.36:528.8(15)] (574.41)

О ПРИРОДЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ АНОМАЛИИ В РАЙОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА, ВЫЯВЛЕННОЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Мелентьев М.И., Великанов А.Е.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

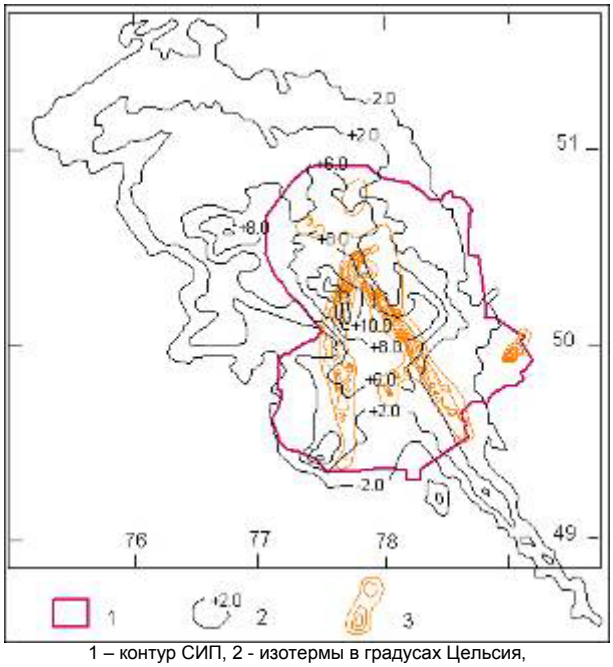
Тепловая аномалия, площадью более 20 тыс. кв. км, обнаруженная по космическим снимкам в районе Семипалатинского испытательного полигона, наблюдается ежегодно в определённые дни, преимущественно зимне-весеннего сезона. Ее появление совпадает, чаще всего, с днями интенсивного выпадения осадков, возможного таяния снежного покрова и сопровождается понижением концентрации озона в атмосфере. Такое поведение тепловой аномалии объясняется в статье протеканием ядерных реакций, вызванных энергией радиоактивного распада радионуклидов, отложившихся в почвенном слое после проведения наземных и воздушных ядерных взрывов, и процессами радиолиза в почвенных растворах.

Введение

Институтом космических исследований Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИКИ МОН РК) при формировании еже-декадных обзорных карт распределения снежного покрова и температуры поверхности территории Казахстана в феврале 1997 г по данным спутников серии NOAA было обнаружено большое (20 тыс. кв. км) тепловое пятно в районе Семипалатинского испытательного полигона (СИП). С некоторыми изменениями в контурах отсутствия снега и повышенного температурного поля, оно наблюдалось в последующие зимние и весенние периоды. Анализ структуры теплового поля, построенного по данным канала ch 4 (10,3-11,3 мкм), позволил выделить чётко выраженные очаги, температура в которых более, чем на 10°С превышает общий фон окружающего снежного покрова. Интересно, что в местах с повышенной температурой в течение всего вегетационного сезона практически полностью отсутствовал растительный покров [5, 7].

Тепловая аномалия имеет общее северо-западное простирание, проходит через территорию Семипалатинского испытательного полигона и выходит за ее пределы. Ориентировка тепловой аномалии совпадает с направлением главных тектонических разломов на рассматриваемой территории - Калба-Чингизского и Главного Чингизского. Такое же направление имеет и самый интенсивный - юго-восточный, след радиоактивного загрязнения поверхности (рисунок 1).

В некоторых работах существование тепловой аномалии связывают с прогревом земной поверхности высокотемпературными флюидами, восходящими по глубинным тектоническим зонам, активизировавшимся после проведения большого количества подземных ядерных взрывов [2, 7].



1 – контур СИП, 2 - изотермы в градусах Цельсия,
3 - изолинии концентрации Cs - 137 в условных единицах.

Рисунок 1. Температурное поле в районе СИП по данным теплового канала ch4 спутника NOAA за 17.02. 1997 г. и следы радиоактивного загрязнения поверхности

Однако появляющиеся тепловые аномалии, как представляется, ведут себя более динамично, чем процессы прогрева и остывания верхней части земной поверхности. Наблюдаемые по данным космических съёмок изменения общих контуров и ослабление тепловой аномалии до видимого ее исчезновения позволяют сделать предположение о газообразной сущности этой аномалии. Источником аномалии, по всей видимости, могут быть локальные очаги на земной поверхности в районе СИП, пространственно совпадающие со следами радиоактивного загрязнения поверхности, возникшего после проведения наземных и воздушных ядерных взрывов.

НОВЫЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОБЛЕМЕ

Исходя из предположения о газообразной природе тепловой аномалии и возможном влиянии её на атмосферу, были сделаны попытки проследить атмосферные явления в районе СИП путем изучения ежедневных карт распределения концентраций озона и метеорологических сводок погоды по сведениям из Интернет [8, 9]. На рисунке 2 сопоставлены данные спутников NOAA и карты глобального распределения озона в северном полушарии. Из рисунка видно, что возникновение тепловой аномалии 17.02.1997 г. в районе СИП сопровождалось появлением над этой территорией аномальных понижений концентраций озона. К сожалению, для района СИП на период вплоть до конца 90-х годов не удалось обнаружить ежедневные метеорологические сводки погоды. Поэтому были просмотрены карты распределения озона и метеорологические сводки погоды за первое полугодие 2002 г. Было замечено, что в районе СИП в зимне-весенний период довольно часто наблюдаются локальные понижения концентраций озона.

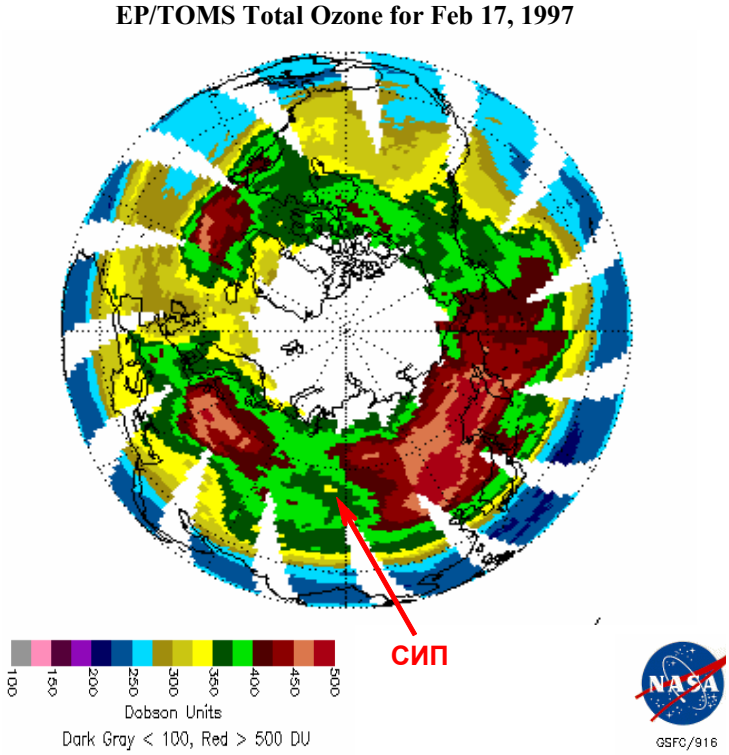


Рисунок 2. Глобальное распределение озона в северном полушарии на 17.02.1997 г.

Удалось заметить также, что появление локальных аномалий пониженных концентраций озона часто совпадает с днями выпадения большого количества осадков и, возможно, быстрого таяния снежного покрова. Для наглядного отображения этой связи над районом СИП были построены диаграммы аномальных понижений концентрации озона в сопоставлении с метеорологическими данными о выпадении осадков и других погодных условиях в первой половине 2002 г. Аномальное понижение концентрации озона показано здесь в условных единицах, поскольку из-за динамичных региональных повышений и понижений ее значений было затруднительно использовать принятую для концентрации озона единицу Добсона. Выбрана следующая условная шкала качественного изменения концентрации озона: 1 – сильное понижение, 2 – явное понижение, 3 – слабое понижение, 4 – фон, 5 – повышение. На глобальной Интернет - карте распределения озона (пример которой приведен на рисунке 2) сильному понижению концентраций озона соответствует замкнутая изолиния пониженной концентрации озона для района СИП. Явному понижению – изолиния пониженной концентрации озона, которая заходит в район СИП в виде узкого клина; слабому – в районе СИП отмечается более низкое значение концентрации озона; фон – фоновые значения; повышение – отмечаются повышенные значения концентрации озона над окружающим фоном.

Анализ собранных данных показал, что региональная тепловая аномалия в районе СИП может появляться в дни интенсивного выпадения осадков и возможного таяния снежного покрова. Из интернет карт [8] следует, что в дни выпадения осадков и в оттепели отмечается локальное понижение концентрации озона в атмосфере над районом СИП.

Современная геологическая среда СИП

Последствия наземных и воздушных ядерных взрывов на территории СИП выразились в выпадении так называемых «горячих» частиц или радионуклидов, которые представляют собой осколки продуктов деления ядерного горючего (кобальт- 60, стронций -90, цезий -137, европий-152, 154, 155 и др.), частички непрореагировавшего ядерного горючего (уран-235, плутоний-239) и частички трансурановых элементов, образовавшиеся при взрывах (нептуний-237, 238, 239, плутоний-238, 240, 241, америций-241 и др.). Ближе к эпицентрам проведения наземных и воздушных ядерных взрывов отложились радионуклиды тяжелых элементов (уран-235, плутоний-239 и др.), дальше к южным границам полигона - радионуклиды более лёгких элементов (кобальт-60, стронций-90, цезий-137). Основная масса радионуклидов сконцентрирована в юго-восточном следе радиоактивного загрязнения поверхности (рисунок 1) шириной около 10 км, протянувшемся по территории СИП на расстояние более 150 км, и в менее интенсивном южном следе, шириной около 15 км и длиной 120 км. С течением времени, в пределах отмеченных следов радионуклиды распределились *в почвенном слое* в виде отдельных ореолов, занимающих пониженные формы рельефа в песчано-глинистых солончаковых отложениях. Мощность почвенного слоя здесь колеблется в пределах 5 – 40 см и в среднем составляет 20 см. Даже грубые подсчёты с учётом количества наземных и воздушных ядерных взрывов, критической массы ядерных зарядов и коэффициента эффективности взрыва позволяют сделать вывод, что общая первоначальная масса «горячих» частиц могла составить около двух тонн. Потенциальная ядерная энергия этой массы, распределившейся в почвенном слое протяжённых следов радиоактивного загрязнения поверхности, огромна.

В геологическом отношении территория СИП характеризуется наличием нескольких гранитных массивов с повышенным содержанием флюорита, бериллия и литиевых минералов. Вблизи юго-восточного следа расположено месторождение Каражал с высокими содержаниями бериллия, флюорита, вольфрама, молибдена, олова. Это предопределяет наличие в почвенном слое минерально-связанных лёгких элементов лития, бериллия, фтора. По своей природе местные почвы имеют высокое содержание алюминия (7-10%), углерода (более 1%) и хлора (солончаковые почвы с наличием NaCl и KCl).

Анализ данных и выявление предположительного механизма образования тепловых номалий

По-видимому, возможна некоторая неточность в картографической привязке космических снимков спутников NOAA. Но, даже при такой привязке, видно (рисунок 1), что место температурного поля, оконтуренное изолинией более десяти градусов Цельсия, приурочено к схождению юго-восточного и южного следов радиоактивного загрязнения поверхности, которое является местом проведения наземных и воздушных ядерных взрывов. Здесь в почвенном слое земной поверхности сконцентрирована основная масса «горячих частиц». Оценочные расчёты [2] показали, что энергия, выделяющаяся при α – распаде «горячих» частиц тяжёлых элементов U-235, Pu-239, Am-241, недостаточна для получения количества тепла, способного разогреть слой почвы земной поверхности до появления тепловой аномалии. Такая энергия может появиться при расщеплении тяжёлых ядер «горячих частиц». Для этого необходимо наличие атомов тяжёлых элементов и источник замедленных (тепловых) нейтронов. В настоящее время вопрос о появлении источника нейтронов однозначно не решён. Пока можно сделать некоторые предположения о механизме образования тепловых аномалий и появлении источника тепловых нейтронов.

Выше было отмечено наличие в породах и почве на территории СИП повышенных содержаний бериллия, фтора, алюминия и других связанных атомов лёгких элементов. С изменением метеоусловий, а именно, в дни выпадения осадков или интенсивного таяния снежного покрова, влажность почвы возрастает. Образуются почвенные растворы. «Горячие» частицы из дисперсной формы переходят в форму растворимую. Под действием радиоактивного излучения в почвенных растворах происходят процессы радиолиза. При радиолизе в гремучей смеси почвенного раствора ускоряется протекание различных радиохимических реакций[3, с.95]. Минерально-связанные лёгкие элементы водород, бериллий, углерод, фтор, алюминий, хлор и др. переходят в свободные радикалы, которые затем могут объединяться как между собой, так и с атомами тяжёлых элементов, образуя различные соединения, например, метан CH_4, четырёххлористый углерод CCl_4, хлорфторуглероды (фреоны), а также гексафторид урана $^{235}UF_6$, соединения $^{239}PuBeF4$, PuF_3, PuF_4 и другие [4, 6]. Возникают благоприятные условия для прохождения реакций ядерных превращений лёгких элементов под действием α-частиц с испусканием нейтронов, которые в водной среде превращаются в тепловые (замедленные). Почвенный раствор при наличии радиоактивного воздействия и вызванных им процессов радиолиза превращается в протонсодержащую жидкость, которая также может стать источником замедленных тепловых нейтронов. Последующее взаимодействие тепловых нейтронов с тяжёлыми ядрами урана, плутония, америция, может привести к их расщеплению с выделением большого количества тепла. Реакциям расщепления ядер с выделением тепла могут быть подвержены радионуклиды с атомным весом более 100, включая и цезий-137. Юго-восточный хвост и южный аппендикс тепловой аномалии могут быть

обязаны своим появлениям присутствию цезия-137 в протяжённых следах радиоактивного загрязнения поверхности.

Таким образом, предполагается, что на территории СИП в местах выпадения радионуклидов при сильном увлажнении почвы приходит в действие механизм «тлеющих» реакций деления ядер. Тепловая энергии, образующаяся при «тлеющих» реакциях деления ядер, способствует образованию площадной тепловой аномалии, появляющейся в дни интенсивного выпадения осадков или интенсивного таяния снежного покрова.

Внешние контуры тепловых аномалий, наблюдаемых по космическим снимкам в районе СИП в разные дни, динамично меняются. Это может говорить о газообразной сущности появляющихся тепловых аномалий. При рассмотрении карты температурного поля тепловой аномалии за 17 февраля 1997 г. (рисунок 1), можно увидеть, что внешние изолинии поля повторяют внутренние эпицентральные изолинии со ступенчатым увеличением и смещением их на северо-запад. В свою очередь, внутренние эпицентральные изолинии температурного поля приурочены к локализованным очагам, которые могут совпасть при более точной привязке космических снимков с расположением следов радиоактивного заражения земной поверхности. Источником восходящих газообразных тепловых потоков могут являться разогретые газообразные продукты радиолиза и «тлеющих» реакций деления ядер «горячих» частиц в сильно увлажнённом почвенном слое. К газообразным продуктам радиолиза можно отнести метан CH_4, четырёххлористый углерод CCl_4, хлорфторуглероды (фреоны) и другие газы, которые образуются из элементов, входящих в состав почвенного слоя земной поверхности территории СИП. К газообразным продуктам «тлеющих» реакций деления ядер «горячих» частиц можно отнести криптон Kr-85, иод I-131, ксенон Xe-133 и другие газообразные изотопы.

О НЕКОТОРЫХ НЕГАТИВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ОБРАЗОВАНИЕ ПЛОЩАДНЫХ ТЕПЛОВЫХ АНОМАЛИЙ В РАЙОНЕ СИП

Лёгкие газообразные продукты радиолиза и «тлеющих» реакций деления ядер «горячих» частиц поднимаются вверх со средней скоростью около 10 м/сек и, смещаясь на северо-запад, в течение часа могут достигнуть высоты озонового слоя (20 – 50 км). Северо-западное направление перемещения газообразных продуктов может быть объяснено тем, что в стратосфере северного полушария в зимние месяцы в результате взаимодействия меридиональной конвекционной циркуляции и силы Кориолиса [1] воздушные массы перемещаются в этом направлении.

Под действием ультрафиолетового излучения поднявшиеся газы подвергаются фотодиссоциации с выделением высокоактивных радикалов, которые присоединяют молекулы озона, тем самым, разрушая озоновый слой [1]. Именно в эти дни наблюдается понижение концентрации озона, что ведёт к усилению ультрафиолетового излучения. Гамма-излучение радионуклидов, взаимодействуя с кислородом приземной атмосферы (пограничный слой атмосферы), превращает его в озон, который в полтора раза тяжелее воздуха и не может подняться вверх. В приземной атмосфере в районе радиоактивного загрязнения земной поверхности образующийся озон является мощным окислителем, губительно действующим на растительность. Космические снимки района СИП подтверждают, что в местах повышенных температур в течение всего вегетационного сезона отмечается практически полное отсутствие растительного покрова [7].

Литература

1. Александров Э. Л., Израэль Ю. А., Кароль И. Л., Хргиан А. Х. Озонный щит земли и его изменения. - Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат. – 1992. – С .9, 74.
2. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Новые данные о структуре поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. –. Курчатов: НЯЦ РК, 2001. - Вып. 2. - С. 106-114.
3. Пикаев А. К. Современная радиационная химия. - М.: Наука, 1985. - С. 95.
4. Популярная библиотека химических элементов: Кн. 1-я, кн.2-я.- М.: Наука, 1977.
5. Султангазин У.М., Закарин Э.А., Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Муратова Н.Р., Терехов А.Г. Дистанционное зондирование температурных аномалий в районе Семипалатинского ядерного полигона//Доклады Министерства науки - Академии наук Республики Казахстан -1997. - №2 . - С. 51-54.
6. Шалинец А. Б., Фадеев Г. Н. Радиоактивные элементы. – М.: Просвещение, 1981.
1. 7.Аномальная термальная зона в районе Семипалатинского испытательного ядерного полигона. http://unesco.freenet.kz/econet/r-pub-semk.htm, http://www.x-libri.ru/elib/innet005/00000001.htm .
7. EP/TOMS. Total Ozone for Feb 17, 1997. http://Lap.physics.auth.gr/ozonemaps/.
8. Дневник наблюдений за погодой. http://gen.gismeteo.ru/cgibin/viewsarc.exe?reg=school&index=36177&month=1&ye.(по г. Семипалатинск), http://gen.gismeteo.ru/cgibin/viewsarc.exe?reg=school&index=36003&month=1&ye. (по г. Павлодар).

ҚАШЫҚТЫҚ ҒАРЫШТЫҚ ЗОНДЫЛАУ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНЫҢ АУДАНЫНДА АНЫҚТАЛҒАН АЙМАҚТЫҚ ЖЫЛЫЛЫҚ АУЫТҚУЫНЫҢ ЖАРАТЫЛЫСЫ

Мелентьев М.И., Великанов А.Е.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ

Ғарыштықтық сүреттері бойынша Семей сынау полигонының ауданында табылған, аумағы 20 шаршы км. жылылық ауытқу жыл сайын белгілі күндерде, көбінесе қыс-көктем маусымында байқалады. Оның көрінуі қаржанбыр қарқынды жауған күндерімен кездеседі және атмосферада озонның шоғырлануының төмендеуімен бірге болады. Мақалада, аутқудың осындай жүріс-тұрысы жер үстіндегі және әуедегі ядролық жарылыстар өткізілген соң топырақта жиналып қалған радионуклидтің радиоактивті ыдырауымен шақырылған ядролық реакциялары өтуімен түсініледі.

ABOUT THE NATURE OF REGIONAL THERMAL ANOMALY IN THE SEMIPALATINSK TEST SITE REGION REVEALED BASING ON REMOTE SPACE SENSING DATA

M.I. Melentiev, A.E. Velikanov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

A thermal anomaly, (more than 20,000 sq. km) discovered in the Semipalatinsk Test Site region in the pictures from space, is observed every year on certain days mainly in winter-spring season. Appearance of the thermal anomaly often coincides with days of intensive fall of atmospheric precipitation and possible thawing of snow cover together with decreasing of ozone concentration in atmosphere. The explanation of thermal anomaly in the Semipalatinsk Test Site region due to nuclear reaction caused by the energy of radionuclide radioactive decay deposited in a soil layer after ground and air nuclear explosions and radiolysis processes in soil solutions is given in this article.

УДК 550.34(574.4+574.5)

СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНОВ, ОКРУЖАЮЩИХ НОВЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ГРУППЫ МАКАНЧИ И КАРАТАУ

Михайлова Н.Н., Вольф Н.А., Синёва З.И.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

После ввода в эксплуатацию двух сейсмических групп мирового уровня Маканчи и Каратау появилась возможность изучать сейсмический режим Восточного и Южного Казахстана на энергетическом уровне явлений на 3-4 порядка ниже, чем это было возможно раньше. С использованием слабых и микроземлетрясений стало возможным более точно трассировать активные линеаменты и следить за вариациями параметров сейсмического режима территорий. Результаты имеют важное значение для решения задач, связанных с оценкой сейсмической опасности и с разработкой новых карт сейсмического районирования территории Казахстана.

На территории Казахстана наиболее детально изучена сейсмическая обстановка юго-востока Республики - от реки Сырдарья на западе до Джунгарии на востоке и от озера Балхаш на севере до озера Иссык-Куль на юге. На этой территории сосредоточены наблюдательные сети Института сейсмологии МОН РК, наибольшая плотность пунктов достигнута вблизи г. Алматы. Другие регионы изучены либо слабо, либо вообще не изучались с использованием инструментальных методов. В связи с этим информационная база, положенная в основу работ по сейсмическому районированию Казахстана, по уровню энергетической представительности (K_{min}) землетрясений и точности локализации очагов, чрезвычайно неоднородна. Так, согласно [1], на Северном Тянь-Шане в последние годы представительными землетрясениями являлись события с энергетическим уровнем $K \geq 7{,}5$, в некоторых областях - даже с $K_{min} = 6{,}0$, в то время как в Восточном и Южном Казахстане – это события с $K_{min} > 9$.

В связи с недостаточной сейсмологической изученностью, а также с неадекватностью методик сейсморайонирования возникали неприятные «сюрпризы», когда сильные землетрясения происходили в тех местах, где события с такой магнитудой не ожидались согласно действующим картам сейсморайонирования. Например, в 1990 г. произошло Зайсанское землетрясение с магнитудой M=6,9 [2], вызвавшие в зоне, считающейся малоактивной, сейсмические воздействия интенсивностью до 8 баллов по шкале MSK – 64. После землетрясения, в срочном порядке, была пересмотрена карта общего сейсморайонирования Восточного Казахстана и составлена Временная схема, устраняющая несоответствия наблюдённых и прогнозируемых сейсмических воздействий. Для проведения систематических инструментальных наблюдений в 1990 г была открыта станция Зайсан, где установлена аппаратура с аналоговой записью колебаний по трём компонентам. Однако одна станция в этом районе не может радикально решить вопрос о качественно новом информационном уровне исследования сейсмичности. Действительно, уровень представительности не был существенно понижен, в каталогах не произошло значительного увеличения количества регистрации землетрясений.

В 2000 – 2001 гг. на территории Казахстана были введены в строй две новые сейсмические группы, входящие в Международные системы сейсмического мониторинга. Это сейсмические группы Маканчи (MKAR) в Восточном Казахстане и Каратау (KKAR) в Южном Казахстане. По степени аппаратурной оснащенности они превосходят все имевшиеся до этого казахстанские сейсмические станции и входят в число лучших станций мира. Каждая из них имеет по 9 пунктов наблюдений, апертура группы составляет примерно 4 км. Станции оснащены приборами, установленными в скважинах, среди которых один широкополосный трёхкомпонентный и девять однокомпонентных вертикальных сейсмометров. Тот факт, что KKAR и MKAR являются именно сейсмическими группами, а не отдельными сейсмическими станциями, позволяет с высокой точностью проводить локализацию близких событий даже без привлечения данных других станций. Обе группы обладают высокой чувствительностью к обнаружению сигналов, что обусловлено тщательным выбором мест установки приборов, с точки зрения поиска площадок с наименьшим уровнем сейсмического шума, установкой сейсмометров с эффективными характеристиками в скважинах, а также применением методов обработки сигналов, использующих преимущества групповой сейсмометрии. Сигналы с обеих групп в режиме реального времени поступают по спутниковым каналам связи в Центр данных ИГИ НЯЦ РК в г. Алматы, где производится их автоматическая и интерактивная обработка. На этой основе создаются сейсмологические бюллетени, анализ информации которых положен в основу данной статьи. Ниже представлены первые результаты детального изучения сейсмичности в районе сейсмических групп Каратау и Маканчи, которые по мере набора статистики будут уточняться.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ В РАЙОНЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КАРАТАУ

В течение 2002 г сейсмическая группа Каратау зарегистрировала около тысячи сейсмических событий на региональных (до 2000 км) расстояниях. С использованием этих данных проведён анализ сейсмичности территории радиусом 200 км, окружающей группу. На рисунке 1 показаны эпицентры сейсмических событий за июль-декабрь 2002 г. В число этих событий входят землетрясения, энергетические классы которых по шкале Раутиан Т.Г.[3] составляют от 1 до 10. Можно отметить, что на энергетическом уровне К< 6 здесь ранее вообще не было возможности регистрировать события.

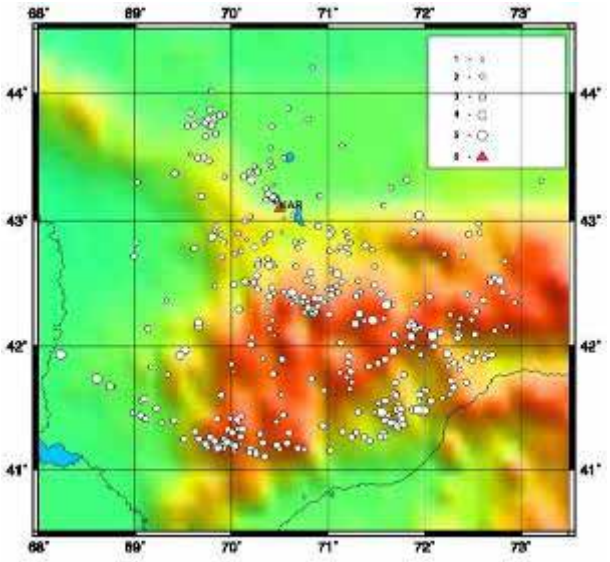
По своей тектонической приуроченности все зарегистрированные землетрясения могут быть разделены на пять групп. К первой группе отнесены землетрясения, связанные с таким крупным разломом, как Главный Каратауский разлом, являющийся северной частью главной структурной линии Тянь-Шаня, а также с Каратау-Таласским разломом северо-западного простирания. Последний проходит в непосредственной близости от сейсмической группы Каратау. Эти разломы в районе северной оконечности Ферганского хребта меняют направление на субширотное, согласующееся с направлением главных структур Тяеь-Шаня. Землетрясения, локализующиеся между этими крупными разломами, приурочены к разломам более высокого порядка северо-восточного, субширотного и северо-западного напрвлений. Узлы, где концентрация землетрясений особенно высока, связаны с местами пересечения и сочленения разломов разных направлений, в частности, главных разломов северо-западного направления и разломов второго порядка северо-восточного направления.

Ко второй группе отнесены события, связанные с крупным Северо-иссыккульским разломом, а именно, его северной частью северо-западного простирания и районом изменения этого направления на субширотное.

К событиям третьей группы отнесены события, приуроченные к Кумбельскому разлому второго порядка северо-западного простирания. Существенная концентрация землетрясений наблюдается в районе пересечения Кумбельского и Ангренского разломов.

Четвертая группа событий – это землетрясения, приуроченные к Северо-Ферганскому разлому.

Следует отметить наиболее северную группу эпицентров событий. Это промышленные взрывы на карьере Жанатас, расположенном к северо-западу от сейсмической станции. Записи этих взрывов архивируются и используются для разработки методик уверенного распознавания взрывов и землетрясений в данной области.



Магнитуда событий MPVA:1) M<1; 2) 1≤M≤2; 3) 2<M≤3; 4) 3<M≤4 5) M>4; 6) сейсмическая группа Каратау (KKAR).

Рисунок 1 Карта эпицентров сейсмических событий вблизи сейсмической группы Каратау за июль – декабрь 2002 г.

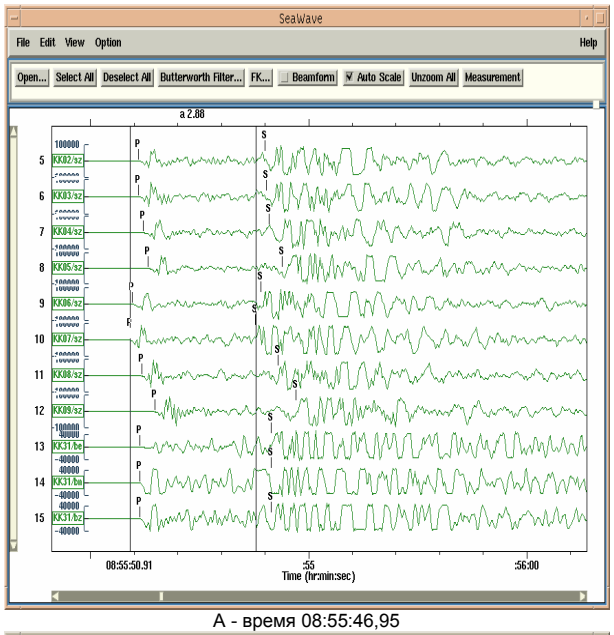
Наиболее интересные землетрясения в 2002 г в этом районе произошли 17 февраля 2002 г. Два толчка с разницей во времени 44 минуты произошли в непосредственной близости от станции и ощущались с интенсивностью 4 балла в г. Каратау и на станции. Основные параметры эпицентров этих землетрясений приведены в таблице 1.

Таблица 1 Основные параметры каратауских землетрясений 17.02.2002 г.

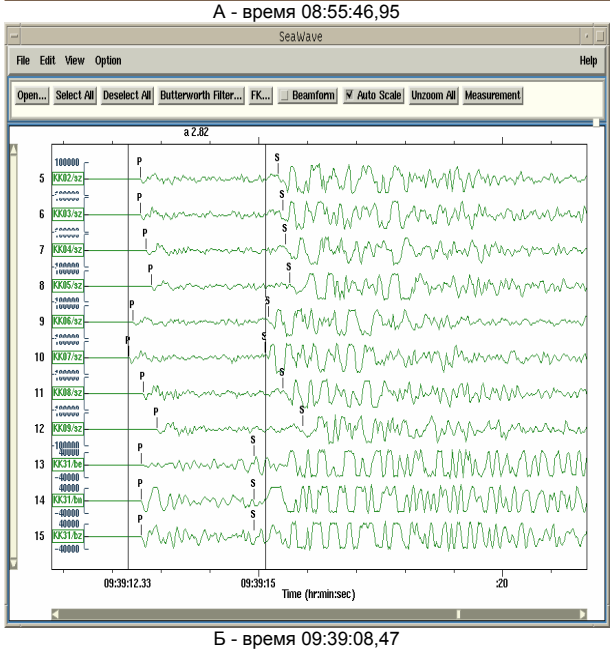
Дата, месяц, год	Время в очаге, GMT	φ^0, N	λ^0, E	h, км	K	MPVA
17.02.02	08.55.46.95	42,48	70,51	11,6	11,4	5,1
17.02.02	09.39.08.47	43,01	70,52	14,0	11,0	4,7

На рисунке 2 показаны фрагменты записей этих землетрясений по всем элементам сейсмической группы Каратау. Хорошо видно, что время запаздывания поперечной волны S относительно продольной волны P составляет менее 3 секунд, что свидетельствует о том, что землетрясения очень близки к станции - эпицентральные расстояния менее 20 км. Азимут, исходя из времен запаздывания P и S волн, – почти точно совпадает с направлением на юг от группы.

Для каждого решения рассчитаны и показаны эллипсы ошибок. Из рисунка 3 следует, что для данного района точность REB пока не соответствует требованиям Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), поскольку площадь эллипсов превышает требуемые 1000 км^2. Для первого землетрясения (REB1) эллипс даже не покрывает истинный эпицентр события.



А - время 08:55:46,95



Б - время 09:39:08,47

Рисунок 2. Фрагменты записей землетрясений 17.02.2002 г.

Оба землетрясения зарегистрированы станциями Международной системы мониторинга (МСМ), результаты их обработки вошли в обзорный сейсмологический бюллетень REB, издаваемый Международным центром данных (МЦД) в Вене. На рисунке 3 показано сравнение решений, полученных в Центре данных ИГИ НЯЦ РК (KazNDC1, KazNDC2), с решениями Международного Центра данных (REB1, REB2). При этом, данные станции Каратау не участвуют в решении МЦД, поскольку эта станция не входит в состав МСМ.

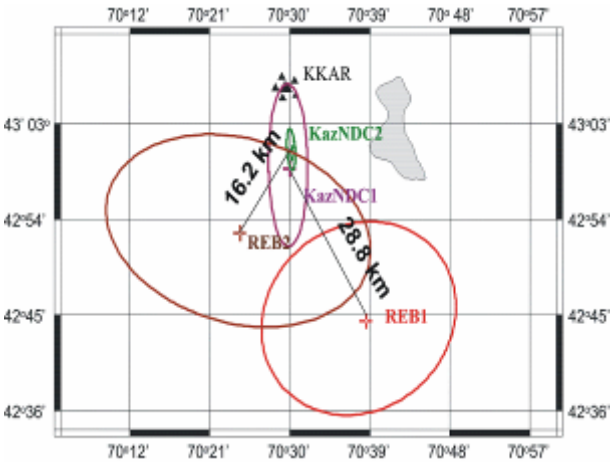


Рисунок 3. Сравнение решений, полученных в Центре данных ИГИ НЯЦ РК (KazNDC) и в МЦД (REB) по данным станции Каратау (KKAR)

Землетрясения, происшедшие 17.02.2002 г сопровождались форшоками и афтершоками. На рисунке 4 представлена гистограмма распределения по энергетическим классам всех землетрясений этой классической сейсмической группы: «форшок – главный толчок – афтершоки». В основном, афтершоки и форшоки характеризовались энергией менее 6 класса, самые слабые события имели класс около 1.

Во времени события распределены следующим образом. За полчаса до первого толчка зарегистрировано пять форшоков, последний из которых произошел за две минуты до первого главного события. В каталог афтершоков включено 43 землетрясения, основная масса которых произошла в первые сутки. Размеры очага, исходя из пространственного распределения очагов всей группы, составляют 10x11x14 км. Очаг приурочен к структурам хребта Каратау. Следует отметить, что регистрация такой группы событий в этом районе – явление достаточно редкое, а изучение её на столь низком энергетическом уровне осуществлено впервые. По имеющимся за полгода и стематизированным данным проведена оценка количественных параметров сейсмического режима путем построения графика повторяемости землетрясений для этой области (рисунок 5).

Определены значения сейсмической активности A10 и наклона графика повторяемости γ. График повторяемости построен по более, чем 400 событиям (N). После приведения N к T=1 году и S = 1000 км2 получено, что A10 = 0,06, γ = -0,41. Это значительно более высокие значения, чем те, которые можно встретить в литературных источниках, где для этого района A10 оценивалось значениями от 0,005 до 0,02 [1,4].

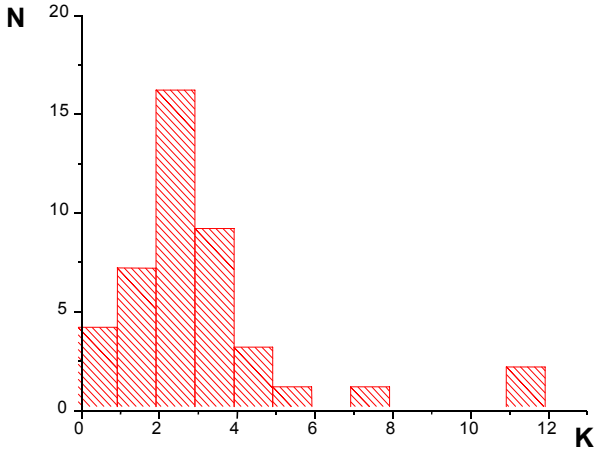


Рисунок 4. Гистограмма распределения по энергетическим классам афтершоков Каратаусских землетрясений 17.02.2002 г.

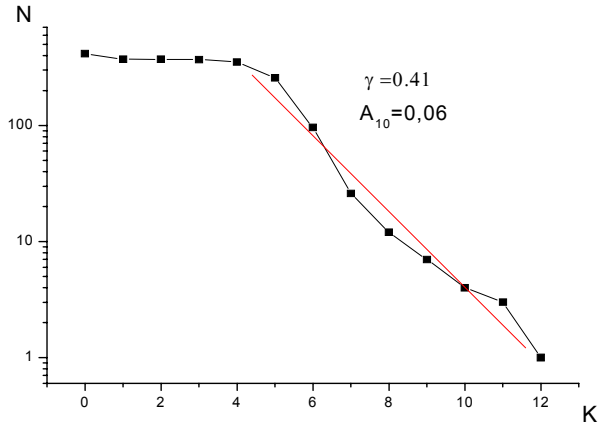


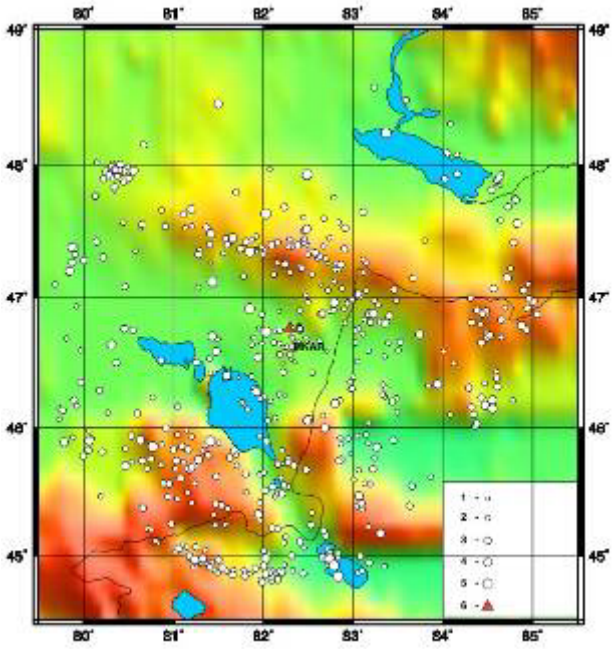
Рисунок 5 График повторяемости землетрясений по данным сейсмической группы Каратау в радиусе 200 км

Исходя из полученного графика повторяемости землетрясений, можно утверждать, что для района в радиусе 200 км вокруг сейсмической группы Каратау, начиная с 2002 г, представительными являются землетрясения с энергетическим уровнем K_{min} = 5. Таким образом, с вводом в действие сейсмической группы Каратау энергетический уровень представительности регистрируемых землетрясений снижен на 3-4 единицы.

Сейсмический режим в районе сейсмической группы Маканчи

Сейсмическая группа Маканчи за 2002 г на территории в радиусе 200 км зарегистрировала около 1200 землетрясений. Диапазон энергетических классов событий изменяется от 1 до 12. На рисунке 6 представлены эпицентры землетрясений вокруг сейсмической группы Маканчи за тот же период, что для сейсмической группы Каратау (июль – декабрь 2002 г). Сейсмические события севернее станции Маканчи группируются вблизи структур северо-западного направления, связанных с Тарбагатайской зоной. Их эпицентры приурочены к крупным разломам – Тарбогатайскому, Западно – Чингизскому, Восточно - Чингизскому, Калба – Чингизскому.

На юге чётко проявляет себя зона северо-западного и близширотного простирания, связанная, скорее всего, с южным продолжением Центрально-Казахстанского разлома, который в районе Джунгарского хребта меняет своё направление с северо-западного на широтное.



Магнитуда событий MPVA: 1) M<1; 2) 1≤M≤2; 3) 2<M≤3; 4) 3<M≤4; 5) M>4; 6) сейсмическая группа Маканчи (MKAR)

Рисунок 6 Карта эпицентров землетрясений с очагами вблизи сейсмической группы Маканчи за июль – декабрь 2002 г.

Отмечен ряд землетрясений в районе озера Зайсан, приуроченных к Северо-Зайсанской зоне разлома.

Наиболее сильным событием в 2002 г явилось землетрясение 28 ноября 2002 г в 95 км к северу от Маканчи (таблица 2).

Таблица 2. Основные параметры землетрясения 28.11.2002 г

Дата, месяц, год	Время в очаге, GMT	φ^0, N	λ^0, E	h, км	K	MPVA
28.11.2002	18.53. 33.82	47,64	82,03	26	12,1	5,2

Землетрясение интенсивностью 4 балла ощущалось в ряде населенных пунктов Восточного Казахстана, в том числе сотрудниками станции Маканчи. Землетрясение имело два форшока и серию афтершоков.

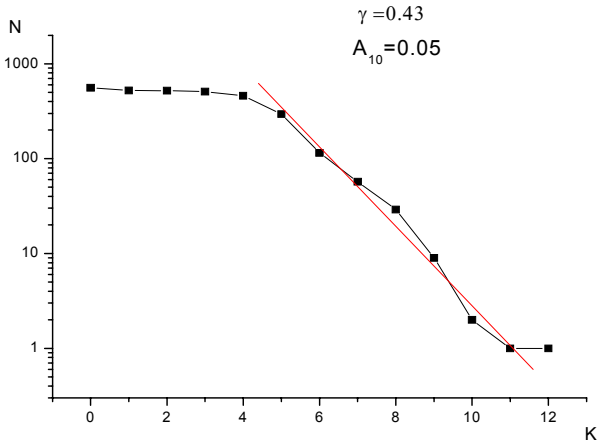


Рисунок 7. График повторяемости землетрясений по данным сейсмической группы Маканчи в радиусе 200 км

Для этой территории, также как для территории вблизи сейсмической группы Каратау, проведена оценка параметров сейсмического режима - A_{10} и γ. На рисунке 7 приведён полученный график повторяемости землетрясений. Из него можно сделать вывод о представительной регистрации землетрясений в этом районе, начиная с $K_{min} = 5$. После нормирования N определено: $A_{10} = 0{,}05$, $\gamma = -0{,}43$. Если сравнить полученные значения параметров активности с аналогичными значениями, взятыми из разных литературных источников, то можно констатировать, что полученные значения значительно выше, чем ранее принятые для характеристики средней активности Алтай-Тарбагатайской зоны. Последние составляют $A_{10} = 0{,}018$ при $\gamma = -0{,}46$ [4]. Как и для Каратауского района, заниженные значения опубликованных характеристик может быть связано с недостатком статистических данных по слабой сейсмичности.

Если сравнивать уровень сейсмической активности, оцененный по новым данным вблизи сейсмических групп Маканчи и Каратау с районом г, Алматы, то вблизи Алматы, в хребтах Заилийский и Кунгей Алатау сейсмическая активность значительно более высокая и составляет примерно 0,15 – 0,20 [5].

Таким образом, можно утверждать, что после ввода в действие двух станций Каратау и Маканчи появилась возможность значительно повысить эффективность сейсмического мониторинга в двух промышленных районах Казахстана, очень важных с точки зрения прогноза сейсмической опасности. Детальное изучение сейсмичности по событиям с $K \geq 5$ показало, что сейсмическая активность здесь достаточно высока и её нельзя недооценивать в работах по сейсмическому районированию и долгосрочному прогнозу землетрясений.

Анализ данных, получаемых станциями, продолжается, В частности, начато изучение временных вариаций количества регистрируемых слабых землетрясений с целью выявления эффектов, свидетельствующих о геодинамических процессах в этих районах.

Литература

1. Сейсмическое районирование Республики Казахстан. – Алматы: Эверо, 2000. – 219 с.
2. Нурмагамбетов А., Сыдыков А., Тимуш А.В., Михайлова Н.Н. и др. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г//Землетрясения в СССР в 1990 г. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. – С. 54-60.
3. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях 3000 км//Труды ИФЗ АН СССР. – 1964. - № 32 (199). - С. 72-98.
4. Сыдыков А. Сейсмический режим и прогнозирование сейсмической опасности в Казахстане: Автореферат докт. Диссертации. – М. – 2003. - 47с.
5. Бейсенбаев Р.Т., Калмыкова Н.А., Неверова Н.П. Землетрясения Северного Тянь-Шаня//Землетрясения Северной Евразии в 1996 г. М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 67-70.

МАҚАНШЫ ЖӘНЕ ҚАРАТАУ ЖАҢА СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОПТАРЫН ҚОРҒАЙТЫН АУДАНДАРДЫҢ СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫ

Михайлова Н.Н., Вольф Н.А., Синёва З.И.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ

Әлемдік деңгейіндегі Мақаншы және Қаратау сейсмикалық топтарын пайдалануға енгізген соң Шығыс және Онтүстік Қазақстанның сейсмикалық режімін бұрынғыдан гөрі 3-4 рет төменгі энергетикалық деңгейінде зерделеуге мүмкіншілік пайда болды. Әлсіз және микро жер сілкінулерін қолданып, белсенді линеаменттерді дәлділеу трассалауға және аумақтың сейсмикалық режімі параметрлерінің варияцияларын қадағалауға мүмкіншілік туды. Нәтижелердің, сейсмикалық қауіптілігін бағалау және Қазақстан аумағының сейсмикалық аудандау жаңа карталарын әзірлеуімен байланысты мәселелерді шешу үшін, маңызды мәні бар.

SEISMICITY OF REGIONS SURROUNDING THE NEW SEISMIC ARRAYS OF MAKANCHI AND KARATAU

N.N. Mikhailova, N.A. Volf, Z.I. Sinyeva

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

Upon putting into operation two seismic stations Makanchi and Karatau of world importance, appeared an opportunity to study seismic conditions of eastern and southern Kazakhstan at the energy level of events 3-4 orders below than it was earlier. Using weak and micro earthquakes, the accurate tracing of active lineaments and tracking of parameter variations of territorial seismic activity became more possible. The results have an important significance for solving tasks associated with estimation of seismic danger and development of the new seismic zoning plans of the Kazakhstan territory.

УДК 550.348(574.3)

О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА

[1)]Михайлова Н.Н., [2)]Полешко Н.Н.

[1)]Институт геофизических исследований НЯЦ РК, г. Курчатов
[2)]Институт сейсмологии МОН РК, г. Алматы

В [2-4] приведены первые сведения, полученные специалистами Института геофизических исследований НЯЦ РК, о землетрясениях в так называемых "асейсмичных" районах Казахстана. Центральный Казахстан относится к таким районам, о существовании в которых сейсмически активных зон до последнего времени не было известно. С вводом в действие сети станций НЯЦ РК, здесь зарегистрирован ряд землетрясений с магнитудой mb до 5,0. В статье впервые определены механизмы очагов для двух сейсмоактивных зон Центрального Казахстана, установлены характеристики напряжённо-деформированного состояния этого района, которые сопоставлены с параметрами сейсмотектонической деформации Северного Тань-Шаня и Джунгарии. Полученные результаты важны для понимания протекания геодинамических процессов на обширной территории Центральной Азии.

Территория Центрального Казахстана традиционно считается асейсмичной, До последнего времени, согласно существующим каталогам землетрясений Казахстана, начиная с исторических времён, здесь не отмечено ни одного землетрясения. По ныне действующей в Казахстане карте сейсмического районирования, включённой в «Строительные нормы и правила РК» [1] этот район также отнесён к асейсмичным, где сейсмические воздействия выше 5 баллов по шкале MSK – 64 не ожидаются.

Взгляд на сейсмическую опасность этого района радикально изменился после произошедшего в августе 2001 г землетрясения с магнитудой M_s = 5,0, которое было названо Шалгинским по названию ближайшего к эпицентру населённоого пункта, где зарегистрированы сейсмические колебания интенсивностью 6 баллов. Землетрясение было детально изучено специалистами ИГИ НЯЦ РК. Были проведены макросейсмическое обследование, инструментальная регистрация афтершоков, сопоставлены и проанализированы решения в отношении параметров гипоцентра по результатам обработки данных различными Центрами. Результатам комплексного изучения Шалгинского землетрясения посвящена работа [2].

Ретроспективный анализ цифровых записей станций ИГИ НЯЦ РК, начавших работу в составе НЯЦ РК с 1994 г, позволил выявить ещё ряд землетрясений в асейсмичных районах Казахстана, в том числе и в Центральном Казахстане. Этому вопросу был посвящен ряд работ [3-5]. Составлен каталог событий в «асейсмичных» районах Казахстана, который постоянно пополняется новыми данными.

По мировым данным, представленным в сейсмологических бюллетенях Международных центров (ISC, PIDC, IDC, GSRAS) было обнаружено ещё несколько событий в различных районах Казахстана, не считавшихся ранее сейсмичными. Таким образом, внимание сейсмологов было привлечено к этим новым, ранее неизвестным районам, где происходят активные геодинамические процессы, проявляющиеся в виде серии довольно значительных землетрясений с магнитудой, достигающей 5.

Предыдущие публикации по землетрясениям в Центральном Казахстане [2-5] имели целью показать, что здесь происходят землетрясения, их очаги приурочены к определенным геологическим структурам района. Так, в Центральном Казахстане были выделены две основные зоны генерации землетрясений - Жезказганская и Шалгинская, В Жезказганской зоне с 1994 г зарегистрировано три землетрясения энергетического класса, равного и превышающего 11,0 (магнитуда более 4). Все они ощущались в ряде населенных пунктов вблизи г, Жезказган. В Шалгинской зоне зарегистрировано одно землетрясение с магнитудой M_s = 5,0 (по данным ИС МОН РК - M_s = 5,4) и шесть афтершоков.

В настоящей работе впервые определены механизмы очагов землетрясений в Центральном Казахстане и сделаны выводы о характере сейсмотектонической деформации, Землетрясения рассматриваются в двух вышеупомянутых зонах.

Механизм очага Шалгинского землетрясения

Эпицентр Шалгинского землетрясения располагается в северной части Бурунтауского антиклинория, входящего в северо-восточное Прибалхашское крыло Чу-Илийского мегантиклинория. Структура Бурунтауского антиклинория разбита разрывными нарушениями различной ориентировки. Выделяется несколько систем разломов. Первая – генеральная система северо-западного простирания (Жалаир-Найманский, Атасу-Балхашский, Шалгинский и др.). Вторая – поперечная система разломов северо-восточного простирания. Эпицентр главного толчка находился с северной стороны поперечного разлома, с которым связаны и эпицентры афтершоков [2]. Параметры главного толчка этого землетрясения, по данным Центра данных ИГИ НЯЦ РК, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры Шалгинского землетрясения

Дата	Время в очаге	Широта, N	Долгота, E	Глубина, км	M_s	MPV	K
22.08.01	**15.57.57.7**	**47,20**	**70,20**	**19**	**5,0**	**5,4**	**13,2**

Для определения механизма очага использованы сведения о направлениях (знаке) первых движений в продольных волнах.

В качестве исходного материала были привлечены данные сейсмических станций сети НЯЦ РК, сейсмологической опытно – методической экспедиции ИС МОН РК (СОМЭ ИС МОН РК), опытно – методической сейсмологической экспедиции ИС НАН КР (ОМСЭ ИС НАН КР), а также ряда российских и мировых станций, опубликованные в сейсмологических бюллетенях Центра сейсмической информации Геофизической службы РАН. По станциям НЯЦ РК использованы цифровые записи событий, по станциям других служб знаки первых движений определялись по аналоговым фотозаписям. Всего определено 47 знаков первых вступлений Р-волн, из них 32 знака снято непосредственно с сейсмограмм. Расчёт параметров механизма очага землетрясения проводился по программе Масаки Накамура [6]. Распределение наблюденных знаков позволило получить два равновероятных варианта решения задачи, степень согласованности используемых знаков в которых практически одинакова – она составляет 80%, а разброс значений определяемых параметров не превышает 16°. В таблице 2 приведены возможные вариации значения центрального угла, характеризующие точность определения основных параметров механизма очага Шалгинского землетрясения - угла выхода осей напряжения и полюсов плоскостей разрыва.

Таблица 2. Точность определения основных параметров механизма очага Шалгинского землетрясения

Параметр	Центральный угол
Ось сжатия (P)	**6°**
Ось растяжения (T)	**16°**
Промежуточная ось (N)	**0°**
Ось A (пл. 2)	**14°**
Ось B (пл. 1)	**4°**

В таблице 3 приведены результаты определения самих параметров механизма очага Шалгинского землетрясения: осей (сжатия P, растяжения T, промежуточной N), плоскости разрыва (азимут простирания Str, угол падения Dip, угол скольжения Slip).

Таблица 3. Параметры механизма очага Шалгинского землетрясения

N	P	T	N	1 плоскость	2 плоскость
	Azm° Pl°	**Azm° Pl°**	**Azm° Pl°**	**Str Dip Slip**	**Str Dip Slip**
1	**191 0**	**101 65**	**281 25**	**78 50 57**	**305 50 124**
2	**16 19**	**112 16**	**239 64**	**244 88 -25**	**336 64 -178**

На рисунке 1 показаны стереограммы механизма очага, полученные в двух вариантах – а, б.

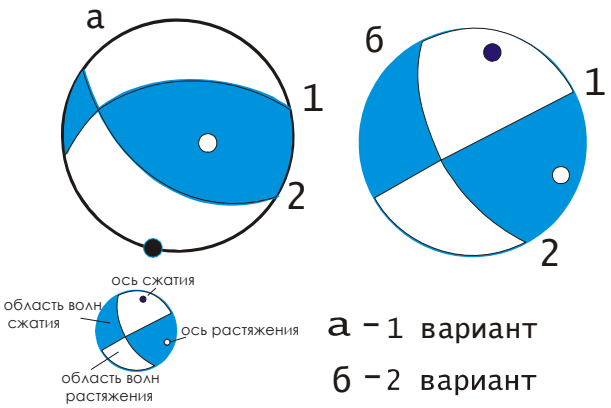


Рисунок 1. Стереограммы механизма очага землетрясения 22.08.2001 г.

Первый вариант (рисунок 1а)**.** В очаге землетрясения произошел взброс с незначительной сдвиговой составляющей по обеим возможным плоскостям разрыва.

Второй вариант (рисунок 1б). В очаге землетрясения произошел сдвиг.

В обоих вариантах, несмотря на различие характера подвижки в очаге, наблюдается подобие в ориентации нодальных плоскостей и осей напряжений, Первая плоскость имеет северо-восточное простирание и падение, в первом варианте 50° на юго-восток, а во втором - вертикальное, Простирание второй плоскости – северо-западное. Падение лежачего крыла на северо-восток под углом 50° и 60°.

Оси напряжений сжатия в обоих случаях близгоризонтальны и ориентированы близмеридионально, с небольшим отклонением на северо-восток от меридиана.

Оси напряжений растяжения имеют близширотное простирание при различных углах наклона к горизонту: в первом варианте довольно крутое, во втором – близгоризонтальное.

Для выбора из двух возможных плоскостей разрыва наиболее вероятной были привлечены дополнительные сведения об очаге землетрясения. Во-первых, по макросейсмическим данным была построена карта изосейст землетрясения. Эллипсы изосейст, как следует из [2], вытянуты в северо-восточном направлении, что может свидетельствовать о происшедшем разрыве в очаге, который распространялся именно в этом направлении. Азимут большой оси эллипса изосейст может варьировать в силу малого количества обследованных пунктов в диапазоне 50°–65°. Эпицентры афтершоков Шалгинского землетрясения также вытянуты в цепочку северо–восточного направления (Az=70°). В [2] сделано предположение о приуроченности очага главного

толчка к поперечному разлому северо-восточного направления. Для выяснения вопроса о наиболее вероятном механизме очага и действующей плоскости разрыва на рисунке 2 объединены все имеющиеся сведения об очаге Шалгинского землетрясения - об азимутах большой оси эллипса изосейст, эпицентрах афтершоков, нодальных плоскостях.

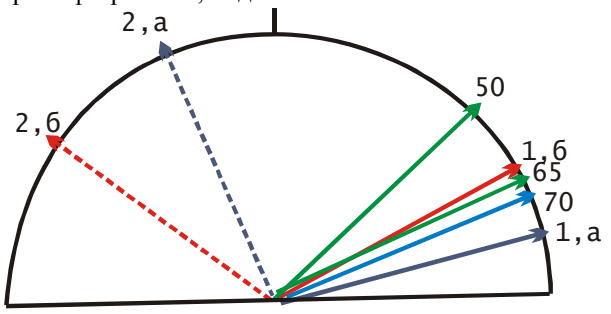


Рисунок 2. Сводные данные об азимутах большой оси эллипса изосейст, эпицентров афтершоков, нодальных плоскостей в решениях механизмов очагов Шалгинского землетрясения

Здесь: 1а и 2а - азимут первой и второй плоскостей разрыва из варианта решения, приведенного на рисунке 1а, 1б и 2б – азимут тех же плоскостей из второго варианта решения, приведенного на рисунке 1б, зеленые стрелки - диапазон азимутов плоскости разрыва по макросейсмике, синяя стрелка - азимут плоскости разрыва по афтершокам. Из рисунка видно, что разнородные сведения, характеризующие процесс разрывообразования в очаге Шалгинского землетрясения, тяготеют к северо-восточному простиранию плоскости разрыва по азимуту приблизительно 244о (обратный азимут 64о). Таким образом, наиболее вероятно, что движение в очаге произошло вдоль плоскости I б (рисунок 1). Плоскость крутопадающая, по этой плоскости проявился левосторонний сдвиг. Напряжения в районе очага, которые могут вызвать такой разрыв, должны быть близгоризонтальными. При этом, напряжения сжатия направлены близмеридионально, а напряжения растяжения – близширотно.

Механизмы очагов землетрясений Жезказганской зоны

Выявленные очаги в Жезказганской зоне расположены очень компактно. Среди исследователей существует предположение о провоцировании сейсмической активности в этом районе интенсивными разработками полезных ископаемых, многочисленными карьерными взрывами, проводимыми здесь в течение десятков лет, Однако здесь имеет место и естественная активность. Район отличается сложной тектонической ситуацией. Все очаги землетрясений приурочены к границе Улутауского мегосинклинория с Жезказганским синклинорием и связаны с зоной пересечения разнонаправленных региональных разломов.

Механизмы очагов построены для трёх самых сильных землетрясений, из числа зарегистрированных в последние годы. Основные параметры этих землетрясений по данным Центра данных ИГИ НЯЦ РК приведены в таблице 4.

Таблица 4. Основные параметры землетрясений Жезказганской зоны

Дата	Время в очаге	Широта, N	Долгота, E	Глубина, км	MPV	K
01.08.1994	04.15.39,7	47,83	67,45	20	4,6	12,2
23.06.1996	04.15.39,7	47,91	67,57	0-5	4,2	11,0
09.09.2002	18.28.26,7 22.26.59,7	47,87	67,41	0	4,1	11,6

Поскольку рассматриваемые землетрясения по энергии слабее Шалгинского, то вполне естественно, что количество определенных знаков первых движений для каждого из них существенно меньше. Знаки определялись, как и в случае Шалгинского землетрясения, по аналоговым сейсмограммам СОМЭ ИС МОН, по цифровым записям станций ИГИ НЯЦ РК, дополнялись знаками из бюллетеней ЦСИ ГС РАН по станциям России. Отмечено, что на одних и тех же станциях наблюдений, знаки первых движений абсолютно одинаковы для всех трёх событий. Степень согласованности наблюденных знаков составляет 89% для землетрясений 1994 и 2002 гг. и 80% для землетрясения 1996 г. Механизмы очагов 1996 г и 2002 г определены достаточно точно - разброс значений параметров не превышает 5^o и 7^o (таблица 5). Количество исходных знаков 15 и 18, соответственно.

Решение механизма землетрясения 1994 г получено только по девяти знакам первых движений довольно слабой интенсивности. Вариации параметров в решении механизма очагов землетрясений довольно значительны – от 9^o до 22^o (таблица 5).

Таблица 5. Точность определения параметров механизма очагов землетрясений в Жезказганской зоне

Параметры	Центральный угол		
	1994 г,	1996 г,	2002 г,
Ось сжатия (P)	**20^o**	**0^o**	**3^o**
Ось растяжения (T)	**11^o**	**2^o**	**7^o**
Промежуточная ось (N)	**22^o**	**5^o**	**7^o**
Ось A (пл.2)	**9^o**	**2^o**	**5^o**
Ось B (пл.1)	**14^o**	**4^o**	**5^o**

Полученные с использованием той же программы [6] решения механизма очага землетрясений представлены на рисунке 3 и в таблице 6.

Можно отметить, что полученные решения подобны. Это может свидетельствовать о единой системе напряжений, в которых формируются очаги Жезказганской зоны. Характер подвижек в очагах этих землетрясений определён как сдвиго-взброс по обеим нодальным плоскостям, со значительным преобладанием сдвиговой компоненты. Азимут простирания первой плоскости имеет северо-западное направление, которое варьирует от близмеридионального (событие № 3 из таблицы 4) до 319^o (событие № 2 из той же таблицы). Угол падения плоскости изменяется от 48^o до 71^o. Направление осей

напряжения сжатия близгоризонтальное. Для землетрясений № 1 и № 3 оси ориентированы на юго-запад и близмеридионально, а для землетрясения № 2 - отклонены от меридиана на 42° к северо-востоку. Ориентация напряжений растяжения – от близширотного до 139° на юго-восток. Угол наклона к горизонту изменяется от 32°-до 45°.

На рисунок 4 вынесены механизмы очагов всех исследуемых землетрясений Центрального Казахстана.

Видно, что механизмы очагов обеих зон очень похожи. Можно сделать выводы, что во всём регионе Центрального Казахстана существует единая система напряжений. Направления плоскостей совпадают с имеющими место генеральными разломами, а также с поперечными разломами [2]. Одна из нодальных плоскостей этих землетрясений ориентирована на север, северо-запад и довольно круто падает на восток, северо-восток. Вторая из плоскостей простирания также круто падает на юг, юго-восток. Во всех очагах имеет место сдвиг, в некоторых из них, с незначительной взбросовой компонентной.

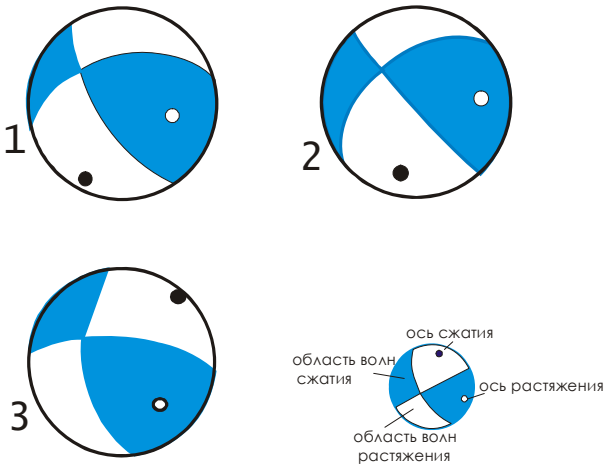


Рисунок 3. Стереограммы механизма очагов землетрясений 1994, 1996, 2002 гг. (номера соответствуют таблице 6)

Таблица 6. Параметры механизма очагов землетрясений в Жезказганской зоне

N	Год землетрясения	P	T	N	1 плоскость	2 плоскость
		Azm° Pl°	Azm° Pl°	Azm° Pl°	Str Dip Slip	Str Dip Slip
1	1994	206 13	102 45	308 42	328 70 136	75 48 27
2	1996	193 25	86 32	313 47	319 86 138	52 48 6
3	2002	42 9	139 38	301 50	354 57 158	96 71 36

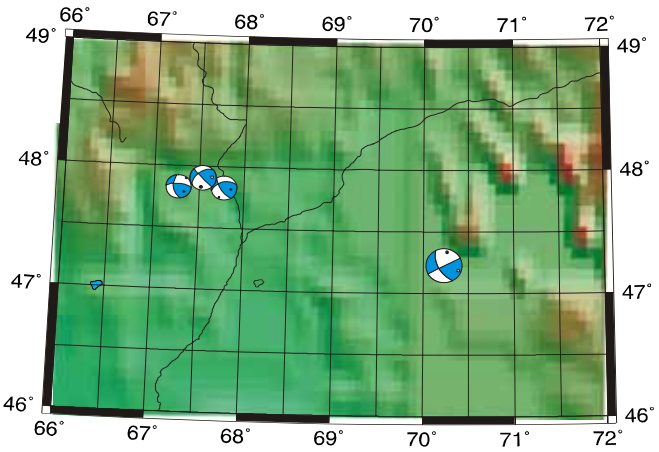


Рисунок 3. Эпицентры землетрясений в Центральном Казахстане с результатами определения механизма очагов

Сравнение условий сейсмотектонической деформации для различных районов Казахстана

Итак, впервые для Центрального Казахстана получены данные о системе напряжений, приводящих к сейсмическим явлениям в этом регионе. Представляло интерес провести сопоставление полученных результатов с известными данными для других районов Казахстана.

В [7,8] довольно подробно были изучены характеристики сейсмотектонической деформации и параметры разрывообразования на Северном Тянь-Шане и в Джунгарии. К настоящему времени накоплен очень представительный статистический материал по механизмам очагов более чем 7000 землетрясений для юга и юго-востока Казахстана и прилегающих районов Кыргызстана (Северный Тянь – Шань, Южная Джунгария).

При проведении сравнения за направление оси сжатия для районов юго-востока Казахстана и прилегающих территорий Кыргызстана взято рассчитанное направление оси P - тензора сейсмотектонической деформации (СТД). Расчёт тензора проводился по ячейкам размером 2°x2°. На рисунке 5 приведена карта, на которую вынесены направления оси P - тензора СТД и направления осей напряжений сжатия для землетрясений Центрального Казахстана.

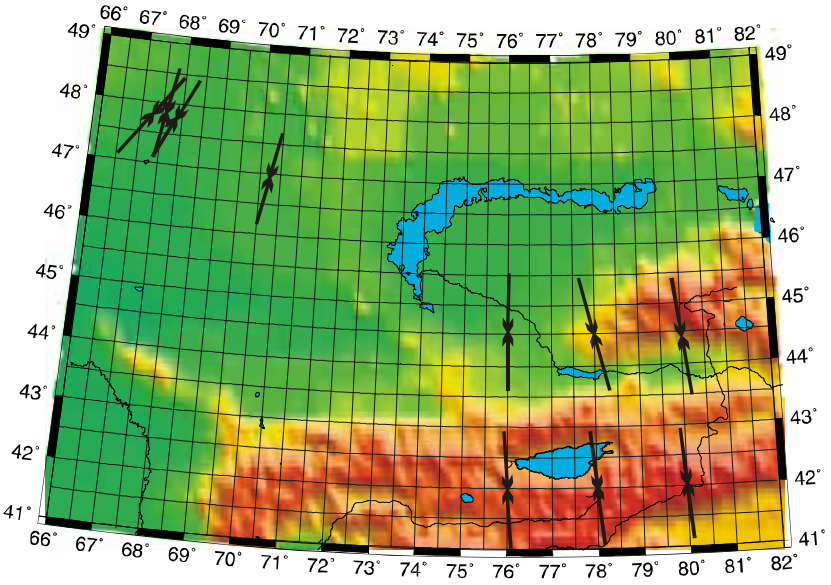


Рисунок 3. Карта осей напряжения сжатия

Выше уже отмечалось, что для Северного Тянь-Шаня и Джунгарии характерно устойчивое близмеридиональное направление оси напряжений сжатия, как по всей территории, так и во времени, а также для разных энергетических и глубинных диапазонов. Угол её наклона к горизонту составляет 0^o -10^o, что свидетельствует о близгоризонтальном сжатии. Данные, полученные для Центрального Казахстана, по двум исследованным зонам показывают, что направления осей сжатия также близгоризонтальны (3^o - 25^o к горизонту), но они отклонены от меридиана на угол от 13^o до 42^o. Можно сказать, что все землетрясения в Центральном Казахстане произошли в условиях действующих в районе напряжений сжатия север - северо-восточного направления.

Обсуждение результатов

Благодаря тому, что в последние годы начала действовать новая цифровая сеть станций НЯЦ РК, появилась возможность совместного использования данных этой и других сейсмологических сетей, действующих на территории Казахстана, а также благодаря привлечению данных, получаемых станциями Кыргызстана и России, удалось дополнить полученные ранее сведения о сейсмичности Центрального Казахстана очень важной информацией о механизмах очагов произошедших землетрясений. Получены совершенно новые результаты о системе напряжений в этом регионе. По ряду характеристик ситуация в Центральном Казахстане подобна Северному Тянь-Шаню и Джунгарии. Так, действующие напряжения сжатия близгоризонтальны и незначительно отклонены от меридиана. Если говорить о величинах напряжений сжатия, то, по - видимому, на Тянь-Шане они больше, чем в Центральном Казахстане, поскольку большинство землетрясений с магнитудой M>4 там имеет тип подвижек со значительной взбросовой компонентной (взбросы, взбросо-сдвиги). Здесь же все подвижки характеризуются сдвигом (либо незначительной взбросовой компонентной). Конечно, для уверенных выводов имеющаяся статистика пока недостаточна. Однако то, что все исследованные землетрясения в Центральном Казахстане имеют однотипные решения механизма очагов, говорит о достаточно надёжной базе для интерпретации. Следует подчеркнуть, что анализировались только сильные события, с магнитудой M>4, которые несут достоверную информацию о действующей региональной системе напряжений, поскольку их очаги приурочены к главным региональным разломам, в то время как слабые землетрясения могут снимать локальные напряжения, характерные лишь для области, ближайшей к их эпицентру.

Полученный материал даёт важную информацию для построения геодинамической модели огромного региона. Наряду с имеющимися богатыми данными по геологии и тектонике Центрального Казахстана, новыми данными о сейсмичности, данными последних лет по глобальному позиционному зондированию больших территорий, материалы по сейсмотектоническому деформированию, полученные на основе механизмов очагов землетрясений, позволят переосмыслить происходящие в Центральном Казахстане процессы и перейти к качественно новым представлениям о сейсмической опасности данного региона.

Литература

1. СН и П РК В.1.2-4.48. Строительство в сейсмических районах/Комитет по жилищной и строительной политике Министерство энергетики, индустрии и торговли РК. - Алматы, 1998, - 39с.
2. Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н., Казаков Е.Н., Беляшов А.В.Шалгинское землетрясение в Центральном Казахстане 22.08. 2001 г//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. - С. 78-87.
3. Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н. О сейсмических событиях в малоактивных и асейсмичных районах Казахстана//Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов.- Воронеж, 2001. - С. 131-133.
4. Михайлова Н.Н. Новые данные о землетрясениях в «асейсмичных» районах Казахстана и карта сейсмического районирования//Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций/Труды Каз НИИССА, 2000. - Вып. 20(30). - С. 80-88.
5. N.N. Mikhailova, A.V. Belyashov Earthquakes in Central Kazakhstan – new view on seismic hazard in the region //Volumes of Abstracts of Symposium on Seismology/Earthquake Hazard Assessment and Risk Management. Kathmandu. Nepal, 2002. - С. 112-113.
6. Masaki Nakamura. Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of P and S waves//Physics of the Earth and Planetary Interiors, – 2002. - № 130. – Pp. 17-29.
7. Михайлова Н.Н., Власова А.А. Поле сейсмотектонической деформации и параметры разрывообразования на Северном Тянь-Шане//Изв. АН Каз ССР. Сер. геол,, – 1991. - № 4 -. С. 87-92.
8. Михайлова Н.Н. Сейсмическая опасность в количественных параметрах сильных движений грунта: Автореферат дисс. докт. физ.-мат. наук. – М.. 1996. - 48 с.

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАНДА ЖЕР СІЛКІНУЛЕР ОШАҚҚТАРЫНЫҢ МЕХАНИЗМЫ ТУРАЛЫ

[1)]Михайлова Н.Н., [2)]Полешко Н.Н.

[1)]ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ
[2)]ҚР БҒМ Сейсмология институты, Алматы қ

Қазақстанның «асейсмкалық» аталатын аудандарында жер сілкінулер туралы ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институтының мамандары алған бірінші мағлуматтар келтірілген [2-4]. Орталық Қазақстан, сейсмикалық белсенді зоналар болуы туралы қазіргі уақытқа дейін мәлімсіз болған аудандарға жатады. ҚР ҰЯО станциялары жүйесі пайдалнуға енгізілген соң осында магнитудасы 5,0 бір қатар жер сілкінулер тіркелген. Бұл ауданның сейсмикалық күйінің сипаттамалары белгіленген. Алынған нәтижелер Орта Азияның аумағында геодинамикалық процесстері өту туралы түсінік алуға маңызды.

ABOUT MECHANISMS OF EARTHQUAKE FOCUSES OF CENTRAL KAZAKHSTAN

[1)] N.N, Mikhailova, [2)] N.N. Poleshko

[1)]Institute of Geophysical Research NNC RK
[2)]Institute of Seismology MES RK

In [2-4] first information about earthquakes in so-called “aseismatic” regions of Kazakhstan obtained by the IGR NNC RK specialists were published. Until recently central Kazakhstan was not in part of seismically active regions of Republic. With putting into operation the NNC RK station network, a number of earthquakes with magnitude up to 5,0 were registered. In the present work focus mechanisms for two seismically active zones of central Kazakhstan were determined for the first time. Mode of deformation characteristics of this region which compared with seismotectonic deformation parameters of Northern Tien-Shan and Djungary were established. Obtained results are very important for understanding the geodynamic processes on vast territory of Central Asia.

УДК528.8(15):621.039.9

ВОЗМОЖНОСТИ КОСМОСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Мелентьев М.И., Великанов А.Е.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

Приводятся результаты работ по изучению воздействия подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на состояние дневной поверхности участка Балапан территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) с использованием материалов дистанционного космического зондирования. Оценивается информативность космоспектрального анализа при выявлении поствзрывных геодинамических изменений.

ВВЕДЕНИЕ

С 2001 г в Институте геофизических исследований НЯЦ РК проводятся работы по изучению воздействия ПЯВ на состояние дневной поверхности с использованием материалов дистанционного космического зондирования. В частности, проводятся исследования по участку Балапан на территории СИП, где подземные ядерные взрывы производились в скважинах глубиной около 500 м. Перспективность привлечения данных космических съёмок определена регулярностью их проведения и приемлемой (на уровне первых десятков метров) разрешающей способностью доступных данных. Так как подземные ядерные взрывы проводились с 1961 по 1989 г, то для изучения поствзрывных геодинамических процессов в качестве наиболее подходящих были определены съемки спутниковыми системами LANDSAT и SPOT. Спутники системы LANDSAT [1] начали функционировать с 1972 г и использовали многоспектральный сканер MSS, обеспечивающий съёмку в четырёх диапазонах видимого и ближнего инфракрасного участков спектра. С 1982 г на спутниках LANDSAT стали применять более совершенные сканеры – тематические картографы TM, затем ETM, ведущие съёмку в семи диапазонах спектра видимой и инфракрасной зон, включая дальнюю инфракрасную зону (тепловой канал). Система SPOT начала функционировать с 1986 г, проводя съёмку в трёх диапазонах спектра видимой и ближней инфракрасной зон [1]. Сравнительные данные по спектральным каналам спутниковых систем LANDSAT и SPOT приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика спектральных каналов спутниковых систем LANDSAT и SPOT

LANDSAT				SPOT		Зоны электромагнитного спектра отражения и излучения энергии земной поверхностью	
MSS Разрешение 57 м		TM, ETM Разрешение 28,5 м		Разрешение 20 м			
Канал	Спектральные диапазоны, мкм	Канал	Спектральные диапазоны, мкм	Канал	Спектральные диапазоны, мкм		
1 **2**	**0,50–0,60** **0,60–0,70**	**1** **2** **3**	**0,45–0,52** **0,52–0,60** **0,63–0,69**	**1** **2**	**0,50–0,59** **0,61–0,68**	**Голубой** **Зелёный** **Красный**	**Видимый диапазон спектра**
3 **4**	**0,70–0,80** **0,80-1,10**	**4**	**0,76–0,90**	**3**	**0,79–0,89**	**Ближняя инфракрасная зона**	
		5 **7**	**1,55–1,75** **2,08–2,35**			**Основная (средняя) инфракрасная зона**	
		6	**10,40–12,50**			**Дальняя инфракрасная зона (тепловой канал)**	
		PAN	**0,52–0,90 разрешение 14,3м**	**PAN**	**0,51–0,73 разрешение 10м**	**Панхроматический (расширенный обобщающий) канал**	

Как можно видеть из таблицы, обе системы позволяют изучать земную поверхность примерно в одинаковых каналах диапазонов спектра.

Для оценки динамики изменений земной поверхности по спектральным характеристикам необходимо было привлечь данные космического зондирования, распределенные во времени – до и после проведения подземных ядерных взрывов, а также обеспечить более точную геометрическую коррекцию снимков с использованием топоосновы масштаба не мельче 1:50000. В процессе подготовительных работ космические изображения, поступившие в виде поканальных цифровых матриц в форматах NDF и GeoTIFF, были переведены в имиджевые форматы основных рабочих программ ERDAS, ENVI. Из общей панорамы многоспектральных снимков LANDSAT и SPOT были вырезаны фрагменты, охватывающие участок Балапан. Проведена их дополнительная геометрическая коррекция с использованием топоосновы масштаба 1:50000. Для обеспечения совместного анализа данных дистанционного зондирования и других геолого-геофизических материалов, космические снимки и результаты их обработки были конвертированы из форматов программ ERDAS, ENVI в форматы программ MapInfo, Surfer.

При проведении космоспектрального анализа по участку Балапан были использованы следующие материалы:

- фотографический чёрно-белый космический снимок CORONA 1971 г с разрешением 10 м, покрывающий южную половину участка Балапан;
- два многоспектральных снимка LANDSAT-MSS за 12.05.1974 г и 07.08.1978 г с разрешением 57 м, включающие четыре канала в видимых и инфракрасных (ближняя зона) диапазонах спектра;
- панхроматический снимок SPOT за 1986 г с разрешением 10 м, смонтированный из двух смежных сцен космической съёмки;
- многоспектральный снимок LANDSAT-TM за 18.07.1989 г с разрешением 25 м, включающий семь каналов в видимых и инфракрасных диапазонах спектра (в том числе и тепловой);
- тепловой ночной снимок LANDSAT-TM за 16.06.1990 г с разрешением 28,3 м;
- многоспектральный снимок SPOT за май 1991 г с разрешением 20 м, включающий три канала в видимых и инфракрасном (ближняя зона) диапазонах спектра;
- многоспектральный снимок LANDSAT-ETM за 30.09.2001 г с разрешением 28,5м, включающий семь каналов в видимых и инфракрасных диапазонах спектра (в том числе и тепловой с разрешением 57 м) и один панхроматический канал с разрешением 14,3 м.

МЕТОДИКА СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО КОСМОЗОНДИРОВАНИЯ

Космоспектральный анализ снимков включал, прежде всего, выявление в спектрах отражения и излучения электромагнитных волн неоднородностей, которые изменяются в пространстве и во времени в связи с воздействием на дневную поверхность подземных ядерных взрывов. Методы классификации спектров и кластеризации спектральных изображений, обычно используемые при подобном анализе [4], были не применимы в связи с наличием на снимках участка Балапан разных лет большого количества изменений в помехах - дорогах, пашнях, пожарищах и сезонной обводнённости. Для выявления изменений в рельефе правомерно было использовать псевдорельефные представления отдельных (в основном инфракрасных) диапазонов спектра, в связи с тем, что имеется тесная связь между изменениями яркости спектра и изменениями рельефа местности. Возвышенные формы рельефа лучше отражают солнечную энергию и отображаются повышенными значениями яркости спектра. Пониженные формы рельефа, включая теневые уклоны, в большей мере поглощают и рассеивают солнечную энергию. Зависимость яркости спектра от характера рельефа усиливается в инфракрасных диапазонах спектра добавлением фактора излучения. Прогретые возвышенные части местности излучают тепло, а пониженные формы рельефа, из-за их большей обводнённости, остаются более холодными. Это проявляется в дополнительном повышении и понижении яркости спектра.

Задача состояла в наиболее удачном подборе параметров псевдорельефного представления одного из диапазонов инфракрасной зоны спектра. При этом к выбираемым параметрам относились расположение источника освещения и коэффициент рельефности. Учитывалось, что изменение вещесвенного состава земной поверхности с различными спектральными характеристиками, хорошо отображается в псевдоцветных RGB-комбинациях некоторых диапазонов спектра или их соотношений [3]. Кроме того, использовалось то обстоятельство, что панхроматические снимки с более высоким разрешением - до 10 – 15 м, позволяют уточнить расположение и конфигурацию некоторых выявленных структур. С учетом этого, для космоспектрального анализа были использованы изображения поверхности участка Балапан в различных диапазонах электромагнитного спектра, представленные как отдельными каналами в чёрно-белом полутоновом или псевдорельефном виде, так и в виде псевдоцветных RGB-комбинаций некоторых каналов. Анализу подвергались изображения всего участка Балапан и увеличенные фрагменты поверхности околоскважинного пространства отдельных скважин. В последнем случае использовался только диапазон ближней инфракрасной зоны электромагнитного спектра с длиной волны от 0,76 - 0,80 мкм до 0,90 – 1,10 мкм, во-первых, как наиболее информативный, а, во-вторых, как имевшийся в наличии во всех многоспектральных съёмках LANDSAT с 1974 ., а SPOT - в 1991 г. Увеличенные фрагменты снимков околоскважинного пространства размером 1×1 км или 2×2 км представлялись в виде карт изолиний значений градации яркости спектра в диапазоне от 0 до 255, а также в виде псевдорельефного представления цифровой матрицы ближней инфракрасной зоны.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМОСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Почти весь участок Балапан перекрыт чехлом рыхлых отложений. Вертикальная амплитуда рельефа местности изменяется здесь в пределах первых метров. Космоспектральный анализ дневной поверхности по всей территории участка позволил выявить ряд следующих изменений, приуроченных к местам проведения подземных ядерных взрывов: линейные провалы в чехле рыхлых отложений над обновлёнными тектоническими разломами; выбросы пород из скважин; вспучивание поверхности и провалы в околоскважинном пространстве, Ниже приведены примеры выявленных изменений земной поверхности.

В инфракрасных каналах диапазонов электромагнитного спектра на снимке 2001 г было замечено появление линейных зон северо-западного простирания, характеризующихся пониженными значе-

ниями спектра. Более чётко эти зоны проявились в виде линейных провалов на изображениях в псевдорельефном представлении теплового диапазона 10,40 – 12,50 мкм (6 канал) и инфракрасного диапазона 1,55 – 1,75 мкм (5 канал). При этом, часть линейных провалов хорошо отображается на длинах волн шестого канала, а другая – на длинах волн пятого канала.Причина неодинаковости отображения зон в разных диапазонах может быть связана, повидимому, с их разной обводнённостью. Трассирование этих зон за пределами участка в выходах коренных пород совпадает с местоположением тектонических разломов. Это позволяет считать, что линейные провалы в чехле рыхлых отложений участка Балапан появились над обновлёнными тектоническими разломами. Наиболее протяжённый и чёткий линейный провал в чехле рыхлых отложений проявился над известным региональным Чинрауским разломом, проходящим через центр участка Балапан (рисунок 1). На снимках в псевдорельефном представлении теплового канала излучения в 1989 г. (в год завершения ядерных испытаний) зона линейного провала только начинает проявляться в виде отдельных линейных элементов (рисунок 1 а), а в 2001 г. линейный провал проявился более полно как тёмная полоса с осветлённым северо-восточным краем (рисунок 1б). Рядом с ним, чуть ниже, виден другой линейный провал.

В большинстве случаев линейные провальные явления в рыхлых отложениях над тектоническими разломами произошли после завершения подземных ядерных испытаний. Это может быть объяснено постепенным обводнением тектонических разломов, обновлявшихся во время взрывов, и последующим постепенным промывом верхнего слоя пластичных неогеновых глин, перекрывающих фундамент коренных пород вместе с рыхлыми четвертичными суглинками. Следует подчеркнуть, что зоны линейных провалов над обновлёнными тектоническими разломами в тепловых диапазонах электромагнитного спектра, отмечаются как более холодные по отношению к вмещающей геологической среде. Этот факт противоречит представлениям некоторых исследователей о поступлении к земной поверхности горячих флюидов по глубинным тектоническим разломам [2].

Вопрос заслуживает дальнейшего изучения, чтобы не судить о территории полигона по ограниченному участку.

На рисунке 2 приведены результаты использования псевдоцветных RGB-комбинаций инфракрасных диапазонов спектра для изучения фрагмента поверхности в районе скважины 1207, в которой подземный ядерный взрыв мощностью 140 кт произведен 31 05 1974 г. Анализировались снимки Landsat за июль 1989 г (RGB-каналы 6, 7, 5) – рисунок 2а, Landsat за сентябрь 2001 г (RGB-каналы 6, 7,5) – рисунок 2б, Landsat за сентябрь 2001 г, панхроматический канал – рисунок 2в.

В окрестности скв. 1207 отмечается красное пятно, спектр которого соответствует теплоёмким породам, не характерным для поверхности. Было предположено, что оно связано с выбросом пород во время взрыва (радиус выброса до 1 км). Площадь пятна, зарегистрированного в 1989 г, по прошествии 12 лет на снимке 2001 г уменьшилась. Его внешние границы приблизились к усью скважины - источнику предполагаемого выброса пород. Это может быть связано с механическим и химическим выветриванием частиц теплоёмких пород. Сохранившаяся на снимке 2001 г наиболее интенсивноая часть красного пятна достаточно хорошо совпадает с аномалией Cs – 137, зафиксированной по данным аэрогаммаспектрометрической съёмки в 1995 г.

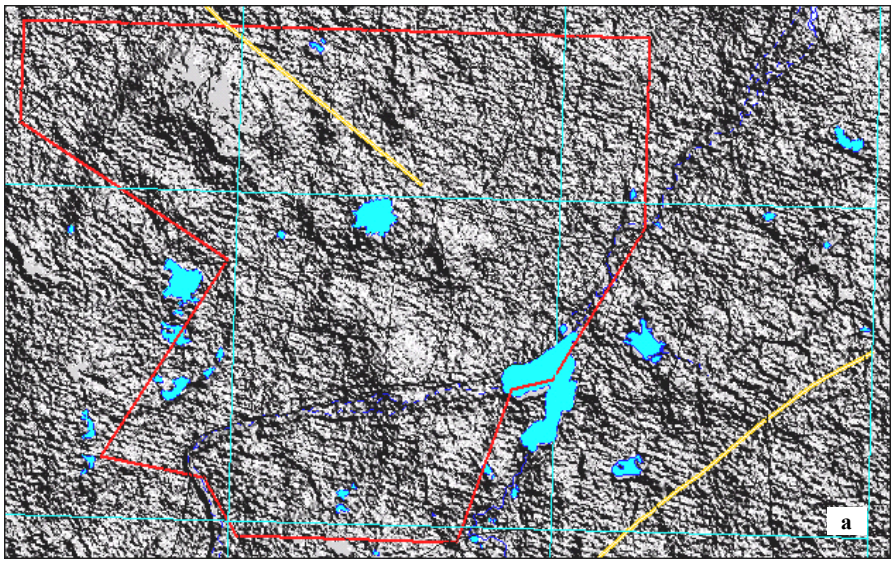
На детальном полутоновом панхроматическом снимке (рисунок 2в) хорошо видна овальная граница провала земной поверхности размером 350 × 450 м и остатки выброшенных теплоёмких пород с южной стороны скважины. Полевыми машрутами в 2003 г выбросы идентифицированы как буроцветные глинистые породы, характеризующиеся гамма - активностью 20 – 22 мкР/час с южной стороны скважины и 30 – 50 мкР/час в борту центральной воронки. Общий фон радиоактивности - 12 мкР/час (измерения с радиометром СРП-68). Размеры центральной воронки в плане - 100 × 120 м, глубина - 8 -10 м. На снимках отмечены и другие изменения. Так, в верхней части снимка 2001 г (рисунок 2б) зафиксированы изменения, которые связаны с ликвидацией шахтных пусковых установок, проведенной путем взрывов в начале 90-х годов.

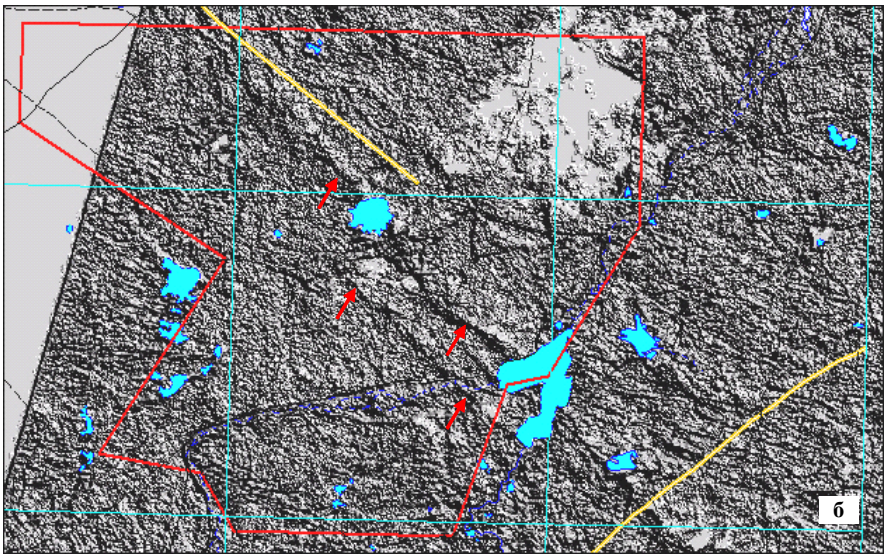
Полученная космическая информация и результаты полевой проверки дают основания отнести взрыв в скважине 1207, с выбросом пород и выходом радиоактивных продуктов взрыва на поверхность, к категории ядерных взрывов с нестандартной радиационной ситуацией.

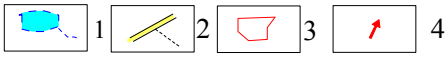
Для серии боевых скважин проведен анализ увеличенных фрагментов изображений поверхности в псевдорельефном представлении диапазона ближней инфракрасной зоны. Для многих из них установлен близкий характер изменений, вызванных подземными ядерными взрывами. Поствзрывная структура поверхности на снимках имеет концентрически-зональное строение - общее вспучивание околоскважинного пространства и центральный провал. Со временем эструктура изменяется под влиянием последующих процессов, происходящих как в геологической среде, так и в связи с денудацией поверхности. Описанный характер изменений иллюстрируется рисунком 3, на котором приведены псевдорельефные изображения эпицентральной площадки размером 1000Х1000 м в районе скважины 1204. Подземный ядерный взрыв мощностью 140 кт произведен в скважине на глубине около 480 м

10.12.1972 г. Представленные снимки охватывают 25 летний период времени: 1974 г, 1978 г, 1989 г, 1991 г, 2001 г. На рисунке видно, что внешняя граница общей зоны вспучивания имеет диаметр порядка 800 м. Первоначальная амплитуда вспучивания заметно увеличивается к центральной части. В последующем отмечается общая просадка пород и поверхности, вероятно в пределах первых метров. Наиболее чётко общая просадка в границах внешней зоны деструкции околоскважинного пространства наблюдается в 1991 г. Во внутренней зоне диаметром до 150 м околоскважинная деструкция горных пород вызвала просадку коренных пород и земной поверхности более 10 м.

В процессе обработки снимков установлен ряд отличительных деталей для разных скважин. Так, в отдельных случаях устье боевой скважины располагается у борта центрального провала, что, по всей видимости, вызвано неоднородностью геологической среды. У боевых скважин, расположенных в зоне влияния обновлённых тектонических разломов, преимущественно северо-западного направления, концентрическая граница внешней зоны деструкции околоскважинного пространства (общей просадки) на земной поверхности со временем стирается под влиянием процессов, происходящих в этих зонах.

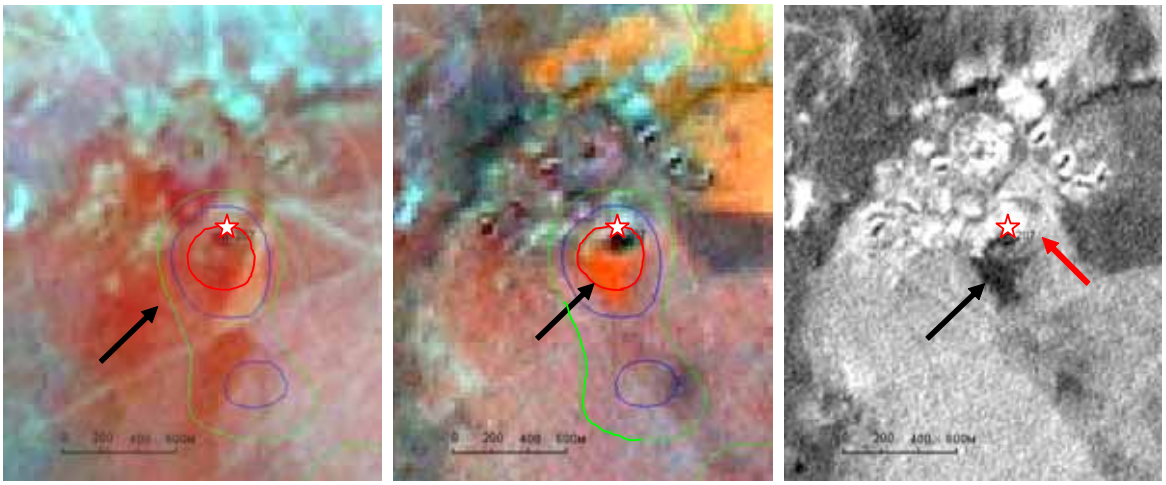




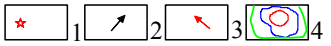


1- озера и речная сеть; 2 – дороги; 3 - контур участка;
4- местоположение линейных провалов в чехле рыхлых отложений над обновленными тектоническими разломами

Рисунок 1. Участок Балапан. Сравнение снимков LANDSAT за 1989 г (а) и 2001г. (б). Псевдорельефное представление теплового канала



а **б** **в**



1 - эпицентр ПЯВ; 2 - место выброса пород; 3 - место провала; 4 - изолинии концентрации Cs-137
а - Landsat 1989 июль, RGB-каналы 6,7, 5 в инфракрасных диапазонах спектра; б - Landsat 2001 сентябрь, RGB-каналы 6,7,5 в инфракрасных диапазонах спектра; в - Landsat 2001 сентябрь, панхроматический канал.

Рисунок 2. Район скважины 1207 участка Балапан. Динамика изменений поверхности по снимкам Landsat 1989 г и 2001 г.

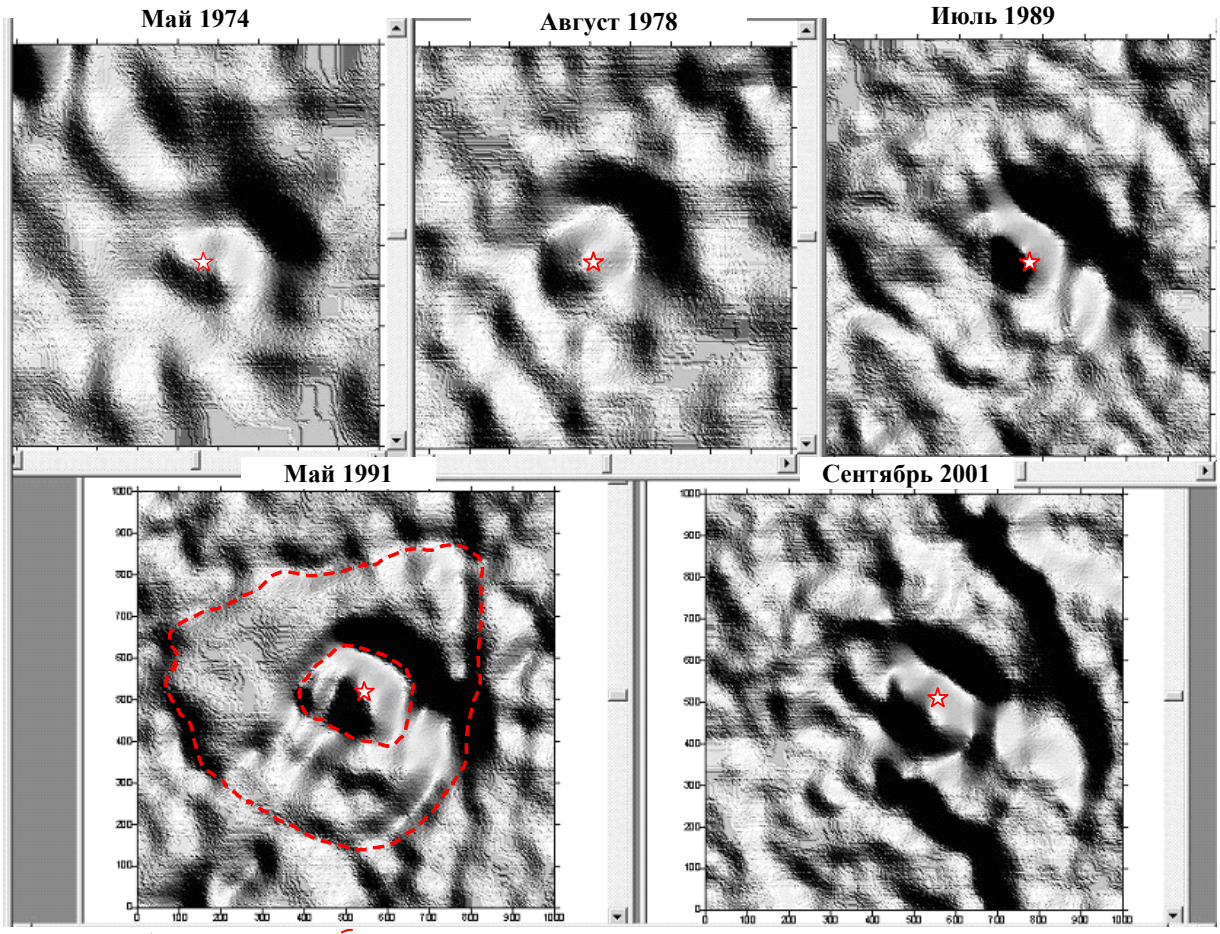


Рисунок 3. Участок Балапан. Район скважины 1204. Изменение дневной поверхности (вспучивания и провалы) в псевдорельефном изображении на космоснимках разных лет. Источник освещения - на юго-востоке

Общая картина изменений земной поверхности околоскважинного пространства на обработанных снимках часто осложняется такими помехами, как, например, дороги. Опыт обработки снимков показал, что на картах изолиний яркости спектра дороги имеют симметричную спектральную характеристику по обе стороны от их простирания, а в псевдорельефном представлении они отображаются в виде выпуклых борозд.

Анализ изображений поверхности околоскважинного пространства в тепловом канале на снимке 2001 г (сентябрь месяц) показал, что для большинства боевых скважин центральная зона диаметром до 150 м, т.е. внутренняя зона деструкции, отмечается низкими значениями яркости спектра, что говорит о её холодности и отсутствии тепловых потоков.

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО КОСМОЗОНДИРОВАНИЯ

При оценке информативности данных дистанционного космического зондирования установлены следующие факты и возможности космоспектрального анализа для изучения воздействия подземных ядерных взрывов на состояние земной поверхности.

1. Основными помехами, осложняющими дешифрирование космических снимков, являются геологические (чехол рыхлых отложений, перекрывающий большую часть площадки Балапан) и техногенные (изменяющиеся в пространстве и времени дороги, пашни, пожарища, сезонная обводнённость и др).

2. Фотографический снимок CORONA и панхроматические каналы спутниковых систем LANDSAT и SPOT, близкие по разрешению и охвату спектра (включая весь видимый диапазон и часть ближней инфракрасной зоны), оказались малоинформативными для выявления поствзрывных изменений геологической среды. В процессе космоспектрального анализа они использовались для сравнения, выявления и уточнения отдельных деталей при работе с другими каналами диапазонов спектра.

3. Информативность теплового ночного полутонового снимка LANDSAT-TM ограничивается выявлением линеаментной тектоники северо-восточного простирания. Она фиксируеется на дневной поверхности по пониженным формам рельефа, по общему направлению поверхностного стока дождевых вод и близповерхностного стока подземных вод в сторону р. Иртыш. Водонасыщенные линейные пониженные формы рельефа из-за их относительной холодности отмечаются на снимке тёмными полутонами.

4. Боевые газующие скважины, вопреки ожиданию, на тепловом ночном снимке не отмечаются.

5. Наиболее информативными для изучения поствзрывных изменений геологической среды оказались каналы инфракрасного диапазона спектра - от ближней зоны до дальней тепловой, Каналы позволяют зафиксировать изменения линеаментов спектра, отождествляемые с линейными провалами над обновлёнными тектоническими разломами в чехле рыхлых отложений, динамику спектральных характеристик дневной поверхности околоскважинного пространства, включая изменения земной поверхности, связанные с выбросом пород при взрыве, вспучиванием поверхности и провалами.

По результатам изучения воздействия ПЯВ на состояние дневной поверхности с использованием материалов дистанционного космического зондирования можно сделать следующие выводы.

1. Определена методика подготовки исходных материалов и спектрального анализа данных дистанционного космического зондирования.

2. Сделана предварительная оценка информативности космических снимков и отдельных каналов различных диапазонов электромагнитных многоспектральных изображений. В частности, установлено, что:

- большая часть линейных провалов в чехле рыхлых отложений над тектоническими разломами появилась после завершения подземных ядерных испытаний;
- места расположения обновлённых тектонических разломов и наиболее значительных трещин отмечаются в инфракрасных диапазонах электромагнитного спектра (включая тепловой канал) более низкими значениями градации яркости, что может свидетельствовать об относительной холодности их в сравнении с вмещающей геологической средой;
- внутренняя зона околоскважинной деструкции (центральный провал) отмечается в инфракрасных диапазонах электромагнитного спектра (в том числе и в тепловом канале) более низкими значениями градации яркости, что говорит об отсутствии здесь значительных тепловых потоков.

В целом, космоспектральный анализ представляется перспективным при мониторинге поствзрывных геодинамических процессов в районе проведения ПЯВ. Дальнейшее развитие методики обработки и интерпретации космических снимков с привлечением полевых наземных наблюдений позволит увеличить объем объективной информации о поствзрывных явлениях.

Литература

1. Закарин Э.А., Спивак Л.Ф., Архипкин О.П. и др. Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве Казахстана. – Алматы: Гылым. - 1999.
2. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Новые данные о структуре поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона //Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2001. - Вып. 2.- С. 106-114.
3. A Guideline of Image Interpretation for Oil and Gas Exploration/The Project on Image processing technology for Oil and Gas Study. JICA – LEMIGAS. 1994. Jakarta Indonesia.
4. ERDAS. Field Guide, fourth Edition. 1997/ - ERDAS. Inc. Atlanta, Georgia.

ЖЕР БЕТІ КҮЙНЕ ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРДЕЛЕУІНДЕ ҒАРЫШТЫСПЕКТРЛІ ТАЛДАУЫНЫҢ МҮМКІНШІЛІКТЕРІ

Мелентьев М.И., Великанов А.Е.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ

Қашықтық ғарышзондылау материалдарын қолданып ССП аумағының Балапан учаскесінің жер бетінің күйіне жер астындағы ядролық жарылстардың әсерін зерделеу бойынша нәтижелері келтіріледі. Жарылыстардан кейінігі геодинамикалық зардаптарын айқындап алуында ғарышспектрлі талдауының ақпаратылығы бағаланады.

CAPABILITY OF SPACE-SPECTRAL ANALYSIS USED FOR STUDYING UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS EFFECT ON GROUND SURFACE CONDITION

M.I. Melentiev, A.E. Velikanov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

The article describes the results of the work of study of the influence underground nucleus blasts (UNB) on condition of the day surface of the site Balapan on the territory of Semipalatinsk Test Site using materials of remote space sensing. The estimation of the cosmic spectral analysis information density is given for revealing the postexplosive geodynamic processes.

УДК 539.5:621.039.9(574.41)

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЗРЫВОМ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ЗАРЕЧЬЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА)

Горбунова Э.М.

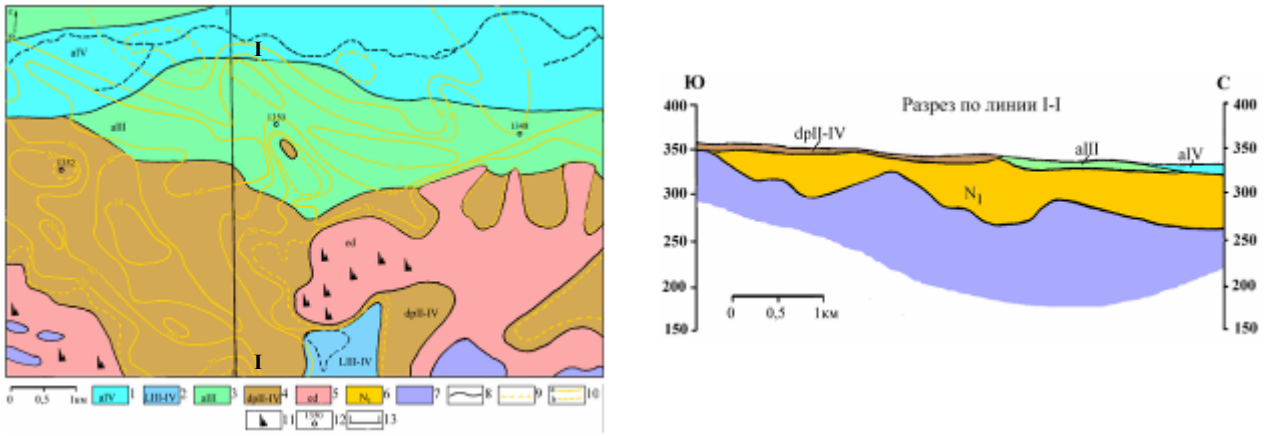
Институт динамики геосфер Российской Академии Наук, г. Москва, Россия

В статье систематизированы результаты изучения техногенно-нарушенной обстановки, сформированной за пределами центральной зоны подземного ядерного взрыва (ЦЗ ПЯВ), на одном из участков Семипалатинского испытательного полигона (СИП) – Заречье. Приведена характеристика последствий ПЯВ, проявившихся в массиве горных пород и на дневной поверхности в радиусе 0,3 – 5 км от эпицентра явления.

Наличие поствзрывных деформаций в массиве горных пород, вызванных проведением подземных ядерных взрывов в скважинах и штольнях, подтверждено целым комплексом геолого-геофизических и гидрогеологических работ, проведенных на ряде объектов Семипалатинского испытательного полигона (СИП) коллективом партии № 27 ГГП "Гидроспецгеология" в период с 1975 по 1990 гг. [1, 2, 7[. Установлено, что контуры и глубина распространения откольных явлений зависят от инженерно-геологических и гидрогеологических условий участка проведения ПЯВ. Поствзрывные деформации обычно тяготеют к геологическим и тектоническим контактам, к границам раздела сред с различными прочностными характеристиками (например, выветрелых или техногенно ослабленных пород с относительно монолитными породами). При детальном рассмотрении последствий ПЯВ может быть проведено зонирование территории по степени измененности геолого-геофизических характеристик горных пород, гидрогеологической ситуации и состояния дневной поверхности. Неравномерность изученности территории СИП не позволяет с высокой степенью достоверности судить об истинных размерах нарушенности массива горных пород при ПЯВ. Однако группирование результатов экспериментальных наблюдений за формированием техногенно-нарушенной обстановки при проведении ПЯВ способствует определению ведущих инженерно-геологических факторов, ответственных за изменения напряженно-деформированного состояния массива и уровенного режима подземных вод.

Общие сведения

Анализ основных закономерностей реакции геологической среды на взрывное воздействие проведен на одном из участков Семипалатинского испытательного полигона - Заречье. Участок расположен в южной части площадки Балапан. С севера его границей является долина реки Чаган, с юга - гряды мелкосопочника (рисунок 1). В пределах рассматриваемого участка выделена пойма, первая надпойменная терраса и мескосопочный рельеф. Поверхность поймы ровная, террасы – слабоволнистая, наклоненная к реке.



а б

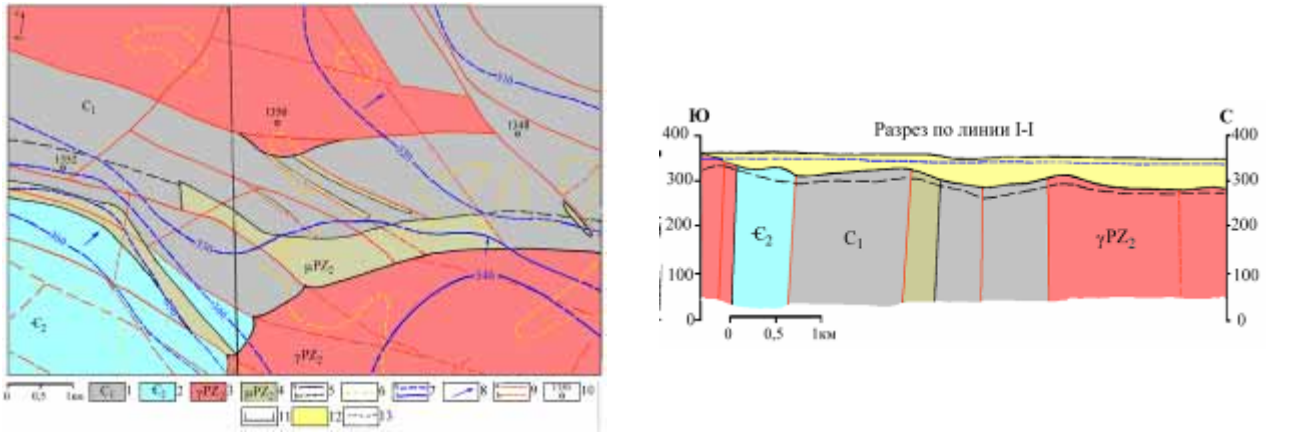
Отложения: 1 - современные аллювиальные, 2 – верхнечетвертичные-современные озерные, 3 - верхнечетвертичные аллювиальные, 4– среднечетвертичные-современные делювиально-пролювиальные, 5 – нерасчлененные элювиально-делювиальные, 6 – миоцена (нижнего неогена), 7 – докайнозойские, Границы: 8 – геологическая, 9 – распространения отложений миоцена, бергрштрихи направлены в сторону развития отложений, 10 – изолинии мощности кайнозойских отложений: а – установленные, б – предполагаемые; 11 – обнажения докайнозойских пород (вне масштаба); 12 – скважина; 13 – линия разреза.

Рисунок 1. Распространение кайнозойских отложений: а – в плане, б – в разрезе

Гряды и возвышенности мелкосопочника расчленены ложбинами с временными водотоками. К межсопочным понижениям приурочены мелководные соленые озера округлой формы размером до 0,5-2,0 км, частично пересыхающие в летнее время и образующие ссоры, солончаки. В 1986-1989 гг. на участке Заречье проведена инженерно-геологическая съемка масштаба 1: 50000 и составлен комплект карт. На отдельных объектах выполнены геолого-геофизические работы для уточнения инженерно-геологического строения и составлены карты масштаба 1: 10000. В пределах ряда участков ПЯВ проведены детальные экспериментальные исследования в два этапа – до и после проведения ПЯВ. Эти работы включали комплекс площадных и скважинных инженерно-геологических, гидрогеологических и геофизических методов, а также бурение дополнительных скважин глубиной до 150-200 м. Проходка скважин обычно заканчивалась после вскрытия относительно монолитных горных пород ниже зоны экзогенного выветривания. В течение 1985-1989 гг. осуществлялись периодические наблюдения за режимом подземных вод. Для этого использовалась опорная сеть скважин глубиной 100-150 м, удаленных от эпицентра взрывов на расстояние от 0,3 до 11 км.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

В геологическом строении палеозойского фундамента принимают участие отложения среднего кембрия и нижнего карбона, характеризующиеся изменчивостью литолого-фациального состава по площади и глубине залегания. Породы фундамента смяты в складки северо-западного простирания с наложенной складчатостью более высокого порядка. Они интенсивно метаморфизованы, дислоцированы, осложнены интрузивными образованиями и серией пластовых даек верхнепалеозойского возраста (рисунок 2).



а б

Водоносные комплексы: 1 – вулканогенно-осадочных и метаморфизованных отложений нижнего карбона, 2 – вулканогенно-метаморфизованных и осадочных отложений среднего кембрия, 3 – 4 – интрузивных образований верхнего палеозоя: массив гранитов, граносиенитов; 4 – малые интрузии порфиритов, гранодиоритов, габбро-диоритов. Границы: 5а - между водоносными комплексами; 5б – зон вторично измененных пород; 6 – распространения водоупора (бергштрихи направлены в сторону развития отложений миоцена). 7 – уровень подземных вод, абс, отм., м: а – гидроизопьезы, б – гидроизогипсы; 8 – основное направление движения подземных вод; 9 – разрывные нарушения: а – установленные, б – предполагаемые; 10 - скважина и ее номер; 11 – линия разреза. На разрезе: 12 – комплекс отложений мезо-кайнозоя; 13 – граница между зонами экзогенной трещиноватости и относительно монолитных пород

Рисунок 2. Распространение подземных вод (по состоянию на 06,1989 г.): а – в плане, б – в разрезе

Интрузивные образования, тяготнющие к разрывным нарушениям, представлены разнообразными по составу, форме и размерам массивами, залегающими в ряде случаев непосредственно под отложениями кайнозоя. В южной части участка Заречье, на возвышенных склонах мелкосопочника, имеются открытые выходы интрузивных пород в виде обнажений, уступов. Состав интрузивных пород изменяется от гранитов до сиенитов, диоритов и габбро, через плагиограниты и гранодиориты. Контакты с вмещающими породами четкие. Малые интрузии представлены силлами, силло-лакколитами, дайками, которые выполнены диоритовыми и андезитовыми порфиритами, реже – диабазовыми и базальтовыми порфиритами, кварцевыми порфирами. Под влиянием динамометаморфизма породы в различной степени рассланцованы.

В верхней части разреза на локальных участках отмечены фрагменты выветрелых элювиальных мезозойских отложений, представленных щебнем, дресвой коренных пород, интенсивно выветрелыми, ожелезненными породами с глинистым, реже - супесчаным заполнителем. Выветрелые породы приурочены к повышенным участкам палеозойского фундамента. Переход к палеозойским породам плавный.

Поверхность кровли фундамента неровная, имеет выпукло-вогнутый характер с перепадом высот до 60 м, В субширотном направлении четко прослеживается переуглубленная древняя долина реки. В южной части территории, при маломощном чехле перекрывающих рыхлых отложений (первые метры), современное положение дневной поверхности соответствует палеорельефу [3].

Эрозионные долины древнего рельефа и небольшие впадины тектонического происхождения практически повсеместно перекрыты осадочной толщей миоцена (нижнего неогена), за исключением наиболее приподнятых участков (рисунок 1). Отложения миоцена представлены коричневыми глинами с прослоями пестроцветов, с зеленовато-серыми карбонатизированными, ожелезненными, омарганцованными участками загипсованных пород с прослоями и линзами песка разной крупности, с дресвой коренных пород от 10 до 30-40 %, Мощность отложений не выдержана по площади, изменяется от 2-4 м до 70 м, в переуглубленных местах. В подошве слоя отложения интенсивно опесчанены, в отдельных случаях вскрыты пески мощностью 2-10 м, а также единичные прослои песчаников, конгломератов.

С поверхности распространены четвертичные образования аллювиального, делювиально-пролювиального и элювиально-делювиального генезиса (рисунок 1). В долине реки Чаган развиты верхнечетвертичные и современные аллювиальные отложения. На выположенных склонах мелкосопочника распространены средне- и верхнечетвертичные-современные делювиально-пролювиальные образования, в пределах возвышенных участков - элювиально-делювиальные нерасчлененные отложения четвертичного возраста. Взаимоотношения четвертичных отложений имеют характер фациальных переходов. Ограниченное распространение в межсопочных понижениях получили верхнечетвертичные-современные озерные отложения. В долине реки Чаган преобладают гравийно-галечные отложения, пески, на плоско-равнинных участках - суглинки и супеси с щебнем и дресвой, в озерных котловинах - иловатые суглинки, на склонах сопок – дресвяники и щебни с супесчаным заполнителем. Мощность четвертичных отложений на вершинах мелкосопочника составляет 0,5-3 м, на склонах – 5-10 м, в долине реки и на равнине - 15-25 м.

ТЕКТОНИКА

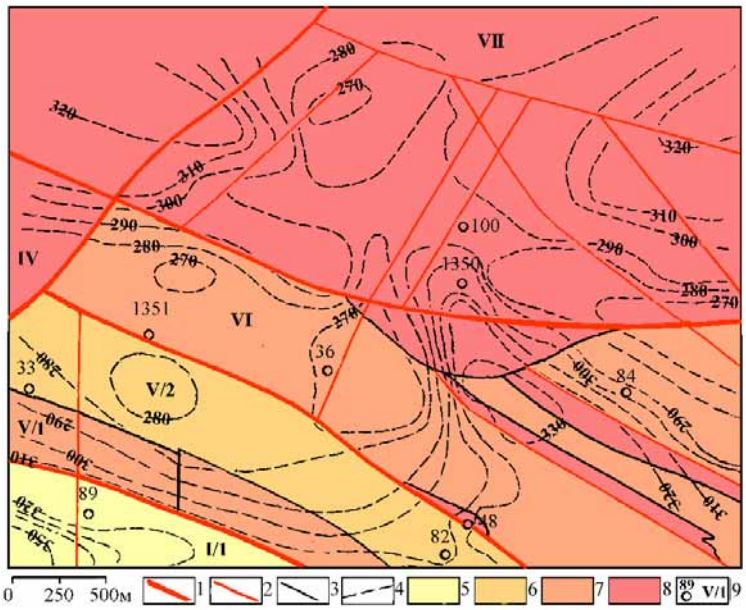
Участок Заречье находится в области влияния регионального Калба-Чингизского разлома северо-западного простирания, являющегося зоной сочленения двух складчатых систем – Чингиз-Тарбагатайской и Зайсанской. Указанное разрывное нарушение служит границей раздела структурно-тектонических блоков первого порядка, представленных в южной части каледонидами – породами среднего кембрия, в северной части – герцинидами – отложениями нижнего карбона (рисунок 2). Каледонские и герцинские структуры в совокупности образуют складчатый палеозойский фундамент, характеризующийся пликативной и разрывной дислокацией отложений, раздробленностью и перемятостью пород.

Зона влияния глубинного разлома древнего (допалеозойского) заложения, подновленная в последующие эпохи складкообразования, состоит из серии чешуйчатых надвигов с крутым юго-западным наклоном плоскости сместителя (под углом 70-85^0). В ее пределах породы подвержены вторичным изменениям (ороговикованию, эпидотизации, серпентинизации), интенсивно рассланцованы, часто превращены в метаморфические сланцы зеленосланцевой фации. Особенно интенсивно метаморфические преобразования проявлены в каледонидах. Глубинному разлому сопутствуют широкие полосы смятия и дробления пород.

Разрывные нарушения более высокого порядка имеют преимущественно северо-западную, северо-восточную, субмеридиональную ориентацию. Дизъюнктивы северо-западного направления относятся к наиболее древним. Тектонические нарушения и трещины более высокого порядка выражены в виде зон брекчирования, смятия, рассланцевания, интенсивной трещиноватостью пород, развитием вторичных процессов – окварцеванием, карбонатизацией, а также наличием зеркал и борозд скольжения на плоскостях трещин.

В качестве примера на рисунке 3 представлена схема структурно-тектонического строения площадки, включающей скважину 1350 на участке Заречье. Здесь выделены разломы III и более высокого порядка, показаны ограниченные ими структурно-тектонические блоки (СТБ), получившие условную нумерацию.

Как видно из рисунка, разломы имеют преимущественно северо-западное и северо-восточное простирание. Изогипсы поверхности палеозойского (скального) фундамента детализируют его неровности. Кровля СТБ-VII, расположенного в центральной части интрузивного массива, имеет вогнутую “чашеобразную” форму с относительным превышением до 50 м. Абсолютные отметки палеорельефа блоков СТБ-I/1 и СТБ-V/1, расположенных в области влияния регионального Калба-Чингизского разлома, уменьшаются в северо-восточном направлении от 350 м до 280 м. В СТБ-V/2 кровля пород нижнего карбона наклонена на северо-запад, что соответствует генеральному простиранию складчатости. Абсолютные отметки палеорельефа уменьшаются здесь от 320 м до 280 м. В пределах СТБ-VI, включающего интрузивные образования, кровля скального фундамента имеет выпукло-вогнутую форму с перепадом высот до 60 м.



Разрывные нарушения: 1 – III порядка, 2 – более высокого порядка; 3 – геологическая граница; 4 – изогипсы кровли палеозойского фундамента, абс, отм, в м; Средневзвешенные значения скорости сейсмических волн, определенные по III преломляющей границе, км/с: 5 – (4,6-4,8), 6 – (4,8-5,0), 7 – (5,0-5,2), 8 – (5,2-5,4); 9 – номер скважины, блока и его части

Рисунок 3. Структурно-тектоническое строение объекта 1350

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

По степени и характеру трещиноватости пород в разрезе участка выделены: зоны экзогенной трещиноватости, относительно сохранных пород, техногенно и тектонически ослабленные участки.

Породы зоны **экзогенной трещиноватости** - интенсивно выветрелые, выветрелые, сильно и очень сильно трещиноватые, ожелезненные. Преобладают трещины выветривания, частично открытые (ширина раскрытия до 1-5 мм) с пустотами выщелачивания, на плоскостях трещиноватости - налеты гидроокислов железа и марганца. Породы обводнены, неустойчивы. Мощность зоны экзогенной трещиноватости в отложениях кембрия не выдержана по площади и изменяется от 10 м до 65 м. В породах карбона мощность зоны составляет 10 - 40 м, в интрузивных образованиях - от первых метров до 10 м, в граносиенитах и гранодиоритах – 10 - 30 м, в порфиритах - 15 - 40 м. По прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии (R_c) породы характеризуются как породы средней прочности (от 20 МПа в порфиритах до 50 МПа в туфах), реже – как прочные (80 МПа для туфа). Общая оценка пород по степени трещиноватости - от очень сильно- до сильнотрещиноватых. Скорость распространения продольных сейсмических волн в них колеблется от 1,9 км/с до 3,9 км/с.

Породы **зоны относительно сохранных пород -** преимущественно средне-, слабо- и очень слаботрещиноватые, прочные, реже – средней прочности, характеризуются наличием петрогенетических трещин, выполненных кварц-карбонатным материалом, хлоритом, серицитом. Среднее значение сопротивления одноосному сжатию в водонасыщенном состоянии варьирует от 50 МПа в порфиритах до 120 МПа в туффитах. Среди пород карбона ограниченное распространение имеют очень прочные породы, представленные туфами среднего состава, гравелитами и скарнами (120 - 140 МПа), и породы средней прочности, к которым отнесены переслаивающиеся кремнистые аргиллиты и сланцы (20 МПа). Интрузивные образования по прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии могут быть отнесены к прочным (60 МПа в гранодиорите и 110 МПа в порфирите). Пластовая скорость сейсмических волн в зонах относительно сохранных пород изменяется от 4,4 км/с до 6,2 км/с.

В **тектонически ослабленных и техногенно-нарушенных зонах**, сопряженных с участками проведения ПЯВ, породы очень сильно- и сильнотрещиноваты, брекчированы, рассланцованы, имеют зеркала и борозды скольжения на плоскостях трещин. Среднее значение прочности на одноосное сжатие - до 50 МПа. Скорость распространения продольных сейсмических волн снижена до 3,3 - 4,6 км/с. [2. 7].

По данным сейсмических наблюдений, выполненных на участке, в разрезе выделено три преломляющих границы.

I преломляющая граница соответствует подошве рыхлых четвертичных отложений. Значения скорости распространения сейсмических продольных волн изменяются от 0,4 км/с до 1км/с. В глинах неогена скорость распространения сейсмических волн возрастает до 1,4 – 2 км/с.

II преломляющая граница приурочена к физической границе раздела глин и сильно выветрелых пород. Скорость продольных волн составляет 2,3 - 3,8 км/с.

III преломляющая граница тяготеет к подошве интенсивно выветрелых скальных пород или подошве зоны экзогенной трещиноватости. Граничная скорость продольных волн варьирует от 4,2 км/с до 6,2 км/с, достигая наиболее высоких значений в эффузивных и интрузивных образованиях (до 5,6 - 6,2 км/с).

На рисунке 3 показаны структурно-тектонические блоки III порядка (СТБ), которые охарактеризованы средневзвешенными значениями граничных скоростей, определенными по III преломляющей границе. Видно, что СТБ имеют меняющиеся скоростные характеристики. Так, пониженные значения граничной скорости сейсмических волн (4,6-4,8 км/с) характерны для части блока СТБ-I/1, который охватывает северную зону влияния регионального разлома, повышенные значения (5,2-5,4 км/с) – для блока СТБ-VII, который включает область развития интрузивных образований.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

На участке распространены трещинные и трещинно-жильные напорно-безнапорные воды: По условиям формирования, распространения и возрасту выделено три комплекса водовмещающих пород, гидравлически взаимосвязанных между собой (рисунок 2):

- водоносный комплекс вулканогенно-осадочных и метаморфизованных отложений нижнего карбона;
- водоносный комплекс вулканогенно-метаморфизованных и осадочных отложений среднего кембрия;
- водоносный комплекс интрузивных образований верхнего палеозоя.

Водоносные комплексы приурочены к зонам экзогенной и тектонической трещиноватости и вскрыты на глубине от 2,1 м до 70 м. Пьезометрический уровень изменяется от 2 м до 26,8 м, создавая напор до 60-66 м в зоне влияния регионального разлома. В отдельных случаях подземные воды связаны с обводненными песчаными разностями неогена и супесчаными элювиальными образованиями мезозоя, залегающими в подошве осадочных отложений. Фрагментарно уровень подземных вод прослеживается на 2,2-3,8 м ниже кровли пород палеозойского фундамента. Воды безнапорные, что, предположительно, обусловлено региональным снижением пьезометрической поверхности в связи с проведением ПЯВ. В местах выклинивания относительного водоупора (глин миоцена) подземные воды подпитывают грунтовые воды, спорадически развитые в четвертичных отложениях. В этом случае воды являются безнапорными и залегают на глубине 2,1-4,5 м.

Область питания тяготеет к наиболее возвышенной обнаженной части мелкосопочника, обрамляющего район с юга. Абсолютные отметки пьезометрической поверхности по площади уменьшаются от 360 м на юго-западе и до 310 м на северо-востоке (рисунок 2). Основное направление движения подземных вод северо-восточное, в пределах развития интрузивного массива – северное, со средним уклоном до 0,001-0,003. Локальные отклонения подземного потока обусловлены наличием разрывных нарушений и скрытых зон разгрузки в пределах структурно-эрозионных врезов. В зоне влияния Калба-Чингизского разлома уклон подземного потока возрастает на порядок до 0,02 – 0,05.

Подземные воды, вскрытые скважинами, расположенными в пределах структурно-тектонических блоков, имеют невысокую водообильность, водопроводимость пород изменяется от 0,01 до 1 $м^2$/сут. Наличие разрывных нарушений различного порядка предопределяет неоднородность фильтрационных параметров водовмещающей среды. Так, в северной зоне влияния Калба-Чингизского разлома водопроводимость пород составляет 0,01 - 1$м^2$/сут, в южной – до 3 - 20 $м^2$/сут, возрастая в отдельных случаях вблизи дизъюнктивов более высокого порядка до 30 $м^2$/сут.

Литолого-фациальная неоднородность разреза и наличие разрывных нарушений контролируют неравномерную водопроницаемость пород. По данным скважинной расходометрии установлено закономерное снижение обводненности трещиноватого массива с глубиной. Коэффициент фильтрации составляет 0,01 - 1 м/сут., возрастая в зоне тектонической трещиноватости до 7 м/сут. и более. Большей степенью водоносности характеризуются сланцы, водопроводимость которых составляет 3 $м^2$/сут. Наиболее обводнен интрузивный массив гранитов, расположенный в южной части площадки Заречье. Менее водопроницаемыми являются алевролиты, порфириты.

Режим подземных вод преимущественно равнинный, характеризуется затрудненной взаимосвязью с режимообразующими факторами, выраженной в более сглаженных и сдвинутых во времени колебаниях всех элементов (уровня, температуры, химического и газового состава). В относительно ненарушенных условиях (период наблюдений с октября 1985 г по июль 1987 г) естественные колебания уровней составляют 3-5 см/сут. Максимальный подъем уровня до 3 м зафиксирован по скважинам, приближенным к области питания, в период паводка. В юго-западной части территории гидрогеологический режим близок к предгорному.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННОЙ ОБСТАНОВКИ

ПЯВ приводит к необратимым изменениям геологической среды, гидрогеодинамической обстановки и дневной поверхности. Сложное структурно-тектоническое строение территории предопределяет неравномерность проявления последствий взрывного воздействия [6].

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОНЫ ОТКОЛА

По результатам геолого-геофизических исследований (документация горных выработок, сейсмическое профилирование, каротаж скважин методами БКЗ, МСК) на границе зоны экзогенного выветривания и относительно сохранных пород установлено формирование зоны откольных явлений. Значения граничных скоростей распространения продольных сейсмических волн в выделенной зоне изменяются, в основном, не более чем на 25 %, изредка, на непротяженных участках, до 30 – 35 %. При этом отмечается снижение на 15 – 20 м глубина залегания III преломляющей границы, приуроченной к подошве экзогенной трещиноватости.

Совпадение участков с изменившимися значениями граничных скоростей и положением третьей преломляющей границы с местоположением скважин, в которых зафиксированы изменения физических свойств пород, одинаковые значения граничных и пластовых скоростей в соответствующих интервалах являются подтверждением формирования зон остаточных деформаций, связанных с проведенным подземным взрывом.

Разрывные нарушения III и более высокого порядков, ограничивающие структурно-тектонические блоки, обуславливают создание разнохарактерных фрагментов зоны откола. Так, северо-восточные разломы более позднего заложения контролируют изменения граничных скоростей и глубины залегания преломляющей границы, приуроченной к кровле относительно сохранных пород, За их пределами вариации глубин залегания III преломляющей границы и граничных скоростей слабо выражены. Установлено формирование непротяженных зон откольных явлений в пределах регионального разлома и в интрузивных образованиях, сопряженных с геологическими границами на значительном удалении от эпицентра взрыва. Локальные зоны поствзрывных деформаций массива, соизмеримые с формирующимися в эпицентре, тяготеют к тектонически ослабленным и техногенно-нарушенным участкам.

ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

Нарушение фильтрационной структуры массива, вызванное взрывным воздействием, проявляется, прежде всего, в изменении водопроводимости пород, преимущественно в верхней части разреза, в зоне экзогенной трещиноватости. Ниже установлено сдвижение основных интервалов водопритоков и соответствующее увеличение или уменьшение их мощности. Причем, в менее водообильных водоносных горизонтах отмечены наиболее значимые изменения гидрогеологических параметров. По размерам выявленные участки дестабилизации гидрогеодинамической обстановки сопоставимы со сформированной зоной откола. Скважинные исследования (расходометрия) и наблюдения за гидрогеологическим режимом в ряде скважин позволили сделать вывод об их соотносительности - наиболее значимые изменения фильтрационных параметров зафиксированы по скважинам, в которых были прослежены максимальные вариации уровня подземных вод.

Многолетние стационарные наблюдения за уровнем подземных вод составили основу для зонирования территории по степени нарушенности гидрогеологической ситуации. Естественные условия сохранены только в южной части территории и могут быть охарактеризованы по скважинам, наиболее удаленным от эпицентра взрыва (29, 37), характеризующимся высоким гипсометрическим положением уровенной поверхности (рисунок 2). Частично нарушенный режим подземных вод отмечен на расстоянии 1-5 км от эпицентра взрыва. В пределах указанной зоны изменения гидрогеологических условий являются обратимыми, отмечено неравномерное перераспределение подземного потока. Нарушенный режим подземных вод отмечается в ближней зоне взрыва – в радиусе до 1 км и выражается в формировании воронки депрессии. Искусственное дренирование части водоносного горизонта приводит к необратимым изменениям геолого-геофизических и гидрогеологических параметров. Размеры сформированной дополнительной гидрогеологической емкости и степень ее гидравлической взаимосвязи с водоносным горизонтом контролируют глубину развития воронки депрессии через зоны наведенной трещиноватости [4]. Так, при ряде взрывов в их ближней зоне, на удалении 0,3-0,7 км от эпицентра, даже спустя 3-5 месяцев зафиксирована остаточная амплитуда уменьшения напора подземных вод до 15м, что свидетельствует о масштабности воздействия взрыва.

На рисунке 4 показан пример вариации уровня подземных вод за период с июня 1987 г по июнь 1989 г, прослеженного в наблюдательных скважинах, различно удаленных от двух скважин, в которых проведены подземные ядерные взрывы - 1348 (02.08.1987) и 1350 (14.09.88).

Снижение пьезометрического уровня происходит за счет частичной сработки статических запасов подземных вод. Период относительной стабилизации минимальных значений уровня подземных вод указывает на квазистационарный режим фильтрации. Синхронность восстановления пьезометрической поверхности в серии скважин свидетельствует о полном заполнении подземными водами техногенно-ослабленных зон и о постепенном пополнении емкостных запасов за счет привлечения естественных ресурсов. Время стабилизации гидрогеологической ситуации обусловлено гидрогеологическими параметрами подземного потока (водопроницаемостью, градиентом подземного потока) и близостью к области питания.

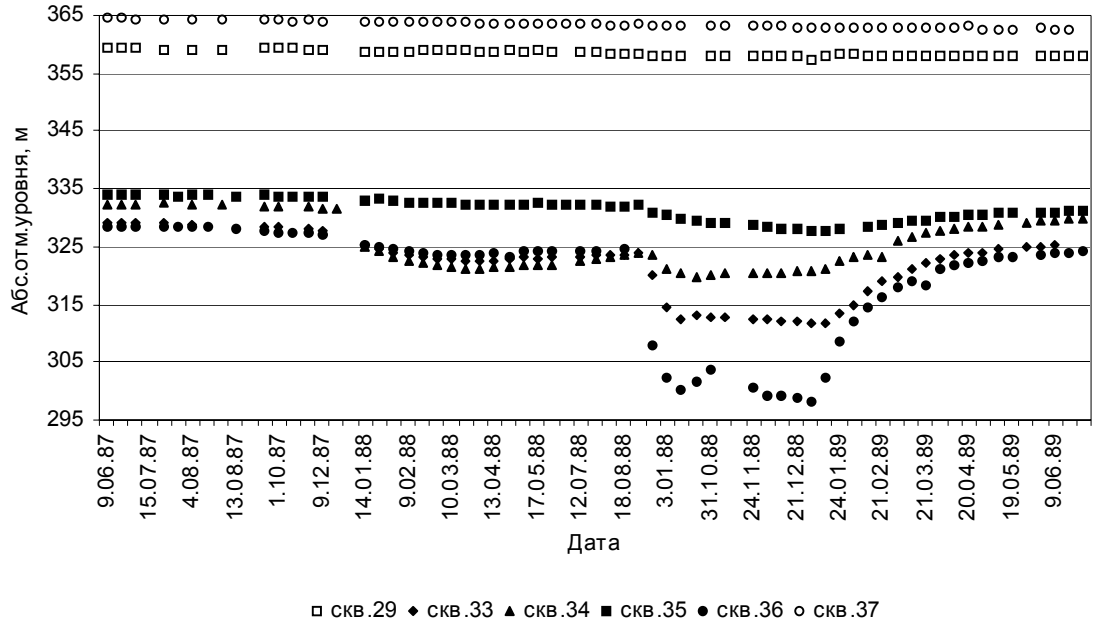
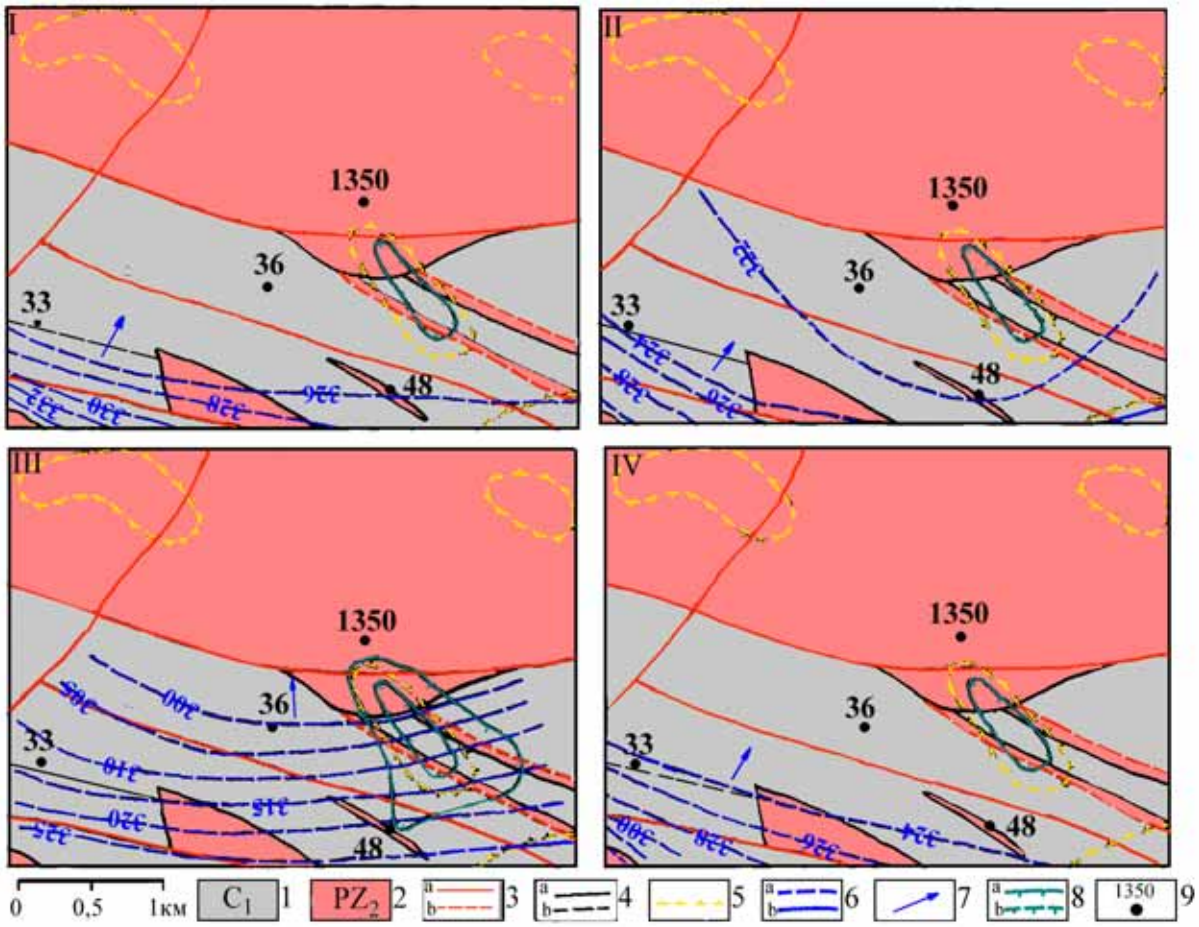


Рисунок 4. Изменение уровня подземных вод в наблюдательных скважинах на участке Заречье

Гипсометрическое положение погребенной поверхности обводненной части скального фундамента относительно эпицентра взрыва определяется радиусом влияния и продолжительностью периода гидрогеодинамического возмущения. Прослежена относительно быстрая стабилизация пъезометрической поверхности в условиях склона с изменяющейся крутизной и повышенными значениями фильтрационных характеристик, за исключением зоны влияния регионального Калба-Чингизского разлома. Установлена значительная протяженность зон гидрогеодинамического возмущения в субширотном направлении вдоль погребенного русла. В пределах палеодолины с относительно застойным гидрогеологическим режимом и низкой водопроводимостью вмещающей среды отмечены длительные снижения уровенной поверхности.

При проведении серии взрывов наблюдается наложение областей с техногенно-нарушенным режимом подземных вод, что приводит к наиболее значимым изменениям уровенной поверхности и способствует развитию новых систем трещин, упрощению (топологии) существующих, активизирует гидравлическую связь в водоносном комплексе. Прослежено своеобразное “сглаживание” гидрогеодинамической нарушенности на участках скрытой разгрузки подземных вод (“гидрогеологических окон”) за счет повышенной обводненности водовмещающих пород. В безнапорных условиях выявлено реальное снижение уровенной поверхности, свидетельствующее о дренировании верхней зоны, наиболее значимо выраженное в пределах регионального дизъюнктива.

Результаты режимных наблюдений в районе скважины 1350 были привлечены для построения схемы изменения уровня подземных вод в плане. На рисунке 5 показано изменение уровня подземных вод для четырех временных периодов: при проведении испытания, через 12 часов, через 1 месяц, через 7,5 месяцев. Видно, что конфигурация уровенной поверхности зависит от наличия разрывных нарушений и водопроницаемости пласта. Полученная схема движения подземных вод отражает различные стадии формирования воронки депрессии и позволяет провести ранжирование участка по степени нарушенности гидрорежима. Способ наложения временных срезов формирования подземного потока на схему палеорельефа позволяет не только оконтурить существующие области сдренированных пород в естественных условиях (до проведения ПЯВ), но и проследить их развитие по площади на протяжении всего периода наблюдений. Установлено, что именно к участкам максимального распространения осушенных пород тяготеют зоны поствзрывных деформаций массива за счет нарушения гидростатического равновесия при переходе от напорных условий к безнапорному режиму фильтрации [5]. Зонирование территории по степени нарушенности гидрогеологических условий позволяет оконтурить потенциально неустойчивую область сдренированных пород, выделить основные источники восполнения сработанных статических запасов подземных вод и корректировать оценку проницаемости геологической среды.



1 – отложения нижнего карбона; 2 – интрузивные образования верхнего палеозоя; 3 – разрывные нарушения: а - III порядка, б - более высокого порядка; 4 – границы: а – геологические, б - зоны вторично измененных пород; 5 – граница распространения водоупора (бергрштрихи направлены в сторону развития отложений миоцена); 6 – абсолютная отметка уровеня подземных вод, м; а – гидроизопьезы, б – гидроизогипсы; 7 – основное направление движения подземных вод; 8 – область сдренированных пород: а – в естественных условиях, б – в техногенно-нарушенных; 9 - скважина и ее номер

Рисунок 5. Изменение уровня подземных вод в связи с подземным ядерным взрывом в скважине 1350: I – при опыте, II – через 12 часов, III – через 1 месяц, IV – через 7,5 месяцев

ПОСТВЗРЫВНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

По результатам инженерно-геологического обследования и данным профильного нивелирования, проведенных до и после взрывов в скважинах 1348 (1987 г), 1350 (1988 г) и 1352 (1989 г), составлены карты-планы нарушений дневной поверхности в масштабе 1: 10 000, которые совмещены с палеорельефом (рисунок 6).

Типичными, наиболее крупными формами проявления остаточных деформаций, вызванных подземными взрывами, которые фиксируются на дневной поверхности, являются

- взрыхление грунта;
- вспучиваниегрунта со стенкой срыва высотой 0,2 – 0,7 м и с разрывом сплошности протяженностью до 20 м;
- провальные понижения радиусом от 2 до 10 м и глубиной 0,5 – 0,7 м;
- извилистые трещины различной интенсивности и протяженности – от первых метров и более 10-20 м с шириной раскрытия обычно 3-4 см, реже до 10 см,

Основное количество нарушений приурочено к эпицентральной области взрыва, но отдельные виды деформаций прослеживаются и на значительном удалении от нее.

На рисунке 6 приведены результаты зонирования территории - контуры участков с различной степенью развития поствзрывных деформаций - I, II, III.

Участки с I степенью нарушенности представляют интенсивно деформированную и перепланированную поверхность, приуроченную к ближней зоне ПЯВ. На выделенных участках преобладают взрыхления, вспучивания грунта со стенкой срыва и разрывами сплошности, провальные понижения и трещины. Наиболее ярко остаточные изменения дневной поверхности выражены у устья скважины 1350, расположенной на стыке погребенного водораздела и русла палеореки, приуроченном к интрузивным образованиям верхнего палеозоя. Измене-

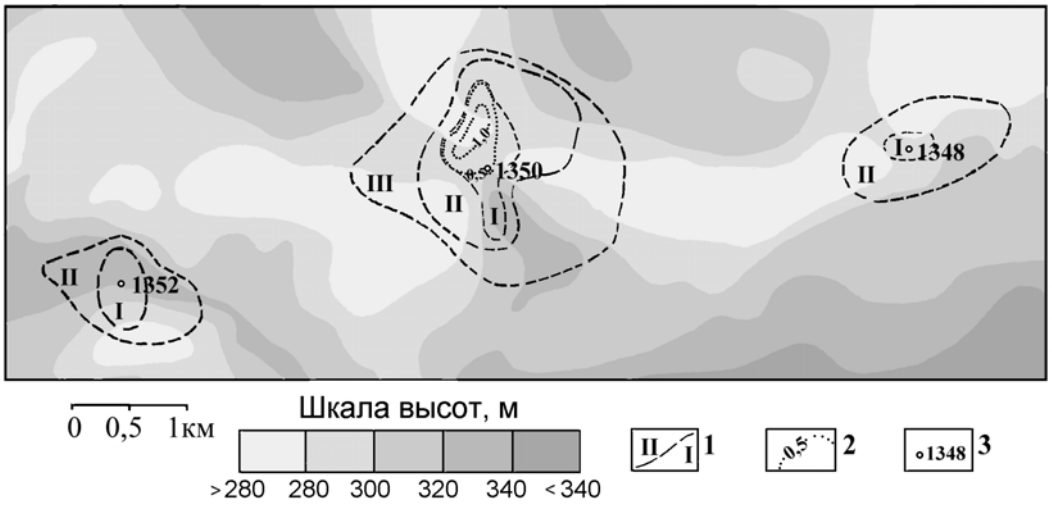
ния высоты поверхности относительно первоначального положения достигают здесь 1,5 м. У скважины 1348 зона поствзрывных деформаций вытянута в субширотном направлении вдоль палеодолины, у скважины 1352 – вкрест погребенной склоновой поверхности. Выявленные различия в ориентировке интенсивно деформированной дневной поверхности соотносятся с положением линии наименьшего сопротивления при ПЯВ.

В пределах участков со II степенью нарушенности дневная поверхность локально деформирована, местами нарушена трещинами, взрыхлениями, проседаниями, т.е. рассосредоточенно проявились все формы поствзрывных деформаций. Максимальные превышение дневной поверхности относительно первоначального положения составляют 0,2 – 0,4 м.

В пределах участка с III степенью нарушенности дневная поверхность практически неизмененная с единичными непротяженными трещинами. Так, в окрестности скважины 1350 прослеживается слабодеформированная поверхность без видимых остаточных нарушений с изменением дневной поверхности относительно первоначальной до 0,1 - 0,3 м.

Вне выделеных участков с I – III степенью нарушенности дневная поверхность практически не изменена, наблюдаются единичные непротяженные трещины.

В целом, наряду с неоднородностью структурно-тектонического строения, изменчивость палеорельефа контролирует основные закономерности развития поствзрывных деформаций поверхности [3]. Выделенные участки на дневной поверхности, образовавшиеся в результате ПЯВ, имеют асимметричную форму и, вероятно, являются отображением сформировавшихся зон откола в скальном фундаменте под воздействием ПЯВ.



1 – степень осложнения поверхности после взрыва по данным нивелирования: I – интенсивно деформированная, II – локально деформированная, III – слабодеформированная; 2 – изолинии высоты дневной поверхности относительно первоначальной; 3 – экспериментальная скважина и ее номер

Рисунок 6. Нарушенность дневной поверхности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Участок Заречье характеризуется четкой тектонической двухярусностью. Нижний структурный этаж представлен дислоцированными породами палеозоя, верхний – песчано-глинистыми отложениями кайнозоя. Породы кайнозоя имеют мощностью до 80 м, залегают практически горизонтально и выполняют неровности в поверхности палеозойского фундамента. Калба-Чингизская глубинная зона разлома предопределяет основные закономерности размещения геологических формаций и генеральное направление складчатости. К зонам экзогенного выветривания и разрывным нарушениям палеозойского фундамента приурочены подземные воды трещинного и трещинно-жильного типа, соответственно.

Проведение ПЯВ привело к изменению состояния массива горных пород и формированию зон откольных явлений вдоль структурных границ раздела выветрелых, техногенно-нарушенных и относительно монолитных пород, литологических контактов и разрывных нарушений. Форма и размер зон остаточных деформаций в плане и разрезе контролируются анизотропностью геологической среды, связанной с наличием разрывных нарушений и тяготеющих к ним интрузивных образований, положением эпицентра ПЯВ по отношению к погребенному палеорельефу.

За пределами центральной зоны ПЯВ в радиусе 0,3 – 5 км от его эпицентра установлена неравномерность проявления последствий взрывного воздействия на массив горных пород и на дневную поверхность.

Формирование техногенно-нарушенной обстановки подтверждено изменением скоростных характеристик сейсмических волн, смещением выделенных геофизических границ. Нарушение фильтрационной структуры вмещающей среды приводило к дестабилизации гидрогеологической ситуации. Размер области нарушения гидрогеологического режима зависит не только от степени

гидравлической связи водоносного комплекса с центральной зоной ПЯВ, но и от фильтрационных параметров, статических запасов и близости области питания. Контуры поствзрывных деформаций дневной поверхности определяются сформированными зонами откола, гипсометрическим положением условной границы раздела относительно монолитных и выветрелых пород, сопряженной с палеорельефом, по отношению к гипоцентру ПЯВ.

Комплексный анализ экспериментальных наблюдений за реакцией геологической среды на взрывное воздействие позволяет провести площадную оценку изменчивости проницаемости массива и зонирование территории по степени нарушенности природно-техногенной обстановки. Выявленные закономерности имеют прикладное значение и могут быть использованы при разработке рекомендаций по безопасной эксплуатации подземных объектов различного назначения.

Литература

1. Адушкин В.В., Спивак А.А., Горбунова Э.М., Каазик П.Б., Недбаев И.Н. Гидрогеологические эффекты при крупномасштабных подземных взрывах (препринт),/ИФЗ АН СССР. - М., 1990/ - 40с.
2. Беляшова Н.Н., Русинова Л.А., Беляшов А.В., Смирнов А.А. Изучение влияния ядерных взрывов на окружающие горные породы и морфологию поверхности с целью разработки методов инспекции на местах//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК.- Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 105-110.
3. Горбунова Э.М. Анализ поствзрывных деформаций дневной поверхности (на примере участка Заречье Семипалатинского испытательного полигона)//Мониторинг ядерных испытаний и их последствий: Тезисы докладов. Международная конференция, 12-16 августа 2002. - Курчатов: НЯЦ РК, 2002. – С. 33-35.
4. Горбунова Э.М. Особенности формирования техногенно-нарушенного режима подземных вод //Третья всероссийская научная конференция “Физические проблемы экологии” (Экологическая физика)/Тезисы докладов. - М.: МГУ, 2001. - С. 126-127.
5. Горбунова Э.М. Сейсмические проявления в пределах техногенно-нарушенного массива горных пород //Нестационарные процессы в верхних и нижних оболочках Земли (геофизика сильных возмущений)/Сборник научных трудов. - М.: ИДГ РАН, 2002. - С. 104-113.
6. Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. - М.: Наука, 2002. – 460 с.
7. Шпаковский В.И., Шпаковская Р.С., Горбунова Э.М. Гидрогеодинамическая обстановка в техногенно-нарушенных условиях //Международная геофизическая конференция/Тезисы докладов. - С-Пб: ВИРГ-Рудгеофизика, 2000.- С. 615-616.

ЖАРЫЛЫСТЫ ЫҚПАЛЫНДА ТАУЖЫНЫСТАР МАССИВІНІҢ ДЕФОРМАЦИЯСЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ (СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНЫҢ «ЗАРЕЧЬЕ» УЧАСКЕСІНІҢ ҮЛГІСІНДЕ)

Горбунова Э.М.

Ресей Ғылыми Академиясының Геосфералар динамикасының институты, Москва қ, Ресей

Мақалада, Семей сынау полигонының Заречье учаскесінде, жер астындағы ядролық жарылыстың орталық белдемінен (ЖЯЖ ОБ) тыс қалыптасқан, техногенді-бұзылған жағдайын зерделеу нәтижелері жүйеленген. Оқиғаның эпиорталығынан 0,3 – 5 км, радиусінде тау жыныстар массивінде айқындалған ЖЯЖ зардаптарының сипаттамалары келтірілген.

PECULARITY OF ROCK MASSIF DEFORMATION UNDER EXPLOSION IMPACT (BY THE EXAMPLE OF ZARECHIE AREA OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE)

E.M. Gorbunova

Institute for Dynamics of the Geospheres, Russian Academy of Sciences, Moscow

The paper systemizes the results of study of man-caused situation formed outside the central zone of underground nuclear explosion (CZ UNE), at a testing area of the Semipalatinsk Test Site (STS) - Zarechie. The consequence effects of nuclear testing appeared in the rock massif and on the ground surface in the radius of 0,3-5 km from event epicenter are described.

УДК [550.42:546.49]:623.454

РТУТОМЕТРИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ ЗА ИСПОЛНЕНИЕМ ДОГОВОРА О ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕМ ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Политиков М.И., Мурзадилов Т.Д., Политиков И.М.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

В статье обсуждается предложение о площадном изучении содержания ртути в литохимических пробах с целью повышения эффективности контроля за проведением ядерных испытаний, включая такой его этап как Инспекция на месте. Предполагается, что пониженное содержание ртути, выявляемое на дневной поверхности, вдоль отдельных зон нарушения, связано с выходами высокотемпературных радиоактивных газофлюидов, образуемых во время подземного ядерного взрыва. Характеристика аномалий зависит от энергии газодинамического воздействия на геологическую среду, определяемого мощностью и глубиной заряда, а также геолого-тектоническим строением места проведения подземного взрыва.

При осуществлении положений Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний одной из актуальных является задача повышения эффективности методов, применяемых при инспекциионной деятельности (Инспекции на месте). При определенных условиях проведения подземных ядерных взрывов (малая мощность заряда, большая глубина его заложения и т.п.) техногенные радионуклиды могут не достигать дневной поверхности и, тем самым, усложнять поиск эпицентра подземных взрывов и их идентификацию. В таких случаях достижение успеха связывают с обнаружением на поверхности или в подпочвенном воздухе легкоподвижных газовых радионуклидных изотопов типа ксенона и аргона [2, 4]. Часть этих изотопов при подземных ядерных взрывах (ПЯВ) под воздействием первоначального, избыточного давления может прорываться из ядерных полостей и достичь дневной поверхности за считанные секунды, а затем медленно просачиваться по тем же каналам (разрывным нарушениям) за счет барометрической «подкачки» в моменты резкого падения атмосферного давления. Процесс может регистрироваться в течение 130 и более дней с момента детонации заряда [11]. Однако даже такой длительный срок далеко не всегда может гарантировать успешное решение инспекционных задач. Одна из причин заключается в отсутствии надежных визуальных признаков, по которым можно предугадать, в каком месте на поверхности следует ожидать поступление этих изотопов. Это приводит к необходимости опробования подпочвенного воздуха на достаточно больших площадях, по регулярной или случайной сети, что может вызвать значительный перерасход лимита времени, оговоренного ДВЗЯИ, для проведения инспекции.

В «Проект действующего руководства инспекции на месте» (CTBT/WGB/TL-4/14, Вена, 1999) включена рекомендация по локализации места опробования при инспектировании. В частности, указано, что «…наиболее важными местами, где следует выбирать участки для опробования, должны быть площади, включающие места расположения подозреваемого события, записанные в инспекционном мандате, вокруг подземных горных выработок, а также на участках с резко отличающейся структурой залегания горных пород. На каждой из таких площадей рекомендуется проводить опробование на территории в радиусе 2-3 км. При этом, наилучшими местами такой локализациями должны быть трещины и разломы, проявляемые на поверхности и идентифицированные на основании информации, полученной во время облета территории и проведения на ней наземных визуальных съемок, а также из других источников, включая геологические карты». В процитированных рекомендациях не уточнено, все ли выявленные с поверхности трещины и разрывные нарушения подлежат опробованию, а если не все, то какие из них и по какой сети? Как поступать инспекционной группе в условиях, когда территория, подлежащая исследованию, перекрыта густой растительностью, снежным покровом или другими образованиями, затрудняющими, или полностью исключающими возможность выявления таких нарушений на поверхности? Эти и другие возможные вопросы означают необходимость поиска более надежных и конкретных путей решения задачи. Одним из таких путей может быть использование ртутометрической съемки, позволящей учитывать распределение содержания ртути в литохимических пробах, отбираемых из почво-грунтов на глубине 20 см. Основа решения задачи по предлагаемой методике заключается в следующем [10].

Известно, что в месте размещения ядерного заряда, развивается температура в несколько миллионов градусов по Цельсию. Под термическим воздействием происходит локализованное выгорание горных пород с образованием полости, заполненной газами комплексного состава. В условиях сверхвысокого давления газы, находясь в состоянии сжатого флюида [7], выдавливаются за пределы образовавшейся полости через разрывные нарушения и зоны повышенной трещиноватости горных пород, образованные или обновленные под воздействием ядерного взрыва, и движутся в направлении снижения литостатического давления, прежде всего, к дневной

поверхности. Активно взаимодействуя с вмещающей средой, флюидо-тепловой поток способствует экстракции и накоплению различных химических элементов, прежде всего, щелочных и щелочноземельных металлов [6].

На пути своего движения флюиды находятся не только под влиянием изменения перепада давления и температуры, но и смены окислительно-восстановительного режима среды и ее физико-химических свойств. В приповерхностной части геологического разреза, в условиях водно-кислородного геохимического барьера, происходит отложение большинства химических элементов, накопленных в процессе экстракции. Исключение составляют инертные газы и ртуть. Ртуть должна десорбироваться из горных пород по пути движения флюида и выноситься в атмосферу из-за сравнительно низкой температуры десорбции и высокой проницаемости за счет нахождения в атомарном состоянии, химической инертности и очень слабой растворимости в водной среде. В следствие этого, на дневной поверхности должны формироваться участки с пониженным содержанием ртути, несущие «отпечаток» формы и поперечных размеров мест выхода газофлюидного теплового потока.

Основываясь на высказанных предположениях, в 1998 – 2002 гг были проведены полевые эксперименты на двух объектах, где в 1972-1987 гг производились подземные ядерные взрывы - Балапан (Семипалатинский испытательный полигон) и Лира (Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение). Объекты характеризуются различной геологической обстановкой и различными условиями проведения ПЯВ.

На объекте Балапан литохимическая съемка проведена вдоль 10-километровой линии расположения скважин 1061, 1315, 1304 и «Глубокая». Все 4 скважины пройденны в осадочно-вулканогенных породах (алевролиты, песчаники, конгломераты, порфириты). Взрывы в скважинах были произведены на глубинах 385-950 м.

На объекте Лира исследовано 2 участка- в окрестности скважин 2, 3 и 5ТК (размером 2,3 кв. км.) и в окрестности скв. 6 ТК (размером 1 кв. км.). Скважины пройдены в соляном куполе. Верхняя часть купола – кепрок (ангидриты, конгломераты), перекрыт толщей мезокайнозойских отложений (песчаники, конгломераты, глины). Взрывы в скважинах произведены на глубинах 850-950 м.

Съемка проведена по технологии, разработанной для поисков рудных месторождений [5]. На исследуемых участках литохимические пробы отбирались с глубины 20 см, шаг съемки - 50 м. Анализ на ртуть проведен с использованием газортутного анализатора АГП-01, обеспечивающего нижний предел обнаружения ртути на уровне $3 \cdot 10^{-8}$вес.%.

На рисунке 1 приведен фрагмент полученных данных по участку Балапан [10].

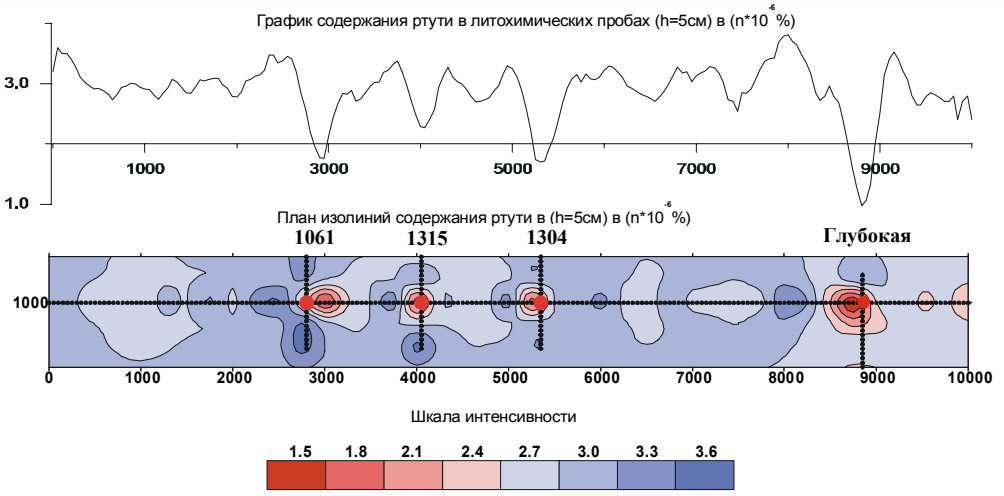


Рисунок 1. Участок Балапан СИП. Результаты ртутометрии по профилю скв. 1061 - Глубокая

По результатам съемки выявлены высокоградиентные аномалии пониженного до $1{,}2 \times 10^4$ вес.% содержания ртути (при фоне порядка 3×10^4 вес.%), приуроченные к устью скважин, в которых были произведены ядерные взрывы. Аномалии в плане имеют изометрическую форму и различаются между собой площадными размерами и интенсивностью, которые находятся в некотором соответствии с мощностью и глубиной взрывов. Наиболее значительно снижение содержания ртути отмечено у устья скважин 1061 и «Глубокая», где ядерные заряды мощностью 165 кт и 70 кт были взорваны на глубине 385 м и 750 м, соответственно. Менее интенсивные аномалии зафиксированы у скважин 1315 (365 м, 11 кт) и 1304 (375 м, 55 кт). Происхождение аномалий пониженных содержаний ртути в пределах рассматриваемого участка может быть увязано с процессом прорыва высокотемпературных газорадиоактивных флюидов из ядерных полостей через околоустьевую область.

На объекте Лира проведены более масштабные исследования с применением не толькр ртутометрии, но и хлорометрии, гамма-спектрометрии, сейсмометрии. В [10] описаны результаты ртутометрии по участку со скважинами 2, 3, и 5ТК. В пределах изученной площадки пониженным (менее 1×10^{-6} вес%) содержанием ртути достаточно контрастно проявились линейно-вытянутые узколокальные аномалии. В отличие от результата, приведенного по участку Балапан, аномалии здесь не имеют такой приуроченности к устьям скважин и имеют большую площадь распространения Различие объяснено тем, что в скважинах объекта Лира заряды, меньшей мощности и на большей глубине, были взорваны в более монолитной упруго-вязкой среде соляного купола. Из-за давления, недостаточного для вертикального прорыва флюидов вдоль ствола скважины, высокотемпературные флюиды прорвались по другим направлениям - по крутопадающим разрывным нарушениям и обновленным зонам повышенной трещиноватости. Поэтому аномалии пониженного содержания ртути унаследовали направление и размеры выходов тектонических нарушений на дневную поверхность. Об этом может свидетельствать факт пространственного совпадения аномалий пониженных содержаний ртути с ореолами хлора, выявленными по одним и тем же литохимическим пробам. Хлор мог образоваться только в ядерных полостях за счет термического разложения и радиолиза галита (NaCl). Благодаря своей химической агрессивности, свободный хлор по пути движения образовывал соединения с различными химическими элементами, вовлеченными в общий теплофлюидодинамический процесс, и таким образом формировал ореолы рассеяния вдоль проницаемых систем, пространственно совмещающихся с аномалиями пониженных содержаний ртути [9].

Пространственное совпадение аномалий хлора и ртути в изучаемых условиях может рассматриваться как доказательство движения обоих элементов по одним и тем же каналам, непосредственно связанными с ядерными полостями.

Результаты картирования тектонических нарушений по ртуто- и хлорометрии оказались чрезвычайно полезными при создании прогнозной модели миграции подземных вод и радионуклидов по результатам комплексной интерпретации данных сейсмометрии и гамма спектрометрии.

На рисунке 2 приведены результаты ртутометрической съемки, проведенной в 2002 г, на втором участке объекта Лира - в окрестности аварийной скважины 6ТК. На карте изолиний содержания ртути, построенной относительно уровня геохимического фона, выделены условно две категории аномалий: с повышенным (более $1\cdot10^{-6}$ вес %) и пониженным (менее $1\cdot10^{-6}$ вес %) содержанием. Первые из них занимают более 70% всей исследованной площади, образуют мозаичную картину, на фоне которой наиболее контрастно проявляется линейно-вытянутая зона аномально пониженного содержания ртути северо-восточного простирания. С середины участка (пикет 45) аномалия разделяется на обособленные ветви. Плановое положение аномалий достаточно хорошо совпало с положением регионального разлома, контролируемого руслом реки.

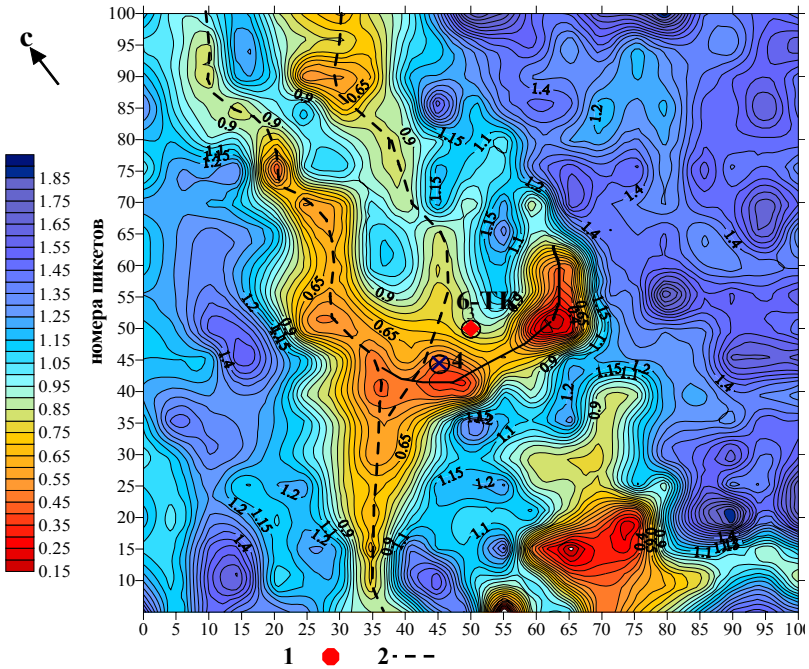


Рисунок 2. Объект Лира. Результаты ртутометрии в окрестности скв. 6 ТК

По аналогии с предыдущими примерами, можно полагать, что формирование аномалий пониженного содержания ртути происходило также под воздействием высокотемпературного газового флюида, прорывавшегося из ядерной полости в атмосферу.

Результаты проведенных полевых экспериментов могут быть использованы для ответа на вопрос, какие места и какие, выявленные на дневной поверхности трещины и разрывные нарушения, подлежат первоочередному опробованию при проведении Инспекции на месте. Однако, несмотря на обозначенные перспективные возможности ртутометрии при решении задач инспектирования, остается без ответа ряд важных методических вопросов. Так, неяснен характер распределение ртути на глубине и связь с положением эпицентра ПЯВ. Эти задачи исследуются, в том числе с применением методов математического моделирования.

Для выполнения математического моделирования получен ряд решений и разработаны алгоритмы расчета, основанные на теории сильного взрыва Седова-Неймана, закономерностях химической кинетики возгонки ртути из горных пород, термодинамики, гидродинамики [8]. В качестве исходных данных используется распределение содержания ртути, экспериментально полученное для изучаемого участка, данные об условиях взрыва, о термодинамических характеристиках горных пород и др. При численном моделировании выполняется экстраполирование зафиксированных площадных ореолов на глубину. Кроме того, построенная математическая модель позволяет реконструировать температурное поле на момент взрыва и оценить ряд других характеристик взрывного процесса, связанных с образованиями ртутных аномалий.

Для экстраполяции на глубину поверхностных ртутометрических аномалий получены решения, имеющие следующий вид:

$$l_{QM} = R_{Qm} + \frac{\sum_{M_2} \frac{(l_{QM_2} - R_{O_{ij}} - R_{M_1M_2})}{(l_{QM_2} - R_{QM_1} - R_{M_1M_2} + 4\pi/r} \exp\left[a/r_\delta\,(l_{QM_2} - l_{QM_1} - R_{M_1M_2})\right]}{\sum_{M_2} \exp\left[a/r_\delta\,(l_{QM_2} - R_{QM} - R_{M_1M_2})\right] \Big/ (l_{QM_2} - R_{QM_1} - R_{M_1M_2} + 4\pi/r_\delta)},$$

$$l_{QM_2} = \frac{\left(\frac{a+\alpha}{\alpha} R_3 b\right)}{\left[(1+b) - C_m M_2\right] / C_\phi \cdot M_2},$$

$$C_{mM_1} \Big/ C_{m\phi M} = (1+b) - \left(\frac{a+\alpha}{\alpha} R_3 b\right) \Big/ l_{QM}\ .$$

Здесь: R_{QM_2}, R_{QM_1} - определяют положение точек дневной поверхности и внутренних точек геологической среды; $C_m/C_{\phi M_2}$ *и* C_{mM_1}/C_{mM_2} - отношения концентрации ртути в горной породе к ее фронтовым содержаниям в точках M_1 *и* M_2, l_{QM_1} *и* l_{QM_2} - длины каналов прорыва горячих газовых продуктов взрыва к точкам M_1 и M_2; a, b, α - коэффициенты, определяемые эмпирически или путем расчетов, R3 – линейный размер зоны интенсивного дробления горных пород, определяемый эмпирически или путем расчетов.

Для расчета мгновенного распределения температуры в точках геологической среды (за фронтом потока высокотемпературного газового флюида) получено следующее решение:

$$T = 937.32\ arctg\left(1 - 0.732\frac{C_m}{C_\phi}\right) + 28.4[^\circ K],$$

где Cm/Cф – отношение концентрации ртути в данной точке к фоновому значению,

В качестве примера использования полученных решений на рисунке 3 приведено рассчитанное погоризонтное распределение температуры для блока геологических пород в окрестности скважины 6ТК, характеризующегося распределением ртути, показанным на рисунке 2. Из рисунка 3 следует, что на отметке 950 м, соответствующей положению центра ядерной полости, температура окружающей среды имеет максимальную величину (1550°К), характезизуется ореолом изометричной формы в пределах всей площадки, того же размера, что исследованный участок. По мере движения к дневной поверхности, в поперечных сечениях, особенно на глубинах менее 300 м. площадь высокотемпературного ореола уменьшается. Одновременно снижается до 750°К температура на дневной поверхности. Обращает на себя внимание, что эпицентры ореолов, рассчитанных в различных сечениях, совпадают с осью скважины практически до отметки 50 м. После этой глубины, ориентировка аномалий с максимальными значениями температуры изменяется в соответствии с направлением линий простирания зон нарушения. Исключение составляет появление в непосредственной близости от устья скважины локальной дугообразной аномалии повышенных температур и низкого содержания ртути (рисунок 2), что может быть связа-

но с откольными явлениями, обычно происходящих в приповерхностной части геологического разреза.

Созданные средства численного моделирования продолжают тестироваться на полученных экспериментальных данных.

В 2002 г в Казахстане на участке Балапан Семипалатинского испытательного полигона, по решению Временного технического секретариата Подготовительной комиссии Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, проведен расширенный полевой эксперимент инспекции на месте ПЭ-02. Казахстанская сторона провела подготовку эксперимента в окрестности испытательной скважины 1340-II. В частности, в этой скважине был проведен взрыв мощностью 25 тонн гранулотола на глубине 175-200 м, имитирующий несанкционированный ПЯВ.

В составе программы ПЭ-02 до и после проведения имитационного взрыва проведен комплекс исследований в окрестности скважины 1340-II для оценки эффективности методов поиска и локализации мест несанкционированных взрывов. В состав работ была включена ртутометрическая съемка, которая проведена на площадке размером 1 кв. км. по сети 40×40 м.

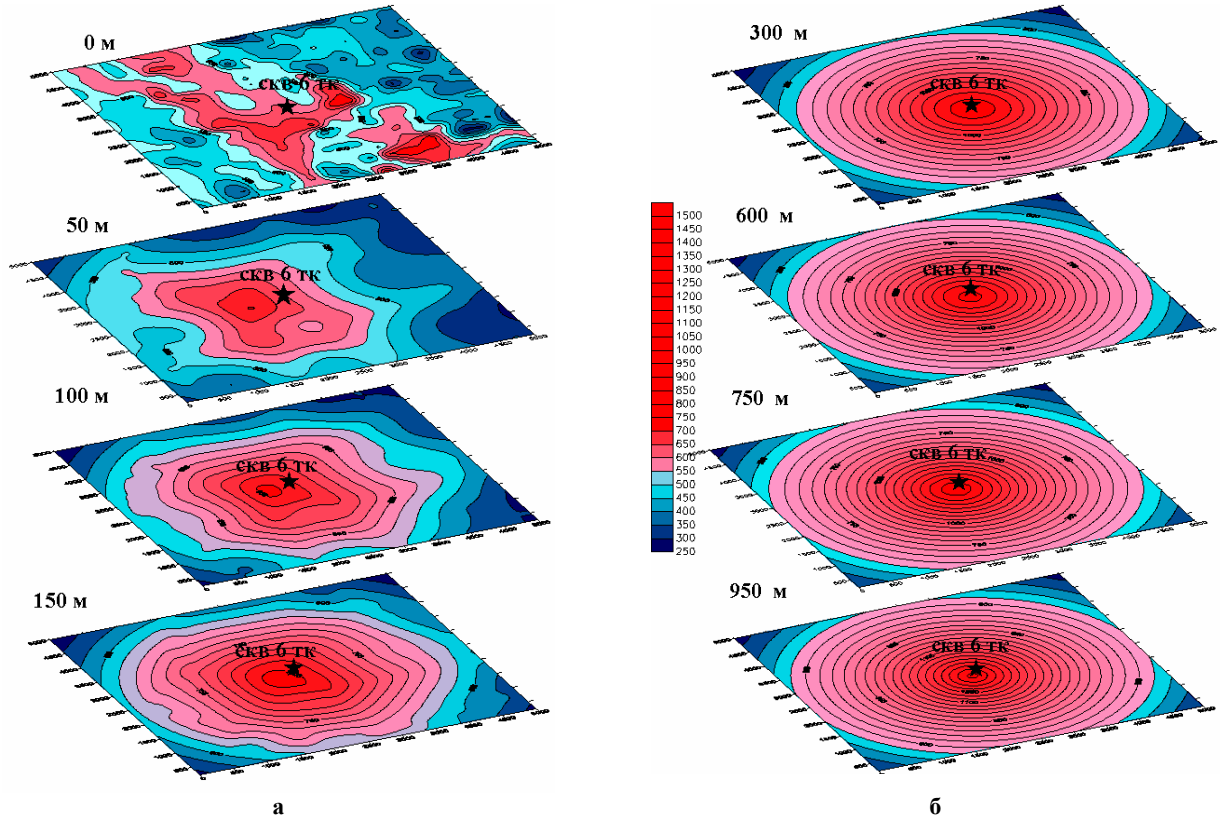
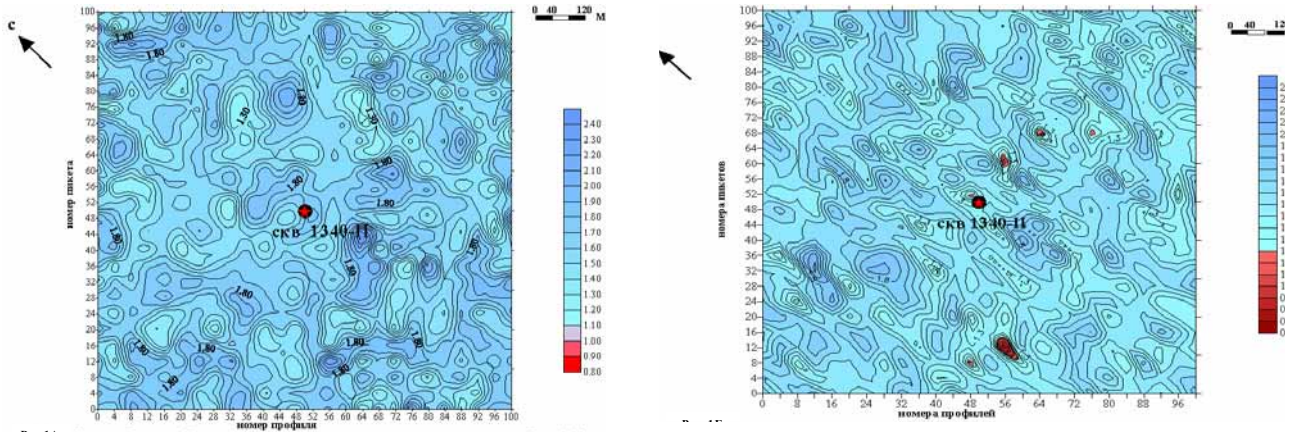


Рисунок 4. Объект Лира, Результаты погоризонтного расчета температуры (°К) на период прорыва газофлюидов из ядерной полости применительно к условиям скв, 6 ТК

Отбор литохимических проб сделан по одним и тем же пикетам до и после взрыва. Методика отбора проб и их анализа на ртуть была той же, что в вышеоисанных случаях и в [5]. Результаты ртутометрии приведены на рисунке 5.

До взрыва распределение ртути в почво-грунтах имеет мозаично-сотовую структуру (рисунок 5а). Содержание ртути изменяется в диапазоне от 1,1 до $2{,}4\times10^{-6}$ вес %. Наибольшими значениями характеризуется большая часть площадки. Установлено, что они приурочены к местам распространения почв с наибольшим количеством органического вещества и, соответственно, с наиболее развитой травянистой растительностью. Наименьшие значения приурочены к сухостойному степному ландшафту, где мелкозем подвергся наиболее интенсивной ветровой эрозии. Средние значения содержания ртути в основных типах почв, статистически значимо не отличаются от общего геохимического фона ($1{,}6\times10^{-6}$ вес %). Отмечена также тенденция к накоплению ртути в верхнем почвенном слое, что может свидетельствовать о ртутном загрязнении поверхности, главным образом, за счет региональных атмосферных выпадений. Отсутствие аномально низких содержаний ртути (ниже уровня $1{,}6\times10^{-6}$ вес %) свидетельствует о том, что горные породы на рассматриваемом участке до проведения взрыва не подвергались термическому воздействию.



а **б**

Рисунок 5. Участок Балапан. Район скважины 1340-II.
Содержание ртути в почво-грунтах на глубине 0-20 см (n·10^{-6} вес %): а – до взрыва в скважине; б – после взрыва

После взрыва, как это можно видеть из рисунка 5б, распределение ртути на участке претерпело существенные изменения. Во-первых, проявилась некоторая структуризация наблюденного поля, что отразилось в его явной анизотропии с основной осью, соответствующей простиранию структур палеозойского фундамента. Наиболее вероятным объяснением проявления этого эффекта, является механическое воздействие взрыва на геологическую среду, что привело как к обновлению, так и к закрытию межформационыых границ и зон трещиноватости в горных породах палеозоя. Во-вторых, на карте изолиний проявилось шесть аномалий пониженного содержания ртути (0,8 – 0,9×10^{-6} вес %), разрозненных и небольших по размеру. Четыре из них, к востоку от скв.1340-II, сгруппированы в отдельную дугообразную структуру, протяженностью порядка 400 м. Две другие аномалии, располагаются на том же расстоянии, но к юго-западу от скважины.

Изменения, зафиксированные на рисунке 5б, могут быть также увязаны с тепловым и механическим воздействием произведенного взрыва на геологическую среду. Относительно слабое его проявление на поверхности обусловлено, прежде всего, малой ощностью и тем, что взрыв произведен без забивочного комплекса, из-за чего он не был камуфлетным. Основная масса газа, образовавшегося в полости взрыва, была выброшена через устье скважины в атмосферу вместе с грязеводной массой на высоту около 100 м. Снизило температуру газа также высокое содержание воды в этой смеси. Разрозненность, малые размеры и интенсивность аномалий могут свидетельствовать о том, что прорывы газов носили узколокальный характер по имевшимся или обновленным в процессе взрыва ослабленным зонам. В [1, 3] показано, что подобный механизм образования аномалий характерен для подземных взрывов малой энергии, при которой аномалии имеют небольшие размеры и малую интенсивность, представляя собой разрозненные пятна произвольной конфигурации.

В целом результаты по ртутометрии, полученные на участках проведения подземных ядерных взрывов, позволяют сделать следующие выводы:

1. Ртуть может рассматриваться как один из наиболее информативных геохимических элементов при решении задач инспекции на месте, благодаря повсеместному распространению в горных породах и в силу таких качеств, как чрезвычайно высокая миграционная способность и отгонка, происходящая синхронно с внедрением высокотемпературных газовых флюидов в окружающую среду.

2. Прорыв из ядерных полостей высокотемпературных газовых флюидов в атмосферу способен формировать на своем пути аномалии пониженных содержаний ртути. Масштаб и интенсивность проявления аномалий в геохимическом поле определяется энергией теплодинамического воздействия на геологическую среду и местными условиями.

3. Для обнаружения на инспектируемой площади эпицентров подземных взрывов и их идентификации в качестве первоочередных участков для обследования должны рассматриваться аномалии пониженных содержаний ртути, локализующиеся в тех же местах выхода из ядерных полостей на поверхность инертных газовых изотопов.

4. Учитывая актуальность задач Инспекции на месте ДВЗЯИ и перспективность использования ртутометрии, необходимо продолжить накопление фактического материала путем проведения дополнительных экспериментальных работ с охватом более широкого круга объектов и способов проведения ПЯВ, а также развивать средства математического моделирования и теоретические исследования наиболее важных воросов. Одновременно с этим целесообразно продолжить поиск новых, более экспрессных ртутометрических способов обнаружения мест прорывов из ядерных полостей высокотемпературных газовых флюидов. Так, например, следует рассмотреть возможность использования эффектов, возникающих при возбуждении геохимического поля, позволяющих повысить точность измерений и производительность работ (Способ вызванной дегазации ртути из горных пород, защищенный двумя Патентами № 10798, 1994; № 16224, 1995 г.).

Литература

1. Адушкин В.В., Спивак А.А. Характеристики выхода радиоактивных продуктов подземного взрыва в атмосферу//Труды международной конференции «Радиоактивность при ядерных взрывов и авариях», 24-26 апреля 2000 г. - М. 2000.
2. Боров А. Новый метод обнаружения подземных ядерных взрывов//Зарубежное военное обозрение. – 1997 - № 1.
3. Бусыгин В.П. и др. Термический режим дневной поверхности в эпицентральной зоне подземных ядерных взрывов//Физика Земли. – 1999. - № 11.
4. Джексон Г.В., Хиггинс Г.Х., Вайолет К.И. Подземные ядерные взрывы//Journal of geophysical. - 1959. - 64. № 10.
5. Жеребцов Ю.Д., Политиков М.И., Сикорский В.Ю. Технология ртутометрических поисков рудных месторождений/Под ред. В.П. Федорчука. – М.: Недра, 1992. – 176 с.
6. Кузебный В.С. и др. Флюидный режим Земли и проблемы крупномасштабного рудообразования//Новосибирск: Наука. СО АН СССР. – 1991.
7. Мельник Ю.П. Состояние и свойства флюидов в условиях глубинного петрогенеза//Проблемы физико-химической петрологии. М.: Наука, 1979 - Т. 2.
8. Мурзадилов Т.Д., Беляшов Д.Н., Глущенко В.Н. и др. Теоретическая оценка деструкции горных пород под воздействием серии подземных ядерных взрывов на участке Балапан//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. – С. 123 - 126.
9. Овчинников Л.Н., Шляпников Д.С. Перенос металлов в виде комплексных соединений//Исследование природного и техногенного минералообразования. – М.: Наука. 1966.
10. Политиков М.И., Камберов И.М., Кривченко В.Ф. и др. О дестабилизирующем влиянии теплового потока на геологическую среду при подземных ядерных взрывах//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2001.- Вып. 2. - С. 132-136.
11. Проект действующего руководства инспектирования на месте //CTBT/WGB/TL-4/14, Вена .– 1999.

ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРҒА БАРЫН СЫЙДЫРАТЫН ТИЫМ САЛУ ТУРАЛЫ КЕЛІСІМІН ОРЫНДАУЫНА БАҚЫЛАУ МӘСЕЛЕЛЕРІН ШЕШУІНДЕ СЫНАПМЕТРИЯНЫ ҚОЛДАНУ

Политиков М.И., Мурзадилов Т.Д., Политиков И.М.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ

Мақалада, ядролық жарылыстар бақылауының тиімділігін жоғарлату мақсатымен литохимиялық сынамаларда сынап мөлшерін аландық зерделеу туралы, бұл кезеңін Орнындағы инспекция ретінде қоса, ұсыныс талқылауда. Жер үстіндегі бөлек белдемдерінде сынап мөлшерінің төмендеуі жер астындағы ядролық жарылыстарда пайда болатын жоғары температуралық радиобелсенді флюидтердің шығуымен байланысты болуы болжауда. Аномалиялар мінездемелері, оқтамның қуаты және терендігімен белгіленетін, геологияляқ ортаға газодинамикалық әсерінің қуатына, сондай-ақ жер астындағы жарылысты өткізген орнының геология-тектоникалық құрылысына байланысты.

TASK-SOLVING MERCURY MEASUREMENTS IN THE VERIFICATION OF COMPLIANCE WITH THE COMPREHENSIVE NUCLEAR TEST-BAN TREATY

M.I. Politikov. T.D. Murzadilov, I.M. Politikov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

The article discusses a proposal about areal study of mercury content in lithochemical samples with the purpose of enhancing the verification efficiency of nuclear monitoring including such its stage as On-Site Inspection. The decrease in mercury content found out along separate zones on the ground surface is presumably associated with outcome of high-temperature radioactive gaseous fluids generated during an underground nuclear explosion. Anomaly characteristics depend upon energy of gas-dynamic impact on geological medium to be determined by yield and depth of charge and geologic-tectonic structure of the underground explosion place.

УДК [55(084.3):552]:621

КАРТА РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА И МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ПРИГОДНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ РАО

Коновалов В.Е., Рощин И.Н.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

В связи с актуальностью проблемы повышения надежности изоляции радиоактивных отходов проведено изучение в этих целях геологических формаций, распространенных на территории Семипалатинского испытательного полигона и в прилегающих районах. Описаны найденные принципы оценки пригодности геологических массивов для изоляции РАО. Построена карта районирования территории СИП с использованием этих принципов. Выделено 43 потенциально перспективных места, относящихся к 14 интрузивным массивам, подлежащих приоритетному последующему изучению.

В процессе реализации военных и энергетических программ, в ходе производственной и научно-исследовательской деятельности, связанных с использованием расщепляющихся ядерных материалов, в мире накоплены огромные количества радиоактивных отходов (РАО). Различные по составу и активности, они находятся на временном хранении в специальных сооружениях, устроенных в большинстве своем на поверхности земли. Накопление большого количества РАО в зоне обитания человека приводит к большой радиационной нагрузке на биосферу с возможными генетическими последствиями, а также к возможному неконтролируемому распространению радиоактивных веществ из хранилищ.

Более надежная изоляция РАО всех уровней активности может быть достигнута путем размещения хранилищ в глубинных слабопроницаемых геологических формациях, отвечающих определенным требованиям радиационной и экологической безопасности [6, 8, 10]. Исследования по выбору участков для изоляции РАО в геологических формациях в последние годы XX века проводились многими странами-членами МАГАТЭ. Краткий обзор состояния дел по выбору мест для изоляции РАО – высоко-активных (ВАО), средне-активных (САО), низкоактивных (НАО) отходов, отработанного ядерного топлива (ОЯТ), - отражен в таблице 1 [8].

Таблица 1. Выбор участков под хранилища РАО в некоторых странах (по данным МАГАТЭ)

Страна	Тип отходов	Порода	Состояние проектов
Бельгия	САО, ВАО	Глина	Подземная исследовательская лаборатория (ПИЛ) в действии. В процессе - описание участков.
Канада	ОЯТ	Гранит	Процесс выбора участков начнется после завершения обзора окружающей среды. ПИЛ – в действии.
Чехия	ОЯТ, ВАО	Гранит	В процессе - выбор участка.
Финляндия	НАО, САО ОЯТ	Гранит	В действии - участок в Olkiluoto (совмещенный с АЭС). Построенный участок Loviisa поэтапно лицензируется для эксплуатации. Завершен отбор участков, исследуются 4 потенциальных участка.
Франция	ВАО	Гранит, глина	Завершен выбор 4 потенциальных участков. Будут построены 2 исследовательские подземные установки.
Германия	НАО, короткожи-вущие САО НАО, САО ВАО	Соль Осадочное железорудное месторождение (отработанное) Соль	В действии - участок Morleben на экспериментальной основе с 1978 г. Полномасштабная эксплуатация с 1981 г. Лицензируется участок Konrad. Описывается соляной купол Gorleben. Построены 2 исследовательские шахты.
Япония	ВАО	Кристаллические породы	В процессе - отбор участков.
Южная Корея	НАО, САО	Кристаллические породы	Завершен отбор участков для описания и подтверждения.
Испания	ВАО, ОЯТ	Гранит, соль, глина	В процессе - отбор участков.
Швеция	НАО ОЯТ	Гранит	Установка для описания свойств пород для реакторных отходов в действии в Forsmark с 1986 г. В процессе - отбор участков для захоронения ОЯТ. В действии - ПИЛ в Aspo.
Швейцария	НАО САО, ВАО, ОЯТ	Глина, гранит	Завершен отбор участков. Предложен участок Wellenberg. В процессе - отбор участков. В действии - ПИЛ в Grimsel.
Великобритания	НАО, САО	Вулканические породы	Исследования по описанию участка проведены в Sellafield.
США	ВАО ОЯТ	Соль Туф	Построены первичные устройства опытного завода по изоляции отходов. Выбран и исследуется участок Yucca Mountain. Установлено оборудование в исследовательской шахте. Подписан указ Президента о строительстве хранилища.

Из таблицы видно, что для изоляции РАО в качестве наиболее пригодных чаще всего избирают кристаллические породы, представленные в большинстве случаев гранитоидами. Это обусловлено следующими их свойствами:

- обычно это крупные массивы, сложенные сравнительно однотипными породами, что определяет предсказуемость физико-механических и химических свойств по всему объему;
- массивы имеют распространение на значительную глубину;
- подземные воды в кристаллических породах, чаще всего, имеют низкую концентрацию солей, слабощелочный восстановительный характер, что создает условия для минимальной растворимости радионуклидов;
- кристаллические породы характеризуются, как правило, высокой прочностью, повышенной теплопроводностью и устойчивостью к воздействию умеренных температур.

В некоторых странах (Германия, Испания, Швейцария, США) в качестве пригодных для изоляции ВАО, САО, НАО и ОЯТ отобраны участки, сложенные солями и глинами, которые также обладают положительными изоляционными качествами.

Проблема безопасного захоронения радиоактивных отходов является актуальной и для Республики Казахстан, который имеет более чем полувековую историю атомной промышленности, свыше 500 объектов хранения отходов и материалов различной степени радиоактивности [5]. В этой связи проведено предварительное изучение геологических формаций территории Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИП).

Территория Семипалатинского испытательного полигона входит в состав восточного сектора обширного, сложно построенного Урало-Монгольского палеозойского складчатого пояса. Известные в пределах СИП тектонические структуры принадлежат двум складчатым системам, существенно различающимся по истории геологического развития, магматизму и минерагении - Чингиз-Тарбагатайской и Иртыш-Зайсанской (рисунок 1). Граница между этими системами проходит по глубинному крутопадающему Калба-Чингизскому разлому.

Формирование *Чингиз-Тарбагатайской складчатой системы* в виде мегантиклинорного сооружения происходило в течение каледонского и герцинского циклов тектогенеза. Дифференцированность тектонического режима Чингиз-Тарбагатайского мегантиклинория обусловила различия в строении этой структуры, выразившиеся в чередовании синклинориев и антиклинориев, разграниченных крупными разломами, ориентированных в северо-западном направлении. В пределах СИП выделяются (с юго-запада на северо-восток) Абралинский синклинорий, Чингизский антиклинорий, Шонайский синклинорий и Аркалыкский антиклинорий.

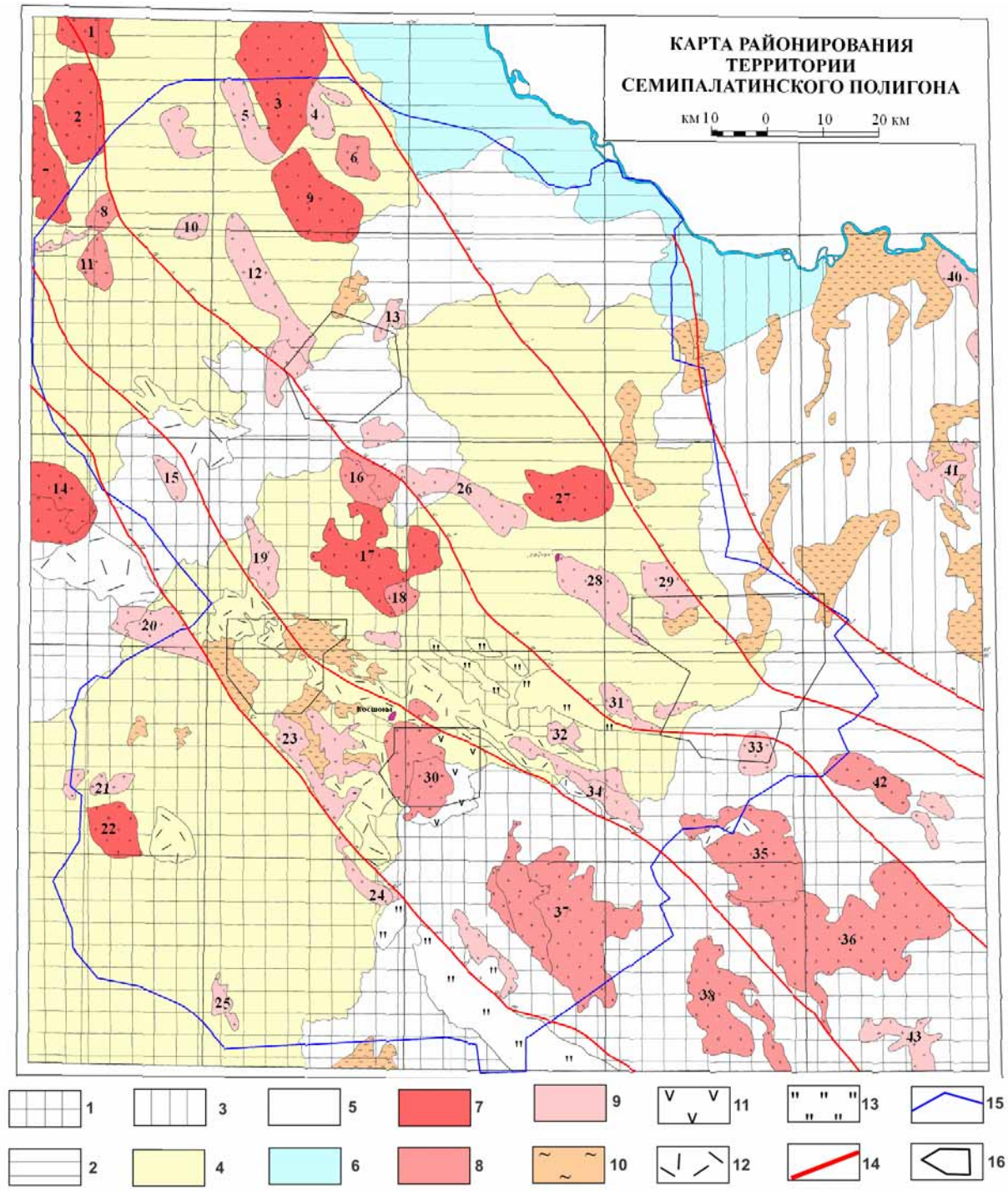
Иртыш-Зайсанская складчатая система на территории СИП представлена двумя крупными региональными структурами - Жарма-Саурским синклинорием, или Жарминской структурно-формационной зоной (СФЗ), и Западно-Калбинским синклинорием (Западно-Калбинской СФЗ).

В большинстве своем вулканогенные и осадочные толщи этих складчатых систем не пригодны для захоронения или хранения радиоактивных отходов. Однако, некоторые участки развития относительно однородных по составу, преимущественно кремнистых пород коксенгирской и майданской свит ($Є_2$), могут представлять интерес для изучения. Потенциально пригодными для изоляции РАО могут быть и вулканиты баянаульской и кайдаульской свит нижнего-среднего девона, сложенные андезитовыми и базальтовыми порфиритами и их туфами, липаритовыми и дацитовыми порфирами и их туфами (рисунок 1). Интересны для изучения липаритовые и дацитовые порфиры, туфы, диабазовые порфириты салдырминской свиты верхнего карбона - нижней Перми, формирующие Дегеленскую кольцевую вулканическую структуру. В связи с поиском мест для захоронения низко- и среднеактивных отходов могут быть изучены широко распространенные на территории СИП зеленоцветные монтмориллонитовые глины аральской свиты неогена, имеющие на отдельных участках мощность до 90 м. Но наибольший интерес вызывают кристаллические горные породы, которые на территории СИП представлены многочисленными интрузиями.

Территория СИП чрезвычайно насыщена интрузиями, различными по составу и по возрасту, что обусловлено напряженной тектонической обстановкой, возникшей в результате сопряжения долгоживущих разломов, обилия ослабленных зон и магмоподводящих каналов. Интрузивный магматизм проявлен на нескольких временных уровнях, начиная с кембрия, вплоть до поздней перми и даже мезозоя (на смежной с востока территории). Наиболее широко интрузии распространены в каледонидах Чингиз-Тарбагатайской складчатой области и в Жарма-Саурской герцинской структурно-формационной зоне, тогда как в Западно-Калбинской СФЗ они играют подчиненную роль.

Ниже приводится краткая характеристика основных интрузивных комплексов, развитых на территории СИП и прилегающих к нему районах, в возрастной последовательности (рисунок):

- *чаганский комплекс ($\gamma\delta O_1$)* - кварцевые диориты, гранодиориты. Ряд линейных массивов трещинного типа, приуроченных к оперяющим нарушениям Главного Чингизского разлома (Муржикский № 20 на рисунке, Дуана - № 24 и др.). Протяженность отдельных интрузий достигает 18 км при ширине 1-5 км;



Структурно-формационные зоны: 1 – Чингиз-Тарбагатайская; 2 – Жарма-Саурская; 3 – Западно-Калбинская. *Гидрогеологическое районирование:* 4 – область бессточных впадин, котловин; 5 – область водоразгрузки по направлению р.Иртыш; 6 – надпойменная терраса р.Иртыш. *Пригодность интрузивных массивов для изоляции РАО:* 7 – потенциально пригодные; 8 – ограниченно пригодные; 9 – непригодные. *Эффузивные и осадочные образования:* 10 – зеленоцветные глины аральской свиты (N_1^{1-2} *ar*); 11 – липаритовые порфиры и базальтовые порфириты салдырминской свиты (C_3-P_1 *sl*); 12 – вулканогенные образования баяноульской и кайдаульской свит (D_{1-2} *bn, kd*); 13 – кремнистые отложения майданской и коксенгирской свит ($Є_2$ *md,ks*); 14 – глубинные разломы, разделяющие структурно-формационные зоны; 15 – граница Семипалатинского полигона; 16 – испытательные площадки.

Рисунок. Карта районирования территории Семипалатинского испытательного полигона по степени пригодности геологических формаций для изоляции РАО

- *четский комплекс ($\gamma\delta S_2$)* - кварцевые диориты, гранодиориты, реже граниты. Расположены, в основном, в Чингиз-Тарбагатайском мегантиклинории, где они прорывают нижнесилурийские отложения (Шольадырский - № 37, 38, Тасбасканский - № 39 и др. интрузивные массивы);

- *кызылобинский комплекс (γD_2)* - граниты, граносиениты, дайки гранит-порфиров, граносиенит-порфиров, Жангызтауский - № 25, Кызыладырский - № 21 массивы, несколько небольших лакколитоподобных и трещинных тел в Чингиз-Тарбагатайском мегантиклинории;

- *чингизский комплекс (γD_3)* - крупнозернистые лейкократовые граниты. Койтасский - № 22, Ащикольский – № 22, Байлауский - № 35 массивы, мелкие штокообразные тела в Чингиз-Тарбагатайской структурно-формационной зоне;

- *саурский комплекс (габбро-диорит-гранодиоритовая формация) ($\gamma\delta C_1$)* – проявлен, в основном, в центральной части СИП - в Жарма-Саурской СФЗ: Шалкасорский - № 26, Акботинский - № 27, Западно- и Восточно-Шорский - № 28 и № 29, - массивы;

- *шангирауский комплекс (диорит-гранодиоритовая формация) ($\gamma\delta C_2$ -C_3)* - отмечается в западной и северо-западной частях Семипалатинского испытательного полигона. Наиболее крупные массивы – Шангирауский - № 3, Кызылшокинский - № 17, Жусалинский - № 33, Жамантузский - №4, Сулусорский - № 5 и др.;

- *жамантауский комплекс (γC_3)* - крупнозернистые биотитовые граниты. Интрузивы этого комплекса располагаются в пределах двух зон северо-западного простирания. Восточная зона сочленения Чингиз-Тарбагатайской и Иртыш-Зайсанской систем заключает интрузивные тела, чаще всего, линейно-вытянутой вдоль разломов формы (интрузивы трещинного типа). В другой, западной зоне, интрузивы имеют изометричные очертания в плане и цилиндрическую, штокообразную форму. К этой группе относятся массивы: Айдарлинский - № 1, Жамантауский - № 2, Эдрейский - № 14, Восточно-Койтасский - № 16, Кузганский - № 12 и др.;

- *эспинский комплекс (γC_3-P_1)* - аляскитовые и существенно К-полевошпатовые граниты. Ими сложены массивы: Северный Койтас - № 8, Кызылэспе - № 9, Южный Койтас - № 11, Майлыкара - № 18 и ряд более мелких интрузий. Интрузивные тела имеют либо изометричные в плане очертания и цилиндрическую форму (массив Кызылэспе), либо они вытянуты в меридиональном направлении и имеют прямоугольно-блоковую форму (Северный и Южный Койтас);

- *тлеумбетский комплекс ($\gamma\varepsilon P$)* – кварцевые сиениты, граносиениты, щелочные граниты. Интрузивные образования комплекса распространены в северо-западной и западной частях полигона. Массивы чаще всего имеют линейно-вытянутую в субмеридиональном направлении форму, образуют интрузии трещинного типа, внедрившиеся в зоны разломов глубинного заложения. Реже - это штокообразоные изометричные в плане тела. В состав комплекса входят Тлеумбетский - № 7, Сарыадырский - №6, Алыбайский - № 15, Хожабекский - № 19 и другие более мелкие массивы;

- *жарминский комплекс ($\gamma\varepsilon P_1$)* – граносиениты, кварцевые сиениты, реже граниты. Породы комплекса распространены в зоне сочленения Иртыш-Зайсанской и Чингиз-Тарбагатайской складчатых систем и слагают ряд массивов плитообразной морфологии. Наиболее крупным на территории СИП является Кельмембетский массив - № 34, ориентированный согласно с глубинным Западно-Аркалыкским разломом. Немногочисленные дайки, генетически связанные с этой интрузией, представлены граносиенит-порфирами, аплитами и диоритовыми порфиритами;

- *керегетас-эспинский комплекс (γP_2)* – преимущественно крупнозернистые аляскитовые граниты. Дегеленский - № 30, Арчалинский - № 10, и др. массивы. Наиболее крупный из них Дегеленский, приуроченный к центральной части одноименной вулкано-тектонической депрессии, в плане имеет форму вытянутого овального тела, на глубине, по гравиметрическим данным, форма его грибовидная;

- *поздний верхнепалеозойский (кандыгатайский) комплекс (γPz_3-III)* – крупнозернистые биотитовые и аляскитовые граниты, реже средне- и мелкозернистые аляскитовые граниты. Массивы комплекса имеют овальную изометричную форму, являются плутонами типа лакколитов или концентрических кольцеобразных тел. На территории Жарма-Саурской зоны, примыкающей с востока к СИП, известны крупные массивы позднего верхнепалеозойского комплекса Акбиик - № 42 и Догалан - № 43 и ряд небольших линзовидных и штокообразных тел среди интрузивных образований силурийского гранодиоритового Карашокинского массива.

- *триасовый субвулканический комплекс ($\gamma\varepsilon T$)* - распространен на площади, расположенной к востоку от территории Семипалатинского испытательного полигона, и представлен породами гранит-сиенитового ряда. В совокупности с вулканическими породами семейтауской свиты они слагают вулканическую постройку площадью около 1200 км^2. Группа пород гранит - сиенитового ряда представлена граносиенит-порфирами и гранит-порфирами, слагающими Карасингерский массив - № 41;

- *ранний мезозойский (карагайлинский) комплекс (γMz_1)* - также проявлен в восточной части рассматриваемого региона. Лейкократовые порфировидные граниты и гранит-порфиры слагают ряд массивов, среди которых наиболее крупным является Карагайлинский - № 40, обнажающийся в виде трех апофиз, по данным гравиразведки, соединяющихся на глубине и образующих трубообразное тело.

Таким образом, на рассматриваемой территории в его современном срезе можно выделить 14 интрузивных комплексов. Преобладающими разновидностями интрузивных образований являются породы гранитоидного ряда. В меньшей степени развиты породы среднего и основного состава. Ультрамафиты распространены преимущественно за пределами испытательного полигона.

Для повышения надежности изоляции РАО в перспективных геологических формациях и для ограничения возможного распространения радионуклидов в окружающую среду при аварийной ситуации важно учесть гидрологические позиции – распределение областей водосбора и разгрузки поверхностных и грунтовых вод на рассматриваемой территории. По гидрологическому признаку вся территория СИП разделена на 3 области (рисунок):

- обширной надпойменной террасы реки Иртыш, где в целях безопасности исключается размещение любых вредных и токсичных материалов;
- разгрузки водотоков, преимущественно в сторону долины реки Иртыш, где выделение мест для размещения хранилищ РАО ограниченно
- разгрузки водотоков преимущественно в систему локальных бессточных котловин, имеющих широкое распространение на территории СИП, которая является наиболее приемлемой для мест размещения хранилищ РАО.

Выбор наиболее стабильных геологических блоков для захоронения или длительного хранения в них радиоактивных, прежде всего высокоактивных отходов, должен опираться на учет не только рассмотренных, но и других, весьма разноплановых факторов [10]. Существует несколько подходов к комплексной оценке районов [6]. При этом, степень формализации оценочных процедур, методология принятия решений весьма различаются. Можно перечислить некоторые из них в порядке повышения уровня формализации - *отбор по пригодности, качественное сравнение, определение рейтинга места, многофакторный анализ и др.* При оценке геологической информации наиболее часто применяют методы экспертной оценки с выставлением баллов по отдельным критериям и суммированием их для принятия решения. Методы экспертной оценки широко используются при составлении карт природной опасности, для выбора мест размещения различных сооружений, представляющих потенциальную опасность. Э.В.Соботович и С.П. Ольштынский [7] предложили методику экспертной оценки пригодности территорий для размещения АЭС. В основу методики положена совокупность критериев оценки природных условий, ранжированных по значимости влияния на масштаб возможного загрязнения биосферы. По пути применения метода экспертных оценок пошли и разработчики методик выбора места под хранилища РАО. Так, В.Н.Морозовым и В.Н.Татариновым [4] комплексная оценка пригодности геологического блока выражается его рейтингом, который складывается из суммы произведений экспертных оценок в баллах по 27 факторам на цену каждого фактора. Экспертная оценка отражает степень пригодности блока по данному фактору, а цена – значимость фактора в формировании обобщенной оценки пригодности. Признак пригодности района для захоронения РАО, называемый авторами этой методики «стабильностью структурно-тектонических блоков», кроме геологических факторов, включает некоторые социально-политические факторы (такие, как плотность населения и др.). Для выбора места размещения могильника ВАО и ОЯТ О.Л. Кедровским и И.Ю.Шищицем [1] предложена схема учета некоторых определяющих факторов по данной проблеме, В.В.Лопатиным с соавторами [3] выполнены расчеты рейтинга по 24 факторам для некоторых регионов СНГ – от 48,2 (идеализированный район) до 26,5 (район Тянь-Шаня). Это позволило исследователям классифицировать территории СНГ на три категории.

Методические предложения по выбору геологической среды места захоронения РАО на основе экспертных оценок опубликованы в ряде работ Б.Т. Кочкина [2]. Комплексная оценка района определяется суммой балльных отметок по 16 геологическим критериям.

Проблема установления значимости каждого из важных геологических факторов рассмотрена в американской программе выбора мест для захоронения РАО [6], которая включает оценку мест по всей стране и в различных геологических формациях, в разных гидрогеологических условиях. Отбор производился по 34 критериям. При этом из 9 участков, выбранных в 1983 г, для детального изучения был оставлен только один участок в горах Юкка.

Из приведенного краткого обзора видно, что для выбора мест захоронения РАО, используются различные критерии, число которых колеблется от 16 до 37. При этом многие из них являются общими, часть критериев - не относится к геологическим, ряд критериев слабо влияет на безопасность захоронения РАО. В большинстве случаев критерии использовались при районировании больших территорий для выделения типичных геологических обстановок, перспективных для реализации проектов захоронения РАО.

Применительно к территории СИП для выделения геологических массивов, перспективных для изоляции РАО, нами определены и использованы критерии, которые охарактеризованы в таблице 2.

Таблица 2. Критерии, принятые для оценки рейтинга геологических массивов Семипалатинского испытательного полигона

№ п/п	Название фактора	Рекомендуемые характеристики и их оценка в баллах					
		ПП		ОП		НП	
		Характеристики	Баллы	Характеристики	Баллы	Характеристики	Баллы
1	Тип породы	Граниты	5	Гранодиориты, диориты	4	Граносиениты, сиениты	4
2	Площадь массива, км^2	> 100	5	50-100	3	<50	1
3	Связь массива с региональными разломами	Полностью вне разлома	5	Частично связан с разломом	3	Приурочен к разломам	1
4	Гидрогеологическое положение массива	Область локальных бессточных впадин	5	Частично в области локальных бессточных впадин	3	Область водоразгрузки в сторону р.Иртыш	1
5	Полезные ископаемые	Отсутствуют	5	Имеются рудопроявления, требующие изучения	3	Имеются месторождения и рудопроявления, представляющие интерес	2
6	Морфология массива в плане	Изометричная форма	4	Удлиненно-эллипсовидная форма	2	Линейно-вытянутая форма при небольшой ширине	1
7	Количество фаз внедрения	> 3	4	2	3	1	1
8	Близость к местам проведения подземных ядерных взрывов	Вне участков проведения ПЯВ	4	В непосредственной близости к испытательным площадкам	2	На испытательных площадках	1
9	Наличие крупных геологических блоков размерами 5х5 км	Имеется не менее 3 блоков	4	Имеется 1-2 блока	2	Отсутствуют	1
10	Структура пород	Мелкозернистая	4	Среднезернистая	3	Крупнозернистая	2
11	Возраст пород	Нижний-средний палеозой	3	Верхний палеозой	2	Мезозой	1
12	Тип интрузива	Лакколит, батолит	3	Лополит, гарполит, факолит	2	Трещинное тело	1
13	Однородность пород массива	Монопородный массив	3	2-3 горные породы	2	>3 горных пород	1
14	Геотектоническая позиция	Область каледонской стабилизации	3	Область герцинской геосинклинали	2	Зона сочленения герцинской геосинклинали и области каледонской стабилизации	1
15	Прочность пород, кг/см^2	> 14	3	10-14	2	< 10	1
16	Плотность пород, г/см^3	> 2,8	2	2,7-2,8	1	< 2,7	1
17	Содержание кварца, %	25-30	2	10-25	1	< 10	1
18	Химический состав	Кислые породы	2	Основные породы	1	Щелочные породы	1
19	Наличие даек, жил	До 5 на 1 км^2	2	5-10 на 1 км^2	1	> 10 на 1 км^2	1
20	Вторичные минералы	Присутствуют в значительном количестве	2	Отмечается редкая вторичная минерализация	1	Отсутствуют	1
Суммарный рейтинг			70		43		

Как видно из таблицы, в нее включены преимущественно те критерии, которые могут обеспечить сравнимость и оценку характеристик изучаемых участков. Часть критериев, принятая рядом других авторов, была исключена из переченя, разрабатываемого для СИП. Так, например, не использованы критерии «сейсмичность», «глубина поверхности Мохо», «метеорологические явления» и др. Это связано с тем, что территория СИП относительно не велика по площади (18 тыс. км^2), в силу чего ее участки практически не отличаются друг от друга по названным критериям. Не учитывались и такие факторы как «плотность населения», «индустриально-экономическая инфраструктура» и т.п., поскольку СИП в целом является районом хозяйственного отчуждения.

В то же время, в число критериев включены факторы, которые характеризуют качество горных пород - минералогический и химический состав, вторичное минералообразование, которые влияют на водопроницаемость пород и на способность их к поглощению радионуклидов.

Таким образом, ключевыми являются критерии, определяющие изоляционные свойства пород, характеризующие гидрогеологические и тектонические условия, монолитность геологического массива. При выборе критериев было учтено, что на изоляционные возможности среды значительное влияние оказывают такие факторы как однородность и структурные особенности пород. Минеральный и химический состав пород также оказывают влияние на сохранение или улучшение изоляционных свойств пород и качество массива. Так, породы, содержащие в значительном количестве кварц, обладают большей прочностью и повышенной стойкостью. В кремнекислых породах могут образовываться вторичные минералы – тонкочешуйчатые слюды, смешанослойные минералы типа слюда-монтмориллонит, каолинит, хлорит, эпидот. Указанные минералы, по сравнению с породообразующими минералами, характеризуются повышенной изоморфной и сорбционной емкостью, что обусловлено их переменным составом и большой удельной поверхностью. К важным критериям отнесен «возраст пород». Проницаемость более древних пород меньше, чем у молодых, так как трещины первичной отдельности в них быстрее залечиваются, заполняясь вторичными минералами. Вполне ясно, что предпочтение отдается крупным по размерам массивам,

имеющим более или менее изометричную форму в плане, расположенным в областях каледонской стабилизации, в условиях развития бессточных впадин, удаленным на начительное расстояние от региональных разломов, и не содержащих сколь-либо значительных скоплений полезных ископаемых.

Использованные критерии и методика не претендует на безоговорочность. Однако, учитывая предварительный, региональный этап оценки территории СИП, можно полагать, что экспертная оценка является достаточно приемлемой для принятия решения о выборе геологических массивов для проведения последующих геолого-геофизических исследований.

Как отмечалось выше, из геологических формаций, развитых на территории СИП, для изоляции РАО в большей степени могут быть пригодны кристаллические породы, представленные преимущественно гранитоидами, в меньшей мере – вулканогенные образования и глины. Поэтому критерии, приведенные в таблице 2, были применены именно к интрузивным образованиям. В результате на территории СИП и в прилегающих районах было выделено 43 интрузивных массива (рисунок). С учетом реальных характеристик массивов и, исходя из значимости выбранных критериев, проведена оценка массивов в баллах и их классификация на 3 группы: потенциально пригодные (ПП), ограниченно пригодные (ОП), непригодные (НП). Граничные значения рейтинга получены путем разбиения диапазона значений рейтингов, полученных для всех 43 интрузивных массивов (35-59) на 3 равные части: 59-51, 50-43, 42-35. Таким образом, к группе потенциально пригодных были отнесены массивы, характеризуемые рейтингом 51 и более, к группе ограниченно пригодных – массивы с рейтингом 43 и более, к группе непригодных – массивы с рейтингом ниже 43. В таблице 3 приведен перечень интрузивных массивов СИП, оцененных как потенциально пригодные и ограниченно-пригодные.

Массивы, включенные в таблицу 3, получили порядковые номера, соответствующие их рейтингу, и одновременно предпочтительную очередность их последующего изучения.

Из таблицы 3 видно, что в группу потенциально пригодных массивов вошло 9 интрузивов, т.е., 20% от их общего количества. Резервная группа, ограниченно пригодных массивов, включает 11 интрузивов, что составляет четвертую часть от общего числа изученных массивов.

Преобладающий возраст потенциально пригодных массивов - каменноугольный, а самым древним является Койтасский массив позднего девона. Каждый из массивов занимает площадь не менее 100 км^2, имеет в плане форму, близкую к изометричной, тяготеет к области бессточных котловин и обладает рядом других положительных преимуществ.

Таблица 3. Массивы СИП, потенциально пригодные и ограниченно пригодные для изоляции РАО

№ п/п	№ на карте	Наименование массива	Возраст	Рейтинг
Группа потенциально пригодных массивов				
1	22	Койтасский (Западный)	D3	59
2	9	Кызылэспинский	C3-P1	58
3	14	Эдрейский	C3	58
4	2	Жамантауский	C3	56
5	1	Айдарлинский	C3	52
6	3	Шангирауский	C2-C3	52
7	27	Акботинский	C1	52
8	7	Тлеумбетский	P	51
9	17	Кызылшокинский	C2-C3	51
Группа ограниченно пригодных массивов				
10	37	Западно-Шольадырский	S2	50
11	42	Акбиикский	Pz3-III	50
12	11	Южно-Койтасский	C3-P1	49
13	36	Карашокинский	S2	48
14	38	Восточно-Шольадырский	S2	48
15	6	Сарыадырский	P	47
16	8	Северо-Койтасский	C3-P1	46
17	18	Майлыкаринский	C3-P1	46
18	30	Дегеленский	P2	46
19	16	Восточно-Койтасский	C3	45
20	35	Байлауский	D3	45

Возрастной диапазон интрузивов из группы ограниченно пригодной для изоляции РАО, значительно шире - от позднего силура до конца палеозоя. Каждый массив этой группы имеет специфические недостатки, поэтому выбор массива из этой группы для дальнейших исследований потребует веских дополнительныхоснований.

С учетом результатов проведения предварительных оценок геологических формаций на территории СИП начат этап полевого обследования массивов с наиболее высоким рейтингом. Для них дополнительно оценены социально-экономические аспекты, а также сведения о наличии коммуникаций, которые могли бы существенно удешевить работы по созданию новой инфраструктуры, необходимой при строительстве хранилища для РАО.

Таким образом, для территории Семипалатинского испытательного полигона и прилегающих районов составлена карта районирования в масштабе 1:200000 с выделением четырех геологических формаций, рассматриваемых в качестве потенциально пригодных для размещения радиационно-опасных объектов. Проведена предварительная региональная оценка интрузивных массивов, для которой были использованы геологические, тектонические, гидрогеологические и другие критерии, что позволило разделить 43 участка развития гранитоидов на три группы: потенциально пригодные (ПП), ограниченно пригодные (ОП) и непригодные (НП).

Проведенная оценка гранитоидных массивов позволит сосредоточить внимание на наиболее перспективных участках и существенно уменьшит область поиска площадок, перспективных для изоляции РАО.

Литература

1. Кедровский О.Л., Шищиц И.Ю. Методология обоснования концепции изоляции отвержденных радиоактивных отходов в геологических формациях //Геоэкология. -. 1997. - № 2. - С. 63-67.
2. Кочкин Б.Т. Концепция выбора места размещения могильника радиоактивных отходов//Геоэкология. - 2000. - № 6. –С. 483-494.
3. Лопатин В.В., Камнев Е.Н., Лобанов Н.Ф. и др. Методология и практические примеры выбора площадок для захоронения твердых радиоактивных отходов в геологических формациях //Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. - 1997. - № 6. – С. 49-122.
4. Морозов В.Н., Татаринов В.Н. Методика выбора участков земной коры для размещения радиоактивных отходов//Геоэкология. - 1996. - № 6. - С. 109-119.
5. Намазкулова Н.Ш. Вопросы захоронения радиоактивных отходов Казахстана Аналитический обзор. – Алмты: КазГосИНТИ, 2002. – 28с.
6. Рощин И.Н., Коновалов В.Е., Случанко З.Е. Состояние проблемы изоляции радиоактивных отходов в геологических формациях (информационно-аналитический обзор) - Курчатов: НЯЦ РК, 2003. – 69 с.
7. Соботович Э.В., Ольштынский С.П. Геохимия тектогенеза - Киев: Наукова думка, 1991 - 228 с.
8. Experience in selection and characterization of sites for geological disposal of radioactive Waste. TecDoc – 991. IAEA. Vienna. - 1997. - 25 p.
9. Johnson K.S. Geotechnical characterization of the three final candidate sites for geological disposal of high-level radioactive wastes in the United States //Doc. Du B.R.G.M. 1998.- № 160. - Pp. 435-449.
10. Siting of geological disposal facilities (A Safeti Guide). Safeti series № 111-G=4.1. - IAEA. - Viennna. 1994.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫ АУМАҒЫНЫҢ АУДАНДАУ КАРТАСЫ ЖӘНЕ РАҚ ОҚШАУЛАУЫНА ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ФОРМАЦИЯЛАРЫНЫҢ ЖАРАМДЫЛЫҒЫН КЕШЕНДІ БАҒАЛАУЫНЫҢ ӘДІСТЕМЕСІ

Коновалов В.Е., Рощин И.Н.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ

Радиоактивті қалдықтарын сенімді оқшаулау проблемасымен байланысты бұл мақсаттар үшін Семей сынау полигоны мен жанасқан аумақтарда тараған гкологиялық формацияларын зерделеуі өткізілген. РАҚ оқшаулау үшін геологиялық массивтерінің жарамдылығын бағалауының принциптері сипатталған. Осы принциптерді қолдануымен Семей сынау полигоны мен жанасқан аумақтарының аудандау картасы жасалған. Кейінде зерделеуге жататын, 14 интрузивты массивтерге қатынасатын 43 потенциалды перспективті орындар аталып көрсетілген.

ZONING PLAN OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE TERRITORY AND TECHNIQUE OF INTEGRATED EVALUATION OF GEOLOGICAL FORMATION SUITABILITY FOR RAW ISOLATION

V.E. Konovalov. I.N. Roschin

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

Actual problem of safe isolation of radioactive wastes motivated to study of geological formations spread at the territory of the Semipalatinsk Test Site and adjacent areas. Evaluation methods of suitability of geological massifs for RAW isolation are described. A zoning plan of the STS territory using these methods was made. This study distinguishes the 43 potentially perspective sites, relevant to 14 intrusive massifs, to be studied in the future.

УДК 550.83:621.039.75

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИГОДНОСТИ УЧАСТКА КОСШОКЫ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Коновалов В.Е., Пестов Е.Ю., Дроздов А.В.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

В статье описана методика геолого-геофизического изучения одного из участков Семипалатинского испытательного полигона – Косшокы, с целью определения его пригодности для изоляции РАО. На участке, отобранном для исследования по результатам региональной оценки геологических формаций, проведены наземные съемки, сейсмическая томография одного из горизонтов, бурение скважин, отбор и определение физических свойств образцов горных пород.

В [3] приведен один из подходов региональной оценки геологических формаций для выявления участков, потенциально пригодных для изоляции РАО. Однако выбор, сделанный с использованием только региональных критериев, может оказаться неточным. Поэтому важно иметь методики, позволяющие изучать и оценивать участки с повышенной достоверностью и необходимой детальностью.

На территории Семипалатинского испытательного полигона проводятся работы с применением геолого-геофизических методов для оценки пригодности участков для изоляции РАО в пределах горного массива Дегелен.

Горный массив Дегелен в свое время был выбран в качестве приемлемого места для проведения подземных испытаний ядерных устройств. За время проведения многолетних испытаний на его территории были созданы транспортные, энергетические и другие коммуникации, которые при необходимости могут быть использованы для создания новых инфраструктур. В тоже время, в результате испытаний была нарушена целостность геологической среды, в результате чего зафиксированы перемещения отдельных блоков с амплитудой до нескольких десятков сантиметров, расколы по трещинам, часто зияющие. Техногенные изменения массива не благоприятствуют поиску целостностных блоков горных пород, поэтому изучение перенесено в ту его периферийную часть, где признаки техногенного разрушения отсутствуют. По комплексу характеристик из трех таких периферийных участков для геолого-геофизического обследования была выбрана гора Косшокы.

Гора Косшокы находится в северо-западной части горного массива Дегелен, в экзоконтакте гранитного массива. Ее абсолютная высота - 663,8 м относительное превышение над окружающей местностью составляет 110 м.

Целью проводимого обследования было уточнение строения участка, выявление неоднородностей, изучение гидрогеологического режима, определение состава и физико-механических свойства горных пород.

Для оценки монолитности горных пород первоначально по подножию горы, на горизонте вероятного размещения хранилища РАО (горизонт 560 м), проведено сейсмическое просвечивание (рисунок 1). Пункты приема и возбуждения сейсмических колебаний были расположены на противоположных склонах горы. Сейсмоприемники размещались вдоль западного подножия на протяжении 1800 м с шагом 25 м (72 пункта приема). Возбуждение сейсмических колебаний производилось с использованием зарядов мощностью 6 кг в 30 пунктах, которые располагались вдоль восточного подножияна на протяжении 750 м, также с шагом 25 м. Регистрация колебаний выполнялась сейсмостанцией Geometrics ES 2401 на открытом канале. Использовались сейсмоприемники СГ–10. Шаг квантования был принят 1 мс, что обеспечивало возможность записи сигналов с частотой до 250 Гц. Запуск производился от взрывной машинки типа СВМ–2. Принятая схема наблюдений позволила охарактеризованать исследуемое сечение по более, чем 2000 трассам. Для обработки сейсмических данных использовался пакет программ FIRSTOMO (DOGS, С-Петербург), который обеспечил томографическое представление скоростной характеристики сечения горы через ее подножие.

Как видно из рисунка, наибольшее распространение в плоскости сечения имеют породы, характеризующиеся значениями сейсмической скорости от 3,9 до 4,5 км/сек, что соответствует скорости в практически ненарушенных кристаллических породах [4]. Характерным является прослеживание в сечении повышенных скоростей прохождения сейсмических волн при отсутствии линейных зон пониженных скоростей. Уменьшение скоростных параметров в северо-восточной и южной краевых частях сечения вызвано, вероятно, увеличением объема рыхлых отложений на склонах горы. Важно, что в пределах томографического сечения не выявлено нарушений или образований, ослабляющих массив.

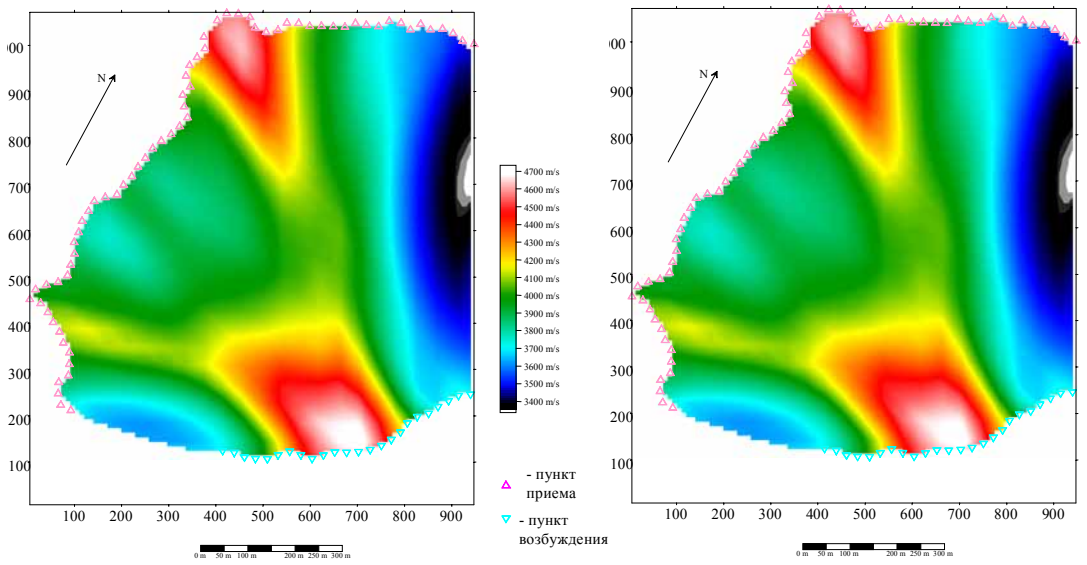
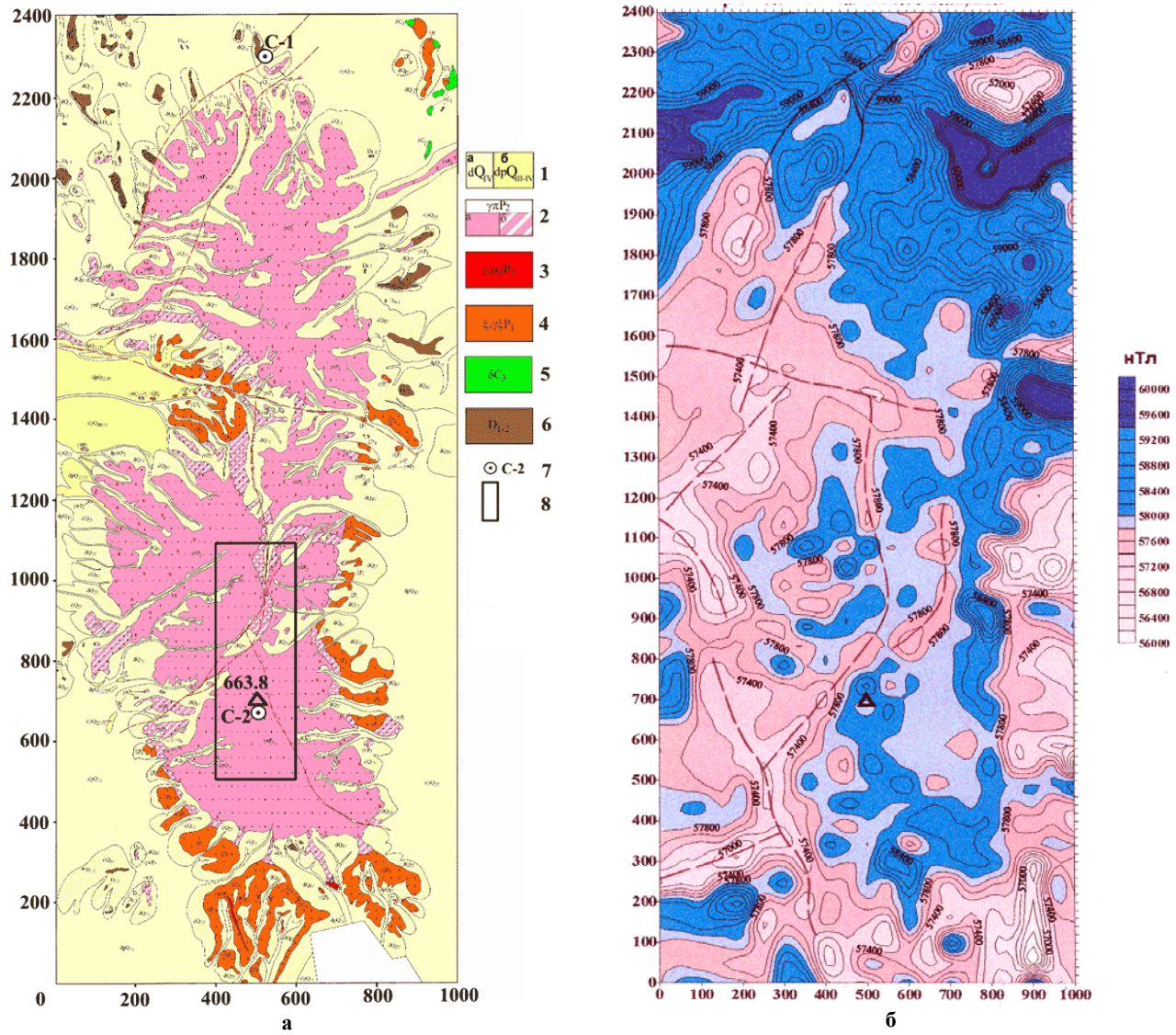


Рисунок 1. Скоростной томографический разрез горы Косшокы по горизонту 560 м

Для уточнения геологической позиции на участке размером 1×2,4 км, включающем гору Косшокы, (ориентирован в северо-восточном направлении по азимуту 26°28´) проведено геологическое картирование (рисунок 2). Картирование показало, что центральная часть участка и вершина горы сложены однородными малотрещиноватыми гранит-порфирами. В нижней части склонов обнажается массив сиенитов, сложенный в эндоконтактовой части граносиенитами. На юге участка среди сиенитов прослеживается субмеридиональная дайка микрогранитов протяженностью более 200 м и мощностью от 0,5 до 12 м. Здесь же отмечается обнажение среднезернистых гранитов площадью 40 х 15 м, которые являются аналогами гранитов массива Дегелен. На северном предгорье развиты вулканические образования, сменяющиеся к югу осадочными отложениями. Вулканические образования представлены базальтами и андезито-базальтами, а среди осадочных отложений выделяются мраморизованные известняки, ороговикованные песчаники и алевролиты. По периферии участка значительно развиты рыхлые четвертичные отложения, затрудняющие картирование палеозойских пород. Поэтому для уточнения геологического строения участка, в том числе для выявления и картирования возможных зон разломов, на участке проведены площадные съемки методами магнитометрии и каппаметрии.

Магнитометрия проведена на всей площади участка по сети 20х20 м с использованием протонных магнитометров ММ-61, модифицированных за счет снабжения их встроенной памятью и интерфейсом для сброса информации в ЭВМ. В наблюденное поле вносились поправки за вариации, за курсовую разность и разность между показаниями рабочих магнитометров и магнитовариационной станции [1, 5]. Средняя квадратичная ошибка съемки составила $\delta = \pm 3$ нТл, а средняя арифметическая погрешность по контрольным измерениям - от 3,23 нТл до 5,4 нТл [2].

Результаты магнитометрии приведены на рисунке 3. Видно, что магнитное поле в пределах большей части участка слабо варьирует и близко к среднему значению - 57800 нТл, что может быть связано с развитием однотипных по составу пород. Здесь закартированы обнажения гранит-порфиров, к которым отнесена полученная характеристика магнитного поля. По периметру гранит-порфиров, на достаточно значительном протяжении, магнитное поле характеризуется пониженными значениями, отвечающим сиенитам и граносиенитм, окаймляющим гранит-порфиры. Размер массива гранит-порфиров определяется по результатам магнитной съемки как 600-700м×1000-1100 м. Наиболее высокие значения магнитного поля, достигающие 60000-62000 нТл, отмечены в северо-восточной части участка, где имеют место обнажения диоритов и базальтов. Показательно уточнение по результатам магнитной съемки геологического строения северо-восточной части участка (рисунок 3). Здесь по высоким значениям магнитного поля, окаймляющим поле низких значений модуля магнитного поля, четко картируется диоритовый массив, прорванный в центральной части сиенитовым интрузивом. Отмечается также несколько линейных зон пониженного магнитного поля, которыми, по всей вероятности, трассируются разрывные нарушения.



1 - четвертичные отложения: а) голоцен - суглинки, супеси, щебень; б) верхний плейстоцен-голоцен – суглинки, супеси, пески; 2 - позднепермские гранит-порфиры: а) в центральной части массива, б) в эндоконтакте; 3 - позднепермские граниты; 4 - раннепермские сиениты; 5 - позднекаменноугольные диориты; 6 - девонские базальты, песчаники, известняки; 7 - скважины; 8 -участок детальных исследований

Рисунок 2. Геологическая карта (а) и карта магнитного поля ΔТ (б) участка Косшокы

Для более детального изучения была выделена площадка размером 200 х 600 м в непосредственной окрестности горы Косшокы, которая по сейсмотомографии, результатам магнитной съемки, геологическому картированию характеризовалась как участок практически ненарушенных гранит-порфиров (рисунок 2а). Здесь, по сети 20х10 м выполнена каппаметрия. Замеры производились прибором МП-01 («Геомер», 2002) Из рисунка 3 видно, что в целом, данные каппаметрии согласуются с результатами магнитной съемки. Магнитная восприимчивость гранит-порфиров составляет 20-50х10^{-3} ед. Си, что соответствует группе среднемагнитных пород. Более низкой магнитной восприимчивостью, менее 20х10^{-3} ед. Си, характеризуются обогащенные кварцем гранит-порфиры, которые образуют эндоконтактовую оторочку. Вероятно, что эти гранит-порфиры, обнажающиеся в центральной части массива, представляют собой апикальные зоны. На этом основании предполагается небольшой эрозионный срез гранит-порфировой интрузии.

Для изучения геологических структур на глубину 300 м и более проведена электрометрия методом переходных процессов (МПП) в модификации зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). Измерения выполнены по трем продольным профилям – центральному (через вершину горы Косшокы), восточному (в 80 м от восточной границы участка), западному (вдоль западного края участка). Наблюдения проведены с использованием цифровой электроразведочной станции «Цикл-микро» (СНИИГГиМС). Источником поля служила незаземленная петля. Шаг наблюдений, равный стороне петли, составлял 40 м. Управление станцией осуществлялось

через PC-Notebook. Подбор размера установки генераторной и приемной петли проведен с использованием программы ПРОБА (СНИИГГиМС). Измерения и запись результатов проводились программой Tcikle-M (СНИИГГиМС). Вычисление кажущегося электрического сопротивления и обработка результатов измерений соответствуют [2].

На рисунке 4 приведены результаты работ по Центральному профилю. Как следует из рисунка 4б, геоэлектрический разрез характеризуется постепенным увеличением кажущегося электрического сопротивления с глубиной, практически равномерно вдоль всей длины профиля. Такая характеристика сохраняется от дневной поверхности и до абсолютных отметок 650-600 м, которые могут представить интерес для устройства штольни для РАО. Ниже уровня 450 м зафиксировано несколько блоков, характеризующихся повышенным до 700 Омм значением кажущегося электрического сопротивления.

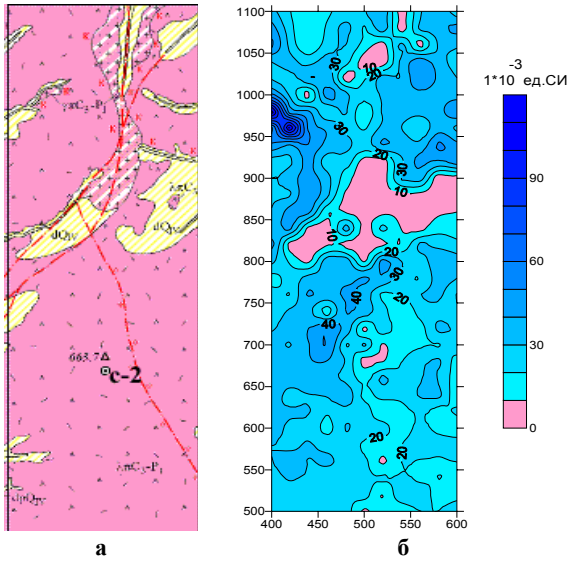


Рисунок 3. Детализационная площадка участка Косшокы: фрагмент геологической карты (а), результаты каппаметрии (б)

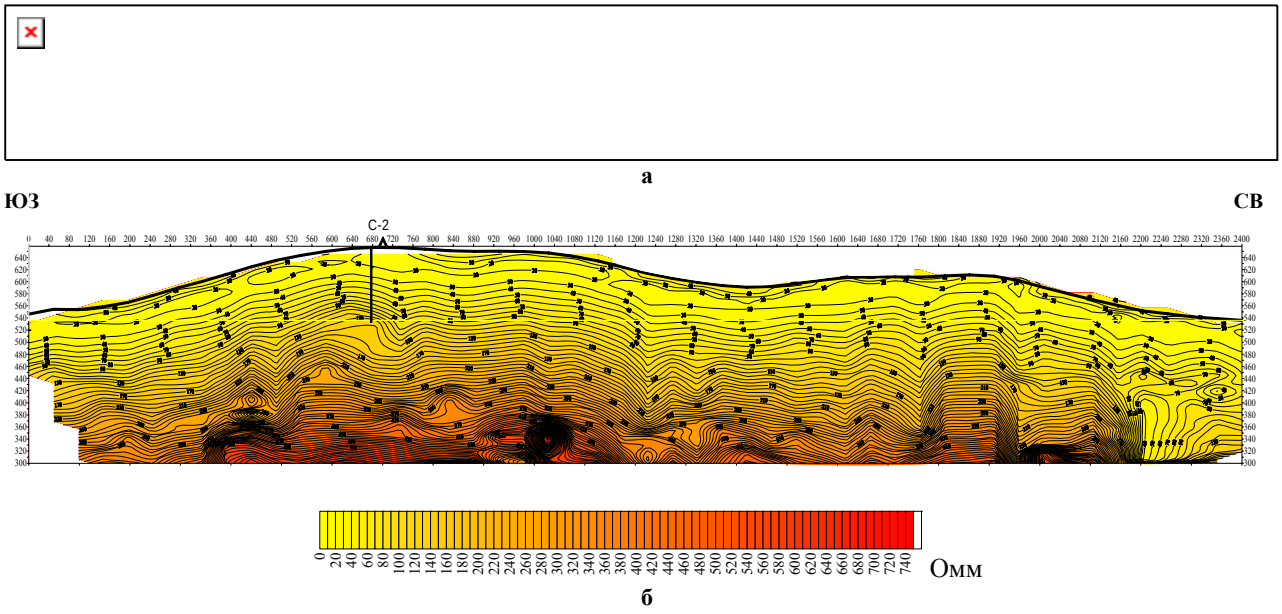


Рисунок 4. Центральный профиль участка Косшокы: а – геологический разрез (условные обозначения на рисунке 2); б - геоэлектрический разрез

В крайней северо-восточной части профиля отмечается относительно однородный блок пород с весьма резкой крутой границей, характеризующийся пониженным значением кажущегося электрического сопротивления, порядка 100-150 Омм. Это хорошо согласуется с геологическими данными (рисунок 4а), полученными в результате бурения 80-ти метровой заверочной скважины 1. Северо-восточный блок пород сложен вулканитами основного состава. Скважина 1, пробуренная со стороны вулканитов вблизи тектонического контакта, не вскрыла его, также как и обнажающиеся в соседнем блоке гранит-порфиры. Тем самым подтверждено субвертикальное положение тектонического контакта, установленное электрометрией (рисунок 4б). Аналогичную геологическую интерпретацию получили геоэлектрические разрезы и по другим профилям. Помимо относительно крупных блоков, на геоэлектрических разрезах выделены редкие линейные узколокальные искажения изолиний, характеризующиеся более низким градиентом кажущегося электрического сопротивления, чем для окружающих пород. По таким местам протрассированы тектонические нарушения.

Расположение изучаемого участка вблизи мест проведения подземных ядерных испытаний обусло-

вило проведение радиометрической съемки. Пешеходная гамма - съемка осуществлена по сети 20х20 м на всей площади участка. Использован радиометр СРП-68-01. Результаты съемки приведены на рисунке 5. Гамма-поле характеризуется значениями от 8 до 73 мкР/час. Преобладают значения 17-23 мкР/час, которые характерны для центральной части массива Косшокы, сложенного гранит-порфирами. Повышение активности до 26 мкР/час отмечается в приконтактовых частях массива. На рисунке 6 видно, что ореолы такой интенсивности полукольцом окаймляют центральную часть массива гранит-порфиров. Максимальная радиоактивность - 56–73 мкР/час, приурочена к дайке микрогранитов, прослеживаемой в южной части участка. Радиоактивность обусловленаприсутствием торий содержащих минералов в породе. Низкие значения радиоактивности - от 8 до 14 мкР/час, присущи эффузивам основного состава, известнякам, роговикам и скарнам. Для рыхлых делювиально-пролювиальных отложений предгорного шлейфа и конусов выноса, приуроченных к краевым частям участка, характерна гамма-активность 15-19 мкР/час.

Таким образом, установленный уровень радиоактивности соответствует природным значениям гамма-активности горных пород в пределах всей площади участка. Пешеходной радиометрической съемкой радиоактивных аномалий техногенного происхождения не выявлено.

Для подтверждения геофизических данных прямыми геологическими наблюдениями, помимо скважины 1, пробурена скважина 2 на вершине горы Косшокы.

Скважина, глубиной 130 м, вскрыла гранит-порфиры, характеризующиеся монолитностью. Встречены только две маломощные зоны трещиноватости (интервалы 55,0-61,5 и 92,0-93,5 м). Параметр качества породы RQD для большей части разреза изменяется в диапазоне значений 60-100%, а в зонах трещиноватости – 27-48%. По данным гамма-каротажа гранит-порфиры характеризуются радиоактивностью 40-50 мкР/час. На глубине 19,3 и 40,2 м отмечены локальные повышения радиоактивности до 55 мкР/час. Радиоактивность, зарегистрированноая при радиометрической съемке у устья скважины (23-26 мкР/час), несколько возрастает и с глубины 8 м достигает значений, характерных для пород всего разреза по скважине. Следует отметить, что стабильно повышенные значения активности обычно характерны для конечных дериватов гранитной магмы, что позволяет рассматривать изучаемое гранит-порфировое тело в качестве конечного продукта в вулкано-плутонической системе Дегелена.

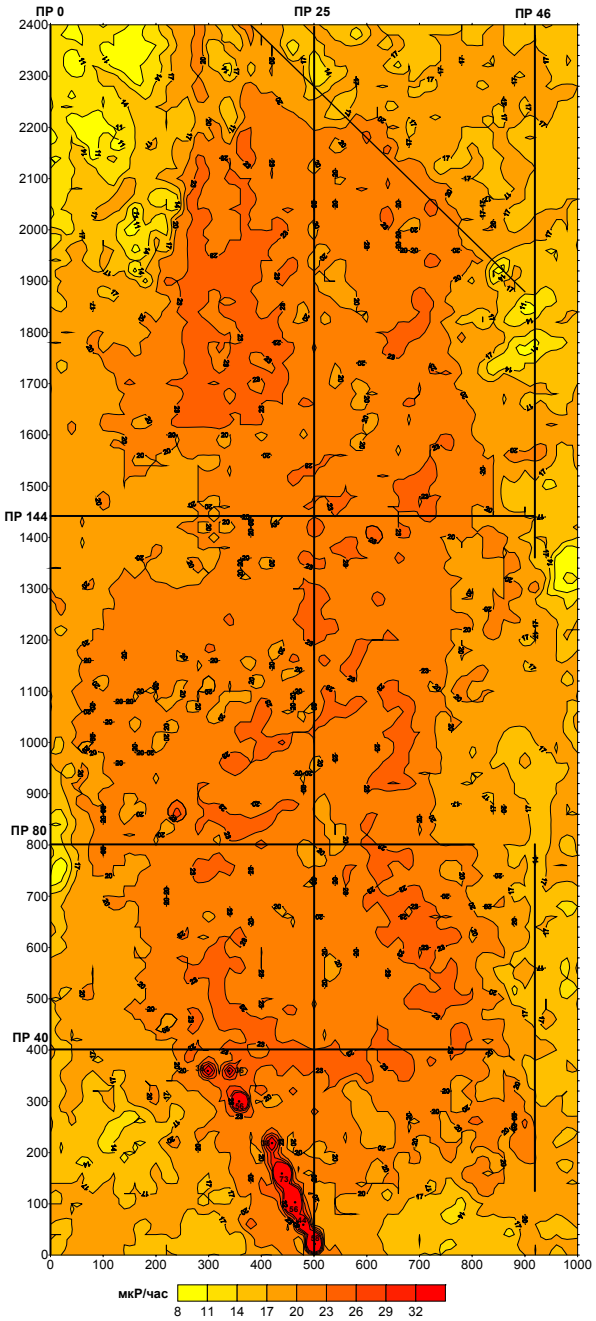


Рисунок 5. Радиометрическая карта участка Косшокы

Выполненные геолого-геофизические исследования показали их эффективность при изучении площадок, потенциально пригодных для изоляции РАО. Они позволили:

- уточнить геологическую позицию интрузивного массива гранит-порфиров и его связь с вулкано-плутонической структурой Дегелена;
- уточнить морфологию массива и оценить его размеры в плане и на глубину (1900-2000х600-700 м, на глубину 250-300 м);
- установить отсутствие значительных тектонических разломов, нарушающих монолитность блока пород, в пределах интрузива гранит-порфиров;

- оценить степень однородности блоков горных пород массива по геофизическим параметрам – кажущемуся электрическому сопротивлению и скоростным параметрам сейсмических волн;
- установить нормальную радиоэкологическую ситуацию, несмотря на относительную близость к местам проведения подземных ядерных взрывов.

Геофизические данные частично заверены результатами бурения.

Полученные результаты позволили сделать заключение, что на данном уровне изученности участок Косшокы можно рассматривать в качестве потенциально пригодного места для размещения подземного хранилища РАО. Однако для получения материалов, необходимых для проектирования и строительства подземной исследовательской лаборатории изучение участка необходимо продолжить

Литература

1. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка)/М-во геологии СССР. – Ленинград: Недра, 1981. – 263 с.
2. Инструкция по электроразведке: наземная электроразведка, скважинная электроразведка, шахтно-рудничная электроразведка, аэроэлектроразведка, морская электроразведка/М-во геологии СССР. – Ленинград: Недра, 1984. – 352с.
3. Коновалов В.Е., Рощин И.Н. Карта районирования территории Семипалатинского испытательного полигона и методика комплексной оценки пригодности геологических формаций для изоляции РАО//Вестник НЯЦ РК, настоящий выпуск.
4. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Ященко З.Г. Инженерная геофизика. – М.: Недра, 1989. – 252 с.
5. Трипольский В.П., Жиров Г.К., Бабин Е.П. и др. Методические рекомендации по технологии высокоточных и прецизионных магнитных съемок на основе автоматизации процессов сбора и обработки полевой информации/М-во геологии СССР. – Алма-Ата: КазВИРГ, 1990 .- 120 с.

РАДИОАКТВТІ ҚАЛДЫҚТАРЫН ОҚШАУЛАУ ҮШІН ЖАРАМДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ МАҚСАТЫМЕН ТАУ МАССИВТЕРІН ГЕОЛОГИЯ-ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРІ

Коновалов В.Е., Пестов Е.Ю., Дроздов А.В.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ

Мақалада, РАҚ оқшаулау үшін жарамдылығын анықтау мақсатымен Семей сынау полигонының Қосшоқы учаскесін геология-геофизикалық зерделеуінің әдістемесі сипатталған. Геологиялық формацияларын аумақтық бағалау нәтижелері бойынша зерттеу үшін іріктелген учаскеде жер үстіндегі түсуруі, сейсмикалық томографиясы. ұңғымалар бұрғылауы, тау жыныстар іріктеуі және олардың физикалық қасиеттерін анықтауы өткізілген.

GEOLOGIC-GEOPHYSICAL RESEARCH OF MOUNTAIN RANGES FOR DETERMINATION OF THEIR SUITABILITY FOR RAW ISOLATION

V.I. Konovalov, E.Yu. Pestov, A.V. Drozdov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

This paper presents a technique of geologic-geophysical research of a site of the Semipalatinsk Test Site - Kosshoky with the purpose of determination of its suitability for RAW isolation. The following efforts were conducted at the site selected according to the results of regional assessment of geological formations: ground surveys, seismic tomography of one of horizons, borehole drilling, rock sampling and determination of its physical properties.

УДК 551.2:[550.42:546.49]

ОБ ЭФФЕКТЕ УСИЛЕНИЯ ГАЗОРТУТНЫХ АНОМАЛИЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

Политиков И.М., Политиков М.И., Мурзадилов Т.Д.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

В статье приводятся данные об усилении аномалии, получаемом от динамического воздействия на геологическую среду, при отборе проб почвенного воздуха для газортутного анализа. Использование этого эффекта, в сравнении с общепринятой методикой, позволяет значительно увеличивать интенсивность газортутных аномалий при одновременном росте производительности труда. Способ защищен двумя патентами на изобретение.

Для пополнения запасов полезных ископаемых, особенно в районах развитой добывающей промышленности, в качестве одного из лучших средств поиска полезных ископаемых в течение мноих десятилетий использовали традиционные литогеохимические методы. Однако, с увеличением глубины залегания рудных объектов, поисковая эффективность съемок заметно снижалась, поэтому широкое применение получил метод глубинного геохимического картирования, для которого выполнялась проходка скважин глубиной до 20 м. Одновременно развивался способ выявления ореолов рассеяния наиболее подвижных химических элементов, являющихся косвенными поисковыми признаками оруденения на глубине.

Большой объем экспериментальных работ по изучению наиболее подвижных химических элементов, связанных с оруденением, позволил установить, что наиболее приемлемым решением проблемы является способ выявления ореолов рассеяния ртути с использованием газортутного метода, не требующего в большинстве случаев проходки скважин. Теоретическое обоснование газортутный метод получил в фундаментальной работе А.А.Саукова [1]. В развитии метода участвовали многие отечественные и зарубежные исследователи. Было установлено, что ртуть сопутствует многим видам полезных ископаемых: нефтегазовым [2], кимберлитам [3]. ртути [4], золотосеребряным рудам [5], урановым рудам [6], шунгитам [7], углю [8], полиметаллическим рудам [9], кобальтовым, медным, медно-никелевым, медно-колчеданным рудам [10-12], сурьмяным рудам [13], оловорудным залежам [14], хрусталеносным, флюоритовым и драгоценным камням [15, 16]. Над месторождениями, отдельными залежами перечисленных полезных ископаемых фиксировались аномалии ртути, во много раз превышающие геохимическиц фон.

Казахстанскими исследователями [17] аналогичная положительная оценка поисковой эффективности метода получена на месторождениях различных полезных ископаемых в Узбекистане, Казахстане, Башкирии, в Центральных районах Колымы и Западной Сибири. Всего было обследовано 85 рудных объектов, залегающих на различных глубинах и в различных геологических условиях. В Кызылкумах на золотосеребряном месторождении «Высоковольтное», исключительно по данным газортутной съемки, были выявлены новые рудные тела на глубине 500-700 м. что позволило увеличить запасы месторождения более, чем в десять раз. Одновременно с этим было открыто новое промышленное месторождение «Джасаульское», залегающее под толщей алахтонных образований на глубине 50 м. Подобная положительная оценка метода была получена на нефтегазовых месторождениях Южно-Тургайской и Прикаспийской впадинах (Майбулак, Кенлык-Кызылкия и Кисимбай), а также на двух непродуктивных структурах, выявленных по данным сейсморазведки – Алтынсарин и Канысбай, - и на одной из структур, оцененных поисковым бурением отрицательно. На месторождениях Майбулак, Кенлык-Кызылкия газортутная съемка выявила аномалии интенсивностью, превышающей в 3-5 и более раз фоновые значения. Аномалии приурочены, в основном, к проекциям на дневную поверхность водонефтяного контакта и разрывных нарушений, прослеживаемым в контурах продуктивных залежей. При газортутной съемке на непродуктивных структурах аномалии не обнаружены. Полученные данные свидетельствует о том, что газортутный метод можно применять для разбраковки сейсмических структур по продуктивности залежей углеводородов, что резко сократит временные и материальные затраты. В последнее время получены обнадеживающие данные о применимости ртутометрии для решения инспекционных задач при контроле за исполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [18].

Приведенные сведения и многолетние результаты собственных исследований позволяют заключить, что газортутная съемка, в сравнении с другими традиционным геохимическим методам, имеет ряд существенных преимуществ. К ним можно отности следующее:

- метод обладает значительно большей глубинностью опоискования за счет способности ртути формировать ореолы на больших расстояниях (многие сотни метров и даже километры) от своих первоисточников [9];

- у метода достаточно высокая производительность и оперативность, позволяющие получать конечные результаты в полевых условиях, непосредственно на точках опробования проб почвенного воздуха;
- пороговая чувствительность используемых современных газортутных анализаторов находится в нанограммовой области, что пока недостижимо для аналитических методов определения большинства других химических элементов.

Однако в процессе накопления экспериментальных данных, особенно со времени промышленного освоения и широкого применения первого отечественного газортутного анализатора АГП- 01 (1986 г), выяснилось, что отмеченные преимущества не всегда могут быть реализованы. Основная причина - несовершенство технологии отбора проб почвенного воздуха. Такой вывод был сделан на основе специальных исследований, проведенных с участием авторов в различных регионах Казахстана, Средней Азии и России. Суть исследований сводилась к установлению характера зависимости результатов измерения содержания ртути от времени между окончанием проходки шпура в почво-грунтах и началом отбора проб почвенного воздуха. По результатам многих сотен наблюдений, охватывающих различные геологические условия, виды полезных ископаемых и глубину залежей, была получена серия однотипных кривых спада содержания паров ртути в шпуровом пространстве. На рисунке 1 приведен пример такой зависимости.

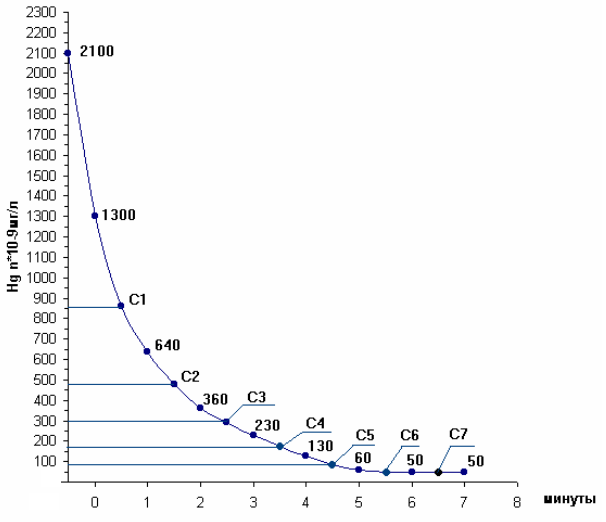


Рисунок 1. Изменение во времени концентрации свободных паров ртути в шпуровом пространстве

Как видно из рисунка 1, максимальное значение содержания ртути соответствует первому замеру, сделанному сразу после проходки шпура, значения снижаются по экспоненте при последующих откачках воздуха. После 5-10 откачек объемом 1 л содержание ртути уменьшается до фонового значения. Одновременно было обнаружено, что при наступлении полного истощения паров ртути в шпуровом пространстве, можно неоднократно вызывать ее дегазацию и восстанавливать первоначальное значение, не меняя положения пробоотборника в шпуре. Для этого необходимо искусственным путем повторить возбуждение геологической среды. Так, например, к необходимому результату может привести забивка стального ломика в грунт на расстоянии 5-10 см от шпура (рисунок 2).

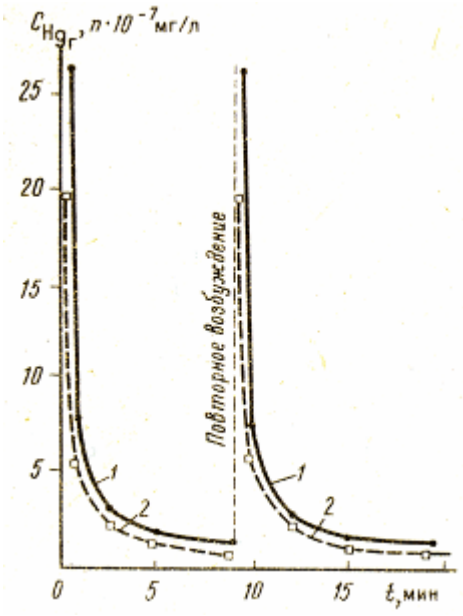
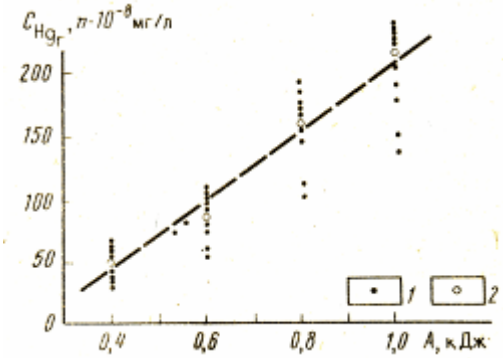


Рисунок 2. Изменение во времени содержания свободных паров ртути в шпуровом пространстве (1) и в пробах рыхлых отложений (2) при первоначальном и повторном возбуждении среды

Содержание ртути восстанавливалось до первоначально измеренного, а иногда и до более высокого уровня. При повторных откачках наблюдался спад содержания ртути, как и в описанном выше случае.

Одновременно было установлено, что количество извлекаемой ртути из почвенного воздуха и проб рыхлых отложений прямо пропорционально силе и продолжительности механического воздействия на геологическую среду (рисунок3).



1 – рядовые измерения, 2 – средние значения

Рисунок 3. Зависимость извлечения паров ртути из почвы C_{Hgr} от энергии динамического воздействия A

Результаты экспериментов дают основание полагать, что ртуть в атмохимических ореолах рассеяния, наблюдаемых над ртутьсодержащими объектами, находится преимущественно не в газообразном состоянии, как это утверждается в некоторых методических рекомендациях по газортутному методу [19], а в адсорбированном состоянии. Поэтому закономерности формирования и проявления ореолов ртути в почвенном воздухе должны рассматриваться с учетом законов адсорбционно-десорбционных процессов. Это обуславливает необходимость введения в инструктивные требования, предъявляемые к проведению работ газортутным методом, соблюдения дополнительных условий при отборе проб почвенного воздуха. Так, инструкцией [20] предписывается осуществлять откачку почвенного воздуха через анализатор со скоростью 1 л/мин в объеме 1 л без регламентации времени начала измерений после проходки шпура. В действительности, правомерность такого подхода допустима только в том случае, если в шпуровом пространстве пары ртути находятся постоянно в свободном газовом состоянии. Однако, как было показано выше, такое постоянство не наблюдается. В примере, приведенном на рисунке 1 после прекращения динамического воздействия на геологическую среду, концентрация свободных паров ртути в шпуровом пространстве составляет $2100 \cdot 10^{-9}$ мг/л. Между немедленной выемкой стального ломика из шпура, установкой в шпур пробоотборника и началом откачки почвенного воздуха обычно проходит не менее 30 сек (интервал 0-0). За это время концентрация паров ртути, вследствие начавшейся адсорбции их окружающей средой, уменьшилась на 38%. После откачки первой пробы в течение 1 минуты (интервал 0-1) усредненное значение концентрации в точке C_1, достигла величины $842 \cdot 10^{-9}$ мг/л. что снизило концентрацию паров ртути на 59%. Последующие замеры, если судить по тем же осредненным значениям, привели соответственно к потерям для C_2 – 78%, C_3 – 87%, C_4 – 94%, C_5 – 96% . Дальнейшие замеры уже не имели смысла, поскольку кривая концентрации ртути вышла на фоновые значения.

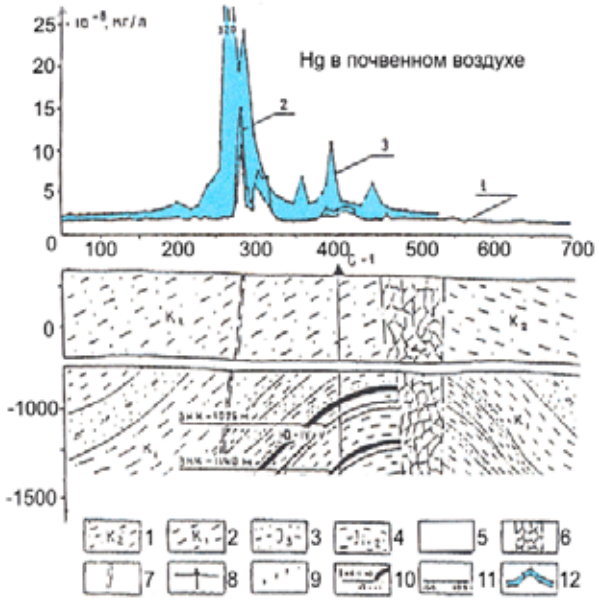
Таким образом, интенсивность газортутных аномалий, изучаемых по почвенному воздуху, а вместе с этим, их воспроизводимость по контрольным измерениям, зависит не только от режима динамического воздействия на среду, но и от временного режима - начала пробоотбора, продолжительности процесса пробоотбора после проходки шпура. Каждая из этих причин, как показывает практика работ, может вносить довольно существенные искажения в результаты измерений.

Одним из перспективных способов устранения выявленных недостатков может быть следующий спостб отбора проб. Анализируемые пробы почвенного воздуха отбираются при непрерывном динамическом возбуждении геологической среды. В этом случае, в шпуровом пространстве, за счет непрекращающегося процесса десорбции, будет происходить постоянное восполнение паров ртути, непрерывно отводимых в газоанализатор. Вследствие этого, результат измерений будет приближаться к величине, соответствующей моменту завершения проходки шпура. Так, например, для случая, рассмотренного на рисунке 1, замер будет равен $2100 \cdot 10^{-9}$ мг/л, вместо практически полученного ($842 \cdot 10^{-9}$ мг/л) на начало отбора первой пробы.

Предлагаемый способ защищен двумя патентами на изобретение [21, 22] и опробован в полевых условиях на ряде рудных и нефтегазовых месторождений Казахстана и Узбекистана. В результате поиска было установлено, что в качестве возбудителя геологической среды может быть использован вращающийся шнек буровой установки, который может пропускать через себя пробу почвенного воздуха в анализатор. На рисунке 4 приведено два примера сравнения результатов газортутной съемки, выполненной по стандартной методике и с возбуждением геологической среды путем использования шнековой буровой установки. Один из примеров относится к нефтегазовому месторождению Майбулак (рисунок 4а), другой – к золото-кварц-сульфидному месторождению в Узбекистане. Как можно видеть из рисунков, интенсивность выявляемых газортутных аномалий увеличивается не менее чем в 1,5-2 раза по сравнению с традиционной методикой.

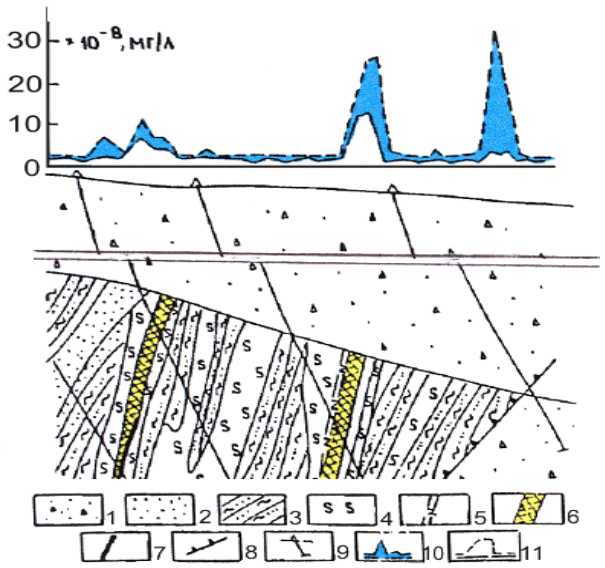
Важным является исключение ручного труда при проходке шпуров шнековой буровой установкой. Производительность труда при проведении газортутных съемок при опытных работах увеличивалась не менее, чем в 4 раза.

В целом приведенные данные убедительно свидетельствуют о необходимости разработки автоматизированной ртутометрической станции. Основу станции, как показали опытные работы, может составить облегченная буровая установка типа УКБ-12/25Ц или Булиз-15-469В. Установка должна быть совмещена с высокочувствительным газортутным анализатором и смонтирована на автомашине повышенной проходимости. Создание станции позволит осуществлять высокоэффективные геоэкологические исследования, геолого-поисковые работы на широкий круг месторождений полезных ископаемых, а также предоставлять наиболее информативные данные по задачам ДВЗЯИ.



1- 4 - осадочные породы; 5- отражающий горизонт по подошве верхнеюрских отложений; 6-зона Каратауского разлома 7- разрывное нарушение; 8- скважины; 9-углистый детрит 10- нефтяные залежи с водонефтяным гоконтактом; 11- пикеты 12- графики содержания ртути в почвенном воздухе (наблюдения: 1-основные, 2- контрольные, 3- при вызванной дегазации Hg

а



1- 3-осадочные породы; 4-милониты; 5-дайка сиенит-порфитов; 6- зоны минерализации; 7 - рудное тело; 8- неотектонический сброс; 9 – скважины. Содержание ртути в почвенном воздухе: 10 – основные, 11 - при вызванной дегазации Hg

б

Рисунок 4. Сравнение результатов газортутной съемки, выполненной по стандартной методике и с возбуждением геологической среды: а - нефтегазовое месторождение Майбулак, б - золото- кварц-сульфидное месторождение Узбекистана

Литература

1. Сауков А.А. Геохимия ртути. - М.: АН СССР, 1946.
2. Инговатов А.П. и др. Газортутный метод при поисках нефтяных месторождений. – М.: Недра, 1986.
3. Бородин В.А. и др. Особенности распределения ртути и ее формы нахождения в кимберлитах и вмещающих их породах//Первичные ореолы магматических месторождений. – М, 1978.
4. Морозов В.И. и др. Методика и результаты газортутных съемок при поисках ртутных месторождений в Донбассе//Геохимия и ртутообразование/Тр. ин-та геохимии и физики минералов АН УССР – 1983 – Вып. II.
5. Бодалов А.С. и др. Геохимия ртути и кадмия в рудах. Критерий прогноза золотосеребряного оруденения в Узбекистане//Зап. Узб. Отд. Всесоюзного минералогического общества, – 1985. - № 38.
6. Виноградов В.Н. Особенности ореолов свободной ртути нефтяных погребенных месторождениях радиоактивных руд. Методы рудной геофизики//Газовые методы съемки при поисках глубокозалегающих рудных месторождений. – Л, 1983.
7. Голдобина Л.П. Ртуть в шунгитовых породах протеризоя Карелии//Геохимия, 1983. - № 3.
8. Дворников А. Г. Ртутоносность углей различных генетических типов//Разведка и охрана недр. – 1985.
9. Озерова Н.А. Ртуть и эндогенные образования // М.: Наука, 1986.
10. Захарова Г.П. Ртуть – элемент-индикатор при геохимических поисках кобальтовых, арсенидных и кобальтово-медных сульфидсодержащих месторождений // Геохимия и рудообразование. Тр. ин-та геохимии и физики минералов АН УССР.- 1983. - Вып. 2
11. Иварова Т.К. Ртуть – индикатор сульфидного медно-никелевого оруденения норильско-талмахского типа// Геохимия и минералогия рудных формаций Норильского региона. - Л.- 1988.
12. Шорохов Г.П. Газортутные поиски глубокозалегающих медносодержащих месторождений на Урале// Геохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1980.
13. Бородин В.А. и др. Формы нахождения ртути в первичных геохимических ореолах сурьмяного оруденения и их поисковые значения. // Применение геохимических методов поисков ртутных месторождений. – М.: Недра, 1983.
14. Фурсов В.З. Ртуть в рудах оловянных месторождений// Геохимические методы при поиске и разведке рудных месторождений. М., 1971. - Вып. 6.
15. Оганесян Л.В. Ореолы рассеяния ртути как индикатор при поисках гидротермальных хрусталеносных жил//Докл. АН СССР. – Т. 201, №1.
16. Глухов Ю.В. Ореолы ртути на Амдерминском месторождении флюорита (Пай-Хой)//Тр. ин-та ГИН АН СССР, Уральское отделение. – 1989. - Вып. 72.
17. Жеребцов Ю.Д.. Политиков М.И,, Сикорский В.Ю. Технология ртутометрических поисков рудных месторождений/Под ред. В.П. Федорчука. – М.: Недра, 1992. – 176 с.

18. Политиков М.И,, Мурзадилов Т.Д., ПолитикоавИ.М. Ртутометрия при решении задач по обеспечению контроля за исполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний//Геофзика и и проблемы нераспространения/ Вестник НЯЦ РК, настоящий выпуск
19. Методические рекомендации по газортутному методу поисков рудных месторождений. – М. : Недра, 1985.
20. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983.
21. Политиков М.И., Камберов И.М. – Способ атмохимических поисков месторождений полезных ископаемых. – Патент РК №16224. 1995
22. Камберов И.М., Политиков М.И. – Способ ртутометрических поисков месторождений полезных ископаемых и устройство для его осуществления. – Патент РК №10798. 1994

ГАЗДЫСЫНАПТЫ ТҮСІРУІНДЕ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРТАҒА ДИНАМИКАЛЫҚ ЫҚПАЛ ЖАСАУЫНЫҢ ӘСЕРІ ТУРАЛЫ

Политиков И.М., Политиков М.И., Мурзадилов Т.Д.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ

Мақалада, геологиялық ортасына үзіліссіз динамикалық ықпал жасауында, көмірсутекті нысаналардың бір неше кескінінде алынған, снапметрлі түсіруінің деректері келтірілген. Бұрғы қондырғысын қолданып таужыныстардың сынапты газсыздануы жақсару орнына газснапты аномалиялардың қарқындылығы 1,5-2 реттен кем емес өсті. Бақылау өлшеуінде деректер көшірмелері жақсарған. Бұрғы қондырғысын қолданып газсынапты түсіруін өткізуінде жұмыстар өнімділігі 4 реттен кем емес өсті.

ABOUT DYNAMIC EFFECT ON GEOLOGICAL MEDIUM DURING GAS-MERCURY SURVEY

I.M. Politikov, M.I. Politikov, T.D. Murzadilov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

The paper presents data on mercury measurement survey obtained at several profiles of hydrocarbon objects under the continuous dynamic impact on a geological medium. Due to enhancement of induced mercury degassing of rocks by using rotating auger, activity of gas-mercury anomalies increased not less than 1,5-2 times. Data reproducibility was improved during control measurements. Productivity of work increased not less than 4 times during gas-mercury surveys using a drilling rig.

УДК 550.837

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНАЯ АППАРАТУРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Жолдыбаев А.К., Максимов Е.М., Мариненко В.А., Стромов В.М., Шевченко В.П.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

Разработана электроразведочная аппаратура – приемник и генератор, по своим техническим показателям соответствующая современному мировому уровню геофизических разработок. Помимо обычного применения , аппаратура может быть использована для слежения за "тонкими" геодинамическими процессами, происходящими в геологической среде под воздействием естественных и техногенных факторов.

Изучение состояния недр на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и в местах проведения мирных подземных ядерных взрывов (СИП, Прикаспий) является одним из основных направлений деятельности Национального ядерного центра Республики Казахстан. Создание эффективной системы оценки реального состояния недр в местах проведения ПЯВ и разработка технологии своевременного предупреждения возможных негативных последствиях требует развития ее технического обеспечения. В Институте геофизических исследований НЯЦ РК выполнен ряд импортозамещающих разработок, среди которых имеется и электрометрическая аппаратура. Институт сохранил часть подразделений завода "Казгеофизприбор" и бывшего КазВИРГа, имевших некогда достаточно высокие позиции в области геофизического приборостроения, что позволяет продолжать аппаратурные разработки на новом техническом и методическом уровне.

Требования, предъявляемые к измерительным системам для наблюдения за изменениями электрических свойств недр на интересующих глубинах, как правило, существенно выше, чем к системам, предназначенным для поиска полезных ископаемых. Так, если при проведении в разведочных целях электрического профилирования и зондирования допустимы погрешности до 5 % [1], то для наблюдений за изменениями электрических свойств пород на прогностических полигонах необходимо, чтобы погрешность измерений была менее одного процента. В [2] сообщается о достижении точности отдельно взятых реализаций не хуже 0,5%.

Названные требования учтены при создании аппаратуры для работ на бывших испытательных полигонах – электрометрического приемника ВПФ-210 и генератора ГЭР 2/1000. Помимо основного назначения, аппаратура может применяться для инженерных и гидрогеологических изысканий, поиска полезных ископаемых, различных геоэкологических исследований.

Небольшая масса и габариты приемника в сочетании с мобильным генератором позволяют работать как в относительно простых условиях, так и в условиях труднодоступной местности.

ПРИЕМНИК ВПФ-210

Электрометрический приемник высокого разрешения предназначен для работ методами сопротивлений, заряда, вызванной поляризации и естественного поля.

Основное отличие приемника ВПФ-210 от приборов аналогичного назначения – это большой динамический диапазон, высокая помехоустойчивость и точность измерений до 0,2 %, что в пять раз лучше, чем у известных авторам аналогов.

В основу приемника ВПФ-210 положены решения, разработанные при создании приемника ЭИН-209 (КазВИРГ - Казгеофизприбор, 1996) и схемы измерительного канала, разработанные для регистратора магнитотеллурических сигналов ЭИН-2000, что обеспечило снижение порога чувствительности до уровня 10 нВ.

Приемник усиливает измеряемый сигнал, преобразует дискретные сигналы в цифровой двоичный код. С использованием алгоритмов цифровой фильтрации осуществляется очистка сигнала от помех. По оценкам значений сигнала, полученным в результате обработки, вычисляются коэффициенты разложения Фурье и, затем, амплитуда и фазовые параметры, значения которых с помощью алгоритмов статистической обработки уточняются после прохождения каждого периода сигнала. Питание приемника осуществляется от аккумуляторных батарей напряжением 6 В. На рисунке 1 приведена структурная схема приемника ВПФ-210.

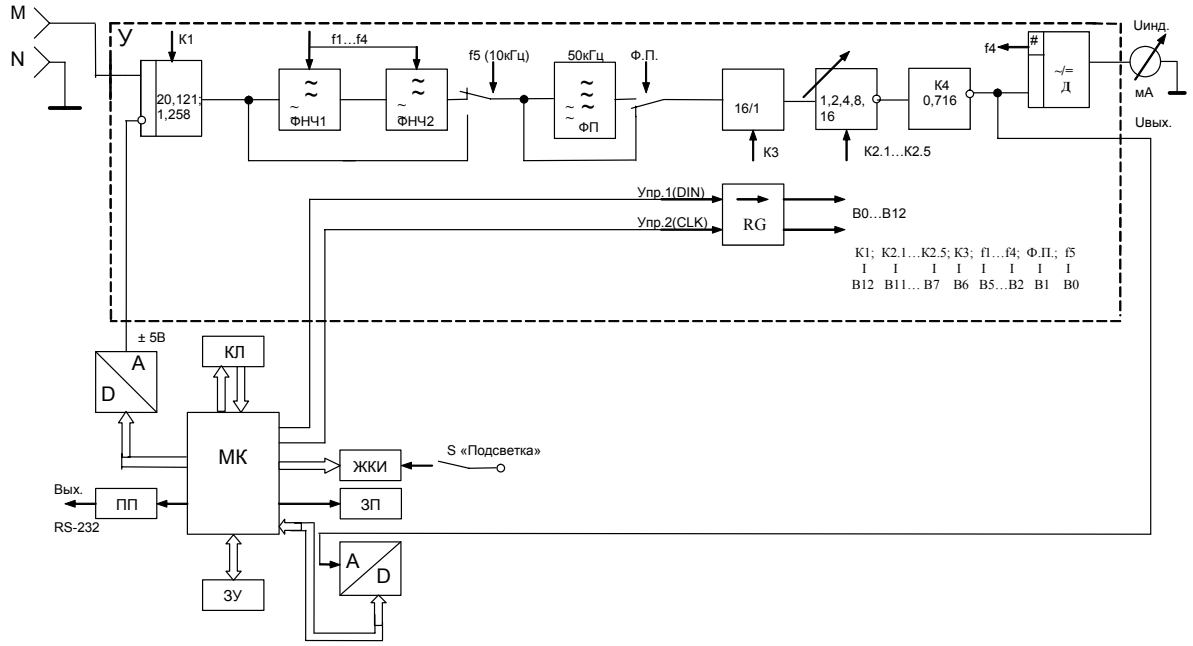


Рисунок 1. Структурная схема приемника ВПФ-210

Приемник выполнен на четырех печатных платах:

- плата усилителей У;
- плата обработки;
- плата питания;
- плата объединительная.

Плата усилителей У содержит:

- усилители с программируемым коэффициентом усиления;
- фильтры низких частот (ФНЧ1 и ФНЧ2);
- фильтр-пробку на 50 Гц (ФП);
- детектор (Д);
- регистр управления (RG).

Плата обработки содержит:

- микроконтроллер (МК);
- аналогово-цифровой преобразователь (A/D);
- компенсатор постоянной составляющей на цифро-аналоговом преобразователе (D/A);
- приёмопередатчик RS-232 (ПП);
- запоминающее устройство (ЗУ),

Плата объединительная выполняет функции связи между платами приемника.

На шасси приемника размещены клавиатура (КЛ), жидкокристаллический индикатор (ЖКИ), звонок пьезоэлектрический (ЗП), кнопка “ПОДСВЕТКА” (S).

На схеме не показаны плата питания, тумблер включения питания.

Измеряемый сигнал с выхода приемной линии или приемной рамки поступает на вход платы усилителей У. В первом каскаде К1 усилителя могут быть заданы коэффициенты усиления 20,121 или 1,258. Далее сигнал проходит через фильтры низкой частоты ФНЧ, фильтр-пробку ФП, усилитель К3 с коэффициентами усиления 1 или 16, усилитель К2 (коэффициенты 1; 2; 4; 8; 16) и выходной усилитель (К = 0,716).

Задание коэффициентов усиления и частот среза производится кодами регистра управления RG. В таблице, приведенной на трукторной схеме, поясняется связь разрядов регистра с управляющими сигналами.

Сигнал с выхода усилителя К4 подается на АЦП и через детектор Д на микроамперметр mA, служащий индикатором уровня сигнала.

С выхода АЦП (24 бита) оцифрованный сигнал поступает в микроконтроллер, где происходит дальнейшая обработка и вычисление параметров.

В процессе обработки сигнал в цифровом виде пропускается через гребенчатый фильтр, который имеет коэффициенты передачи, равные единице на частотах, совпадающих с нечетными гармониками сигнала и равные нулю в узлах, соответствующих четным гармоникам, в том числе - нулевой. В окрестностях нулевых узлов коэффициенты передачи фильтров близки к нулю и убывают там как полином пятого порядка. Такие цифровые фильтры не искажают полезный сигнал. Одновременно ини позволяют эффективно подавлять низкочастотные помехи, к которым относятся, в основном, теллурические сигналы и шумы приемных электродов, и та часть спектра помех, которая не лежит в окрестностях нечетных гармоник полезного сигнала. В частности, этим фильтром дополнительно эффективно подавляется промышленная помеха 50 Гц.

Усилители, применяемые в приемнике ВПФ-210, имеют малое напряжение смещения (менее 100 мкВ), что позволяет выполнять измерения по-

стоянной составляющей входного напряжения, например, естественного электрического поля.

Цифро-аналоговый преобразователь D/A обеспечивает компенсацию постоянной составляющей входного сигнала в диапазоне ± 1024 мВ, а также формирование меандра калибровочного сигнала.

Прибор может работать в следующих режимах: измерений, диалога с оператором, вывода данных в компьютер, измерения сопротивления приемной линии.

В режиме измерений прибор может работать во временной области (дискретные измерения) и в частотной области (гармонический анализ).

При работе в частотной области определяются:

- постоянная составляющая сигнала;
- амплитуды первой, третьей, пятой, седьмой и девятой гармонических составляющих сигнала;
- до четырех двухчастотных фазовых параметров вызванной поляризации, вычисляемых по значениям фаз пар гармоник сигнала: первой-третьей, третьей-девятой; пятой-пятнадцатой и седьмой-двадцать первой.

Фазовые параметры определяются формулой

$$\phi[m,n] = (m \phi[n] - n \phi[m]) / (m - n),$$

где m и n - номера гармоник сигнала, ф - их фаза.

Амплитуда измеряется в милливольтах, фазовые параметры - в градусах или миллирадианах.

При работе в частотной области возможно определение знака амплитуды сигнала относительно знака тока в питающей линии. Это особенно необходимо при работах методом заряд-градиент, при поисках повреждений гидроизоляции подземных металлических сооружений и в некоторых других случаях.

При дискретных измерениях вызванной поляризации отыскивается фронт сигнала. Фронтом считается момент максимального значения его первой производной. Относительно фронта задается до пяти временных интервалов (стробов), в которых измеряются значения напряжений сигнала. Положение этих интервалов задается в долях полупериода установленной частоты сигнала. Центры интервалов соответствуют моментам времени 200/256, 56/256, 28/256, 14/256, 7/256 долей полупериода. При измерениях с повышенной детальностью (ЗС) центры интервалов соответствуют временам 200/256, 4/256, 5/256, 6/256, 7/256, 8/256, 10/256, 12/256, 14/256, 16/256, 18/256, 20/256, 22/256, 24/256, 27/256, 31/256, 35/256, 39/256, 43/256, 47/256, 51/256, 55/256. Напряжение в первом из стробов (200/256),- он находится в конце полупериода, используется для вывода на табло и для записи в память в качестве “напряжения пропускания”. Это - первый параметр. Остальные стробы находятся в первой четверти полупериода, по напряжениям в них определяются относительные параметры сигнала, характеризующие степень его отличия от прямоугольной формы, которое возникает вследствие действия процессов вызванной поляризации и электродинамических эффектов.

Для работы в условиях воздействия сильных помех предусмотрены следующие способы статистической обработки:

- “без обработки” - на дисплей выводятся необработанные значения целевых параметров. Этот способ может быть использован для оценки уровня помех;
- “среднее” - выводится оценка по алгоритму выборочного среднего;
- “медиана” - оценка, устойчивая к воздействию редких импульсных помех.

Статистическая обработка в сочетании с аналоговой фильтрацией (перестраиваемые фильтры 4 порядка), цифровой фильтрацией и 24-битным аналого-цифровым преобразователем обеспечивают уверенный прием зашумленных сигналов амплитудой до 10^{-6} В.

На рисунке 2 приведен общий вид прибора. Основные параметры приемника даны в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры приемника ВПФ-210

Перечень параметров	Значения
Диапазон рабочих частот, Гц	0,019-4,88
Диапазон измеряемых напряжений, мВ	0,001-5000
Диапазон измеряемых фазовых параметров, градус	(-45) - (+45)
Погрешность измерения напряжения, % По специальным требованиям, %	1 0,2
Погрешность измерения фазовых параметров, градус	0,04
Входное сопротивление, МОм	3
Подавление помех частотой 50 Гц на низких частотах, не менее, дБ	100
Объем встроенной памяти, не менее Кбайт	8
Средняя потребляемая мощность, Вт	0,5
Масса приемника, кг	2,6



Рисунок 2. Приемник ВПФ-210

ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЙ ГЭР-2

Генератор предназначен для работ методами сопротивлений, заряда, вызванной поляризации. Он создавался в расчете на следующие основные требования:

1. Устойчивая работа при полной мощности во всем диапазоне реально существующих нагрузок.

Это требование предполагает наличие широкого диапазона выходных токов и напряжений.

2. Амплитудно-частотные параметры выходного тока практически не должны зависеть от изменения импеданса нагрузки или входного питающего напряжения.

3. Генератор должен обладать атрибутами современного прибора, в том числе, иметь возможность:

- задания нужных режимов и параметров путем диалога с использованием клавиатуры, дисплея и процессора, управляющего генератором;
- контроля основных параметров в автоматическом режиме.

Для обеспечения высокой надежности должна быть предусмотрена система защит.

Разработка генератора осуществлялась с применением современной элементной базы ведущих фирм мира (Analog Devices, Infineon technologies, Mitsubishi Electric и др,) и использования новейших достижений в области схемотехники. Применение мощных высоковольтных МДП-транзисторов, имеющих малые динамические потери, в преобразователях напряжения позволило, в частности, достичь следующего:

1. Упростить схемы управления.

2. Существенно повысить частоту преобразования и, как следствие, резко снизить массогабаритные параметры трансформаторов, фильтров и изделия в целом.

3. Повысить надежность изделия за счет увеличения нагрузочной способности по току и тепловой стабильности.

Конструктивно генератор выполнен в виде единого блока, в состав которого входят модуль управления и 4 однотипных силовых модуля. В модуль управления входят плата процессора с жидкокристаллическим дисплеем, плата гальванической развязки и плата управления. Силовой модуль выполнен также в виде печатной платы, силовые элементы которой расположены на радиаторе. Для обеспечения требуемого теплового режима используется вентилятор.

Структурная схема генератора приведена на рисунке 3.

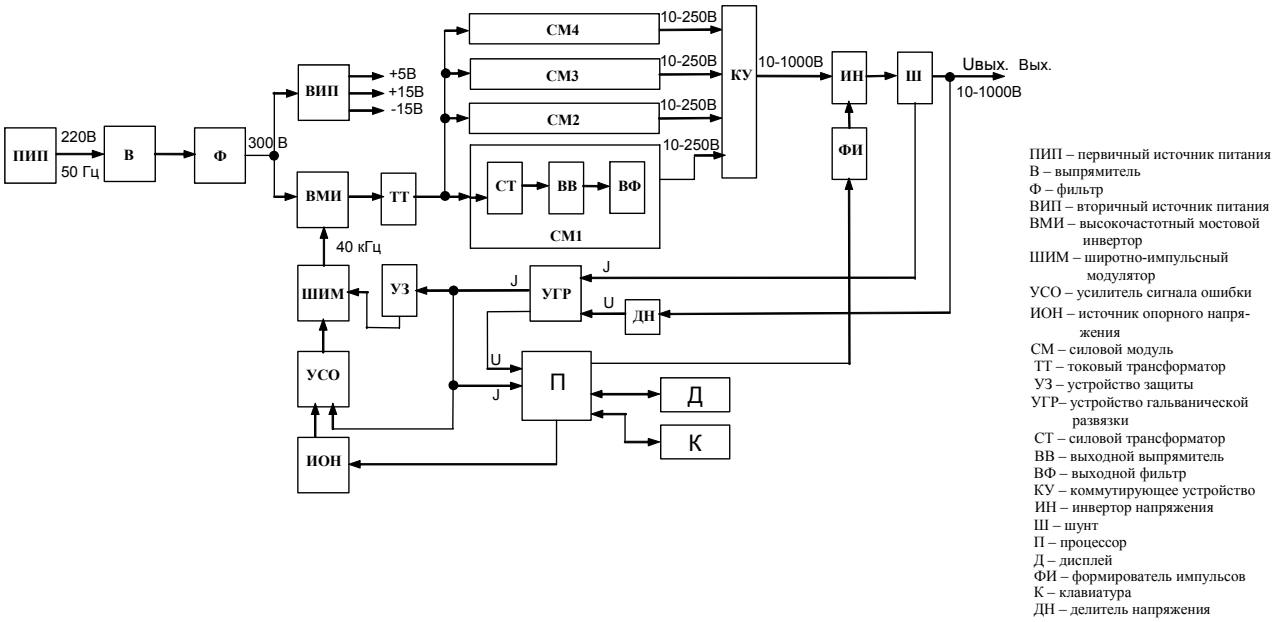


Рисунок 3. Структурная схема генератора ГЭР – 2

Как показано на структурной схеме, в качестве первичного источника питания (ПИП) может быть использована любая автономная однофазная электростанция мощностью более 2,5 кВт, напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Напряжение от ПИП поступает на выпрямитель (В), а затем пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются фильтром (Ф). Постоянное напряжение с выхода Ф поступает на вторичный источник питания (ВИП), где вырабатываются все необходимые вспомогательные напряжения для работы генератора, а также на высокочастотный мостовой инвертор (ВМИ). Управление силовыми элементами генератора осуществляется от процессора (П), активизация которого происходит при поступлении на него питающего напряжения 5 В. При этом на дисплее (Д) появляется надпись “ВЫБОР ФУНКЦИИ”.

В режиме диалога оператор вводит в определенной последовательности исходные данные, необходимые для работы генератора: режим работы, частоту, ток в нагрузке, а затем производит пуск генератора. При этом на формирователь импульсов (ФИ) поступают импульсы заданной частоты, вырабатываемой с высокой точностью и стабильностью, определяемой кварцевым резонатором, ФИ осуществляет гальваническую развязку импульсов с вы-

хода процессора и преобразует их в импульсы управления инвертором напряжения (ИН). ИН выполнен по мостовой схеме и преобразует постоянное напряжение, поступающее на его вход, в переменное напряжение, частота которого определяется процессором. Так как генератор должен вырабатывать импульсы тока с высокой стабильностью, генератор охвачен обратной связью по току. Для этой цели в цепь нагрузки введен шунт (Ш), с которого снимается информация о токе. Информация о выходном напряжении снимается с делителя напряжения (ДН). Напряжения, пропорциональные выходному току и напряжению, поступают на устройство гальванической развязки (УГР), в котором на основе модуляции-демодуляции осуществляется усиление сигнала с шунта, а также синхронное детектирование переменных сигналов по току и напряжению. Далее эти сигналы поступают на процессор, который с помощью встроенного в него аналого-цифрового преобразователя производит их измерение. Результаты высвечиваются на дисплее. Кроме этого, сигнал, пропорциональный току, поступает на устройство защиты (УЗ), а также на усилитель сигнала ошибки (УСО). В УСО происходит сравнение сигнала, пропорционального току, с опорным напряжением, приходящим от источника опорного напряжения (ИОН). На выходе ИОН напряжение пропорционально току, значение которого вводит оператор с помощью клавиатуры (К). Разность сигналов с шунта и опорного напряжения усиливается в УСО и поступает на широтно-импульсный модулятор (ШИМ), который вырабатывает импульсы частотой 40±5 кГц с длительностью, пропорциональной выходному напряжению, УСО. Импульсами ШИМ управляется высокочастотный мостовой инвертор (ВМИ), который преобразует постоянное напряжение 300 В в переменное прямоугольное напряжение частотой 40 кГц. Благодаря столь высокой частоте можно передать большую энергию (в частности, 2 кВт) через трансформатор небольших габаритов и массы. Передачей энергии через трансформатор достигается гальваническая развязка между ПИП и выходными цепями генератора, что является необходимым условием при конструировании генератора. Переменное напряжение с выхода ВМИ через токовый трансформатор (ТТ) поступает на входы четырех одинаковых силовых модулей (СМ), каждый из которых состоит из силового трансформатора, выходного выпрямителя (ВВ) и выходного фильтра (ВФ). Силовой модуль осуществляет гальваническую развязку первичной и вторичной цепей, выпрямление выходного напряжения и выделение среднего значения с помощью выходного LC-фильтра. Высокая частота пульсаций выпрямленного напряжения (80 кГц) позволяет выполнить эту задачу фильтром малых размеров и веса. Благодаря ШИМ на выходе СМ можно получать напряжение в широких пределах - от 10 до 250 В. Напряжение с выходов СМ1-СМ4 поступает на коммутирующее устройство (КУ). В зависимости от сопротивления нагрузки силовые модули можно соединять параллельно, последовательно и параллельно-последовательно, что позволяет использовать генератор на полную мощность в широком диапазоне нагрузок. Генератор имеет защиту от перегрузок по току и мощности, которая осуществляется через устройство защиты (УЗ). Если ток в выходной цепи превысит заданный на 30 %. УЗ вырабатывает потенциал, который запрещает прохождение импульсов с выхода ШИМ. Такой же потенциал вырабатывается при разрыве цепи нагрузки. Превышение максимальной мощности, информация о которой снимается с токового трансформатора (ТТ), приводит к сужению импульсов на выходе ШИМ. Выходное напряжение при этом уменьшается, а мощность не превышает максимальную.

Основные параметры генератора ГЭР – 2 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные параметры генератора

Перечень параметров	Значения
Диапазон нагрузок, Ом	0 ÷ 5000
Максимальная выходная мощность, Вт	2000
Диапазон значений выходного переменного тока и амплитуд импульсов тока, А	0,2÷10
Максимальное значение выходного напряжения переменного тока, В	1000
Масса блоков генератора, кг	25
Фиксированные рабочие частоты переменного тока, Гц	$312,5/2^n$, где n = 0,,,16
Нестабильность выходного тока генератора, %	0,1
Погрешность задания выходного тока,%	1
Нестабильность частоты выходного тока, %	0,001

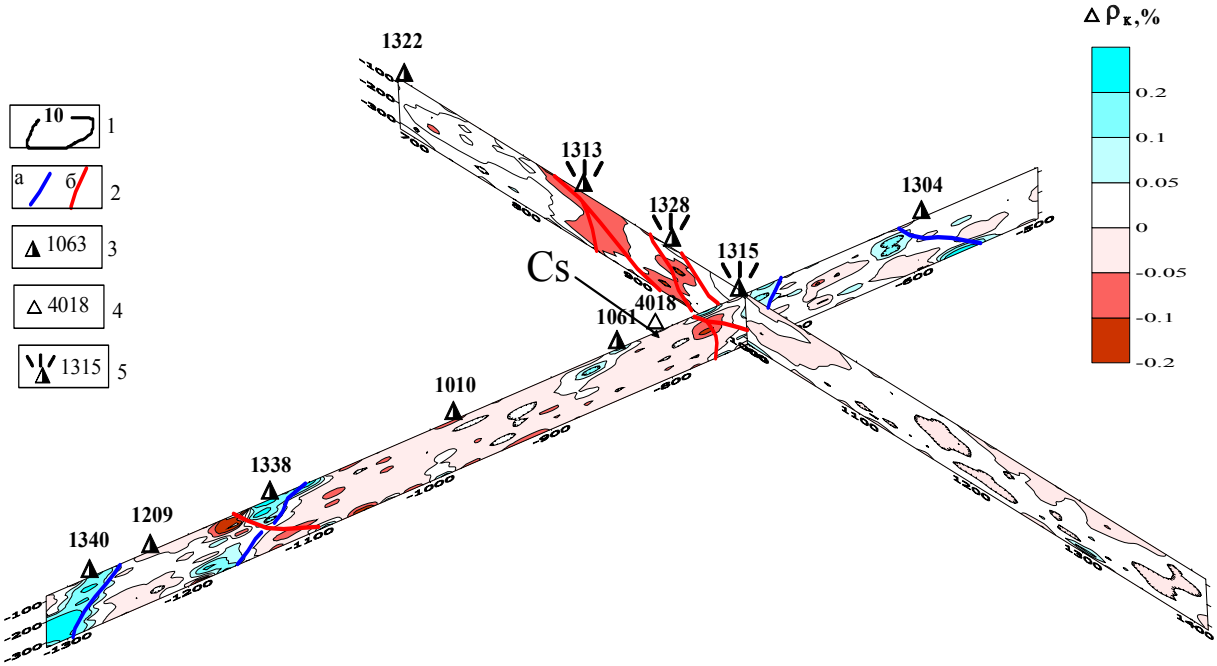
Генератор ГЭР – 2 испытан в лабораторных и полевых производственных условиях.

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Аппаратура применялась для решения различных геологических и технологических задач. Ниже приведено несколько примеров проведения измерений для задач, связанных с геоэлектрическим мониторингом.

На участке Балапан дважды (09.2001 и 09.2002 гг.) выполнены режимные электрометрические наблюдения по двум пересекающимся профилям с целью выявления геодинамических явлений в горных породах, подвегшихся воздействию подземных ядерных взрывов. Съемки выполнены методом двустороннего дипольного электропрофилирования с осевой установкой. Измерения проведены при шести разносах измерительной установки (150, 250, 350, 450, 550, 650 м). Размер питающего диполя (AB) составлял 100 м, приемной линии (MN) – 50 м. Ток в питающей линии менялся от 1,0 до 8,0 А в зависимости от условий заземления электродов в линии AB. Для заземления питающей линии использовались стальные шпильки длиной порядка 1 м – по два электрода на каждый к4онец, что существенно ускоряло процесс перемещения измерительной

установки при съемке. В приемной цепи использовались стандартные стальные шпильки, которые отличаются наиболее высоким уровнем собственных шумов. Несмотря на это, благодаря высоким техническим данным использованной аппаратуры, точность съемки оказалась достаточно высокой. Средняя относительная ошибка наблюдений составила не более ±1,8 % для параметра кажущегося сопротивления (ρ_k). На рисунке 4 показаны относительные изменения кажущегося электрического сопротивления пород разреза (%), выявленные при повторной съемке (2002 г).



1 - изопроценты относительного изменения ρк; 2 – зоны: а - приращения значений ρк (миграции нисходящих атмосферных вод), б – уменьшения значений ρк (миграции восходящих соленых подземных вод);
3 – скважины проведения ПЯВ; 4 - гидрогеологические скважины; 5 - "газирующие" скважины

Рисунок 4. Участок Балапан. Блок-диаграмма относительного изменения кажущегося электрического сопротивления горных пород по измерениям в 2001, 2002 гг.

Как можно видеть, на обоих профилях, проявились участки значительного (до 60 %) изменения значений кажущегося электрического сопротивления (ρ_k)горных пород разреза, как в сторону их уменьшения, так и увеличения. Величина относительного изменения кажущегося электрического сопротивления значительно превышает тройную ошибку наблюдений, что позволяет не сомневаться в их достоверности. Изменения электрического сопротивления одного и того же знака достаточно хорошо коррелируются и тяготеют, как правило, к ослабленным зонам. Отмеченные изменения ρ_k могут быть объяснены миграцией атмосферных и подземных вод. Увеличение ρ_k может быть связано с нисходящим движением пресных атмосферных вод по зонам нарушения (тектонического и техногенного происхождения), уменьшение ρ_k - восходящими флюидами соленых подземных вод по аналогичным зонам. Изучение места проведения подземных ядерных взрывов и геоэлектрический мониторинг на данном участке продолжается.

Другой пример (рисунок 5) относится к проведению контроля за растеканием выщелачивающего раствора в продуктивном пласте на одном из участков месторождения пластово-фильтрационного типа, где проводится добыча урана методом подземного скважинного выщелачивания (ПСВ).

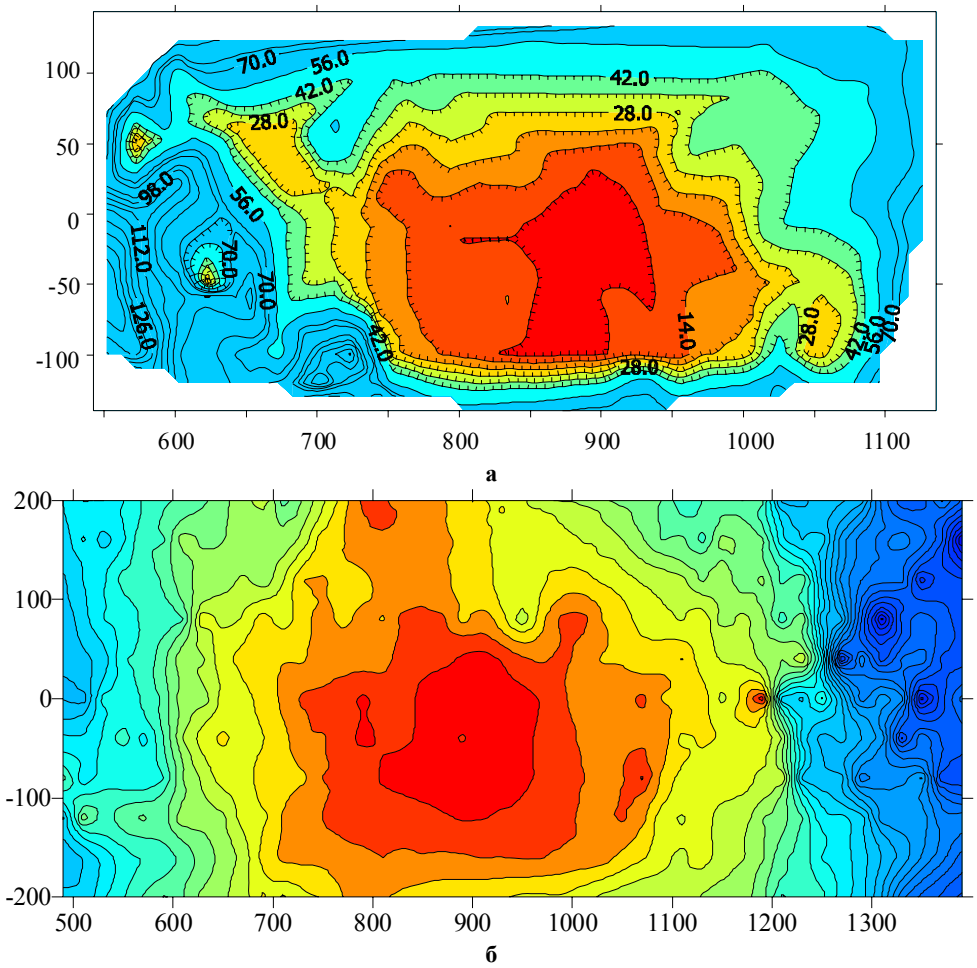


Рисунок 5. Урановое месторождение. Изолинии ρ_k первого (а) и второго (б) цикла наблюдений методом заряда для контроляза растеканием выщелачивающих растворов в продуктивном пласте

На рисунке 5 приведены данные, полученные в результате двукратной съемки методом заряженного тела (ЗТ) Измерения выполнялись по схеме градиента потенциала. Сеть наблюдений 40×20 м. Профили съемки располагались параллельно длинной стороне планшета. Заряд (токовый электрод) помещался в одной из наблюдательных скважин блока ПСВ на глубине 175 м. Электрод "бесконечность" отнесен от участка на 2 км. Ток в питающей линии был равен 2 А. В качестве электродов в измерительной линии использовались стандартные стальные шпильки.

Выщелачивание рудного компонента производится сернокислотным раствором через систему закачных и откачных скважин. Так как раствор серной кислоты является хорошим проводником, то при его распространении в проницаемых горных породах (как правило, в песках) существенно увеличивается электропроводность этих пород. Данные предпосылки послужили основанием для применения методов электроразведки с целью мониторинга миграции выщелачивающих растворов в продуктивном пласте. Результаты работ методом заряда представлены в виде изолиний кажущегося сопротивления. На рисунке 5а отражены данные, полученные в начальной фазе выщелачивания блока ПСВ. Повторная съемка, результаты которой приведены на рисунке 5б, выполнена спустя четыре месяца.

Сопоставляя результаты съемок можно видеть, что за время, прошедшее между циклами наблюдений, площадь аномалии пониженных значений ρ_k существенно расширилась, что объясняется распространением серной кислоты в блоке выщелачивания по мере его отработки. Геометрия наиболее интенсивной (центральной) части аномалии претерпела незначительные изменения, тогда как область слабозакисленных пород увеличилась намного за счет диффузионного распространения выщелачивающих растворов в проницаемом пласте.

Работы методом ЗТ на данном объекте носят опытный характер и еще не завершены, поэтому в данной статье отражена предварительная информация, важная, прежде всего, для оценки возможностей разработанной аппаратуры. С этой точки зрения, следует отметить, что условия измерений на исследуемом объекте могут быть отнести к сложным - на изучаемой площади одновременно работают не менее 30 погружных насосов, создающих интенсивные

электрические помехи. Несмотря на это, использованная электроразведочная аппаратура позволила получить вполне кондиционные материалы.

Еще одним примером высоких технических показателей аппаратуры могут служить результаты работ методом ВЭЗ, проведенные на объекте Лира. Этот объект характеризуется высоким уровнем электрических и индустриальных помех, обусловленных влиянием ЛЭП, станций коррозионной защиты и шлейфов многочисленных трубопроводов. Условия практически не позволяют использовать здесь другие виды электрических зондирований (ЗСБ, ЗМПП). Об этом свидетельствует неудачный опыт зондирований методом переходных процессов, выполненных на указанном объекте с аппаратурой Цикл-Микро (СНИИГГИМС). На рисунке 6 приведены данные ВЭЗ, полученные с описанной аппаратурой. Видно, что кривая зондирования практически не искажена электрическими и техногенными помехами, что позволяет решать задачу геоэлектрического расчленения верхней части разреза весьма успешно. В данном случае основной задачей, поставленной перед электроразведкой, было выделение в толще рыхлых отложений чехла горизонтов проницаемых песчанистых пород. По результатам интерпретации кривой зондирования (программа IPI2WIN[2]) в интервале глубин 17,7 – 66 м уверенно выделяется песчанистый проницаемый горизонт.

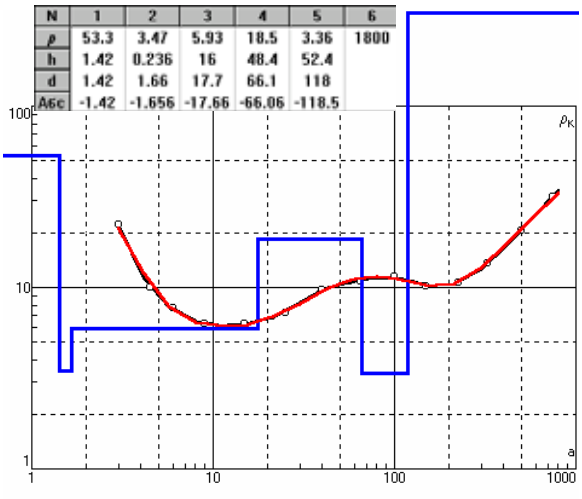


Рисунок 6. Объект Лира. Кривая ВЭЗ, зарегистрированная в условиях интенсивных помех

В целом, следует отметить, что разработанная аппаратура по своим техническим показателям соответствует современному мировому уровню и может быть использована не только при решении традиционных задач электроразведки, но и при слежении за "тонкими" геодинамическими процессами, происходящими в геологической среде под воздействием естественных и техногенных факторов.

Литература

1. Электроразведка: Справочник геофизика. В двух книгах. Книга первая. – М: Недра. – 1989. - 438 с.
2. Жамалетдинов А.А., Митрофанов Ф.П., Токарев А.Д., Шевцов А.Н. Влияние лунно-солнечных приливных деформаций на электропроводность и флюидный режим земной коры //Доклады Академии Наук. – 2000. - Том 371. - № 2. - С. 235-239.

ЖОҒАРЫ ШЕШІЛІМДІ ЭЛЕКТРБАРЛАУ АППАРАТУРАСЫ ЖӘНЕ ОНЫ ҚОЛДАНУ МҮМКІНШІЛІГІ

Жолдыбаев А.К., Максимов Е.М., Мариненко В.А., Стромов В.М., Шевченко В.П.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ

Өзінің техникалық көрсеткіштері бойынша геофизикалы әзірлемелерінің әлемдік деңгейіне сәйкес электр барлау аппаратурасы – генератор мен қабылдауыш әзірленген. Аппаратураны, дағдылы қолдануынан басқа, геологиялық ортада табиғатты және техногенді факторлар ықпалында өтетін «жіңішке» геодинамикалық процесстерді байқау үшін пайдалануға болады.

HIGH RESOLUTION ELECTRICAL EXPLORATION EQUIPMENT AND POSSIBILITIES OF ITS APPLICATION

A.K. Zholdybaev, E.M. Maximov, V.A. Marinenko, V.M. Stromov, V.P. Shevchenko

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

Electrical exploration equipment was developed - receiver and generator- its technical capabilities correspond to modern international level of geophysical developments. Except for normal application, equipment can be used for observing "minor" geodynamic processes in a geological medium affected by natural and man-made factors.

СПИСОК АВТОРОВ

Алексеев А.С., 73
Беляшова Н.Н., 5
Ванчугов А.Г., 16
Варнум Б.Р., 43
Васильев А.П., 18
Великанов А.Е., 89, 106
Вольф Н.А., 94
Глинский Б.М., 73, 78
Горбунова Э.М., 113
Дробжева Я.В., 68
Дроздов А.В., 138
Жолдыбаев А.К., 149
Китов И.О., 47
Ковалевский В.В., 73, 78
Коновалов В.Е., 130, 138
Копничев Ю.Ф., 83
Краснов В.М., 68
Максимов Е.М., 149
Мариненко В.А., 149
Мелентьев М.И., 89, 106
Михайлова Н.Н., 5, 94, 100
Мурзадилов Т.Д., 123, 144
Мусин А.К., 61
Норт Р.Г., 34
Овчинников В.М., 47
Пестов Е.Ю., 138
Подгорная Л.Е., 5
Полешко Н.Н., 100
Политиков И.М., 123
Политиков И.М., 144
Политиков М.И., 123, 144
Рощин И.Н., 130
Синёва З.И., 94
Соколова И.Н., 61, 83
Соколова О.И., 68
Стромов В.М., 149
Суарез Ж., 25
Султанова Г.С., 61
Хайретдинов М.С., 78
Халтурин В.И., 52
Шевченко В.П., 149

Большая часть статей, включенных в сборник, отражает содержание докладов, представленных на Второй международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий (12-16 августа 2002 г., Боровое, Казахстан)

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи представляются до 25 числа первого месяца квартала в двух экземплярах 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.