

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Издается с января 2000 г.

ВЫПУСК 2 «ГЕОФИЗИКА И ПРОБЛЕМЫ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ», ИЮНЬ 2002

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.,
д.ф.-м.н. КОСЯК Ю.Г., д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., 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.

ҚР-ҮІД Жұдыл

«ГЕОФИЗИКА ЖӘНЕ ТАРАТПАУ ПРОБЛЕМАЛАРЫ»

2 ШЫҒАРЫМ, МАУСЫМ, 2002 ЖЫЛ

NYC IRK Bulletin

«GEOPHYSICS AND NON-PROLIFERATION PROBLEMS»

ISSUE 2, JUNE 2002

**ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ННЦ РК
ПРЕДЛАГАЕТ ИЗГОТОВЛЕНИЕ И СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ
АППАРАТУРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ (ПРИЕМНИКИ, ГЕНЕРАТОРЫ)**

Назначение: ♦ инженерно-гидрогеологические изыскания, включая обследование территорий подвергшихся воздействию подземных ядерных взрывов ♦ геоэкологические исследования ♦ поиски и разведка полезных ископаемых ♦ обследование и мониторинг состояния трубопроводов

Использование в методах: ♦ вызванной поляризации ♦ электрических сопротивлений ♦ заряда, ♦ электрической корреляции ♦ естественного поля и др.

**Приемник переносной электроразведочный ВПФ-210
Electro-prospecting receiver VPF-210**

- Высокая помехоустойчивость, обеспечивающая возможность работ в зоне воздействия промышленных помех
- Высокая чувствительность
- Возможность измерений в импульсном и частотном режимах
- Одновременное измерение не менее шести параметров электрического сигнала (включая амплитудные и фазовые).
- Возможность определения «знака» сигнала
- Возможность одновременного измерения как естественного поля, так и поля, создаваемого с применением генератора
- Передача данных в компьютер



Основные параметры

Диапазон рабочих частот, Гц	0,019 – 4,88
Диапазон измеряемых напряжений, мВ	0,001 – 5000
Диапазон измеряемых фазовых параметров, градус	(-45) – (+45)
Погрешность измерения, %	1
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, Кбайт	8
Средняя потребляемая мощность, Вт	0,5
Масса приемника, кг	3

**Генератор электроразведочный ГЭР - 2/1000
Generator for electro-prospecting GER- 2/1000**

- Широкий диапазон выходных токов и напряжений
- Высокая стабильность выходного тока
- Надежная система защиты
- Питание от источников переменного напряжения 180 ÷ 240 В, 50 Гц



Основные параметры

Максимальная выходная мощность, Вт	2000
Максимальное выходное напряжение, В	1000
Диапазон генерируемых токов, А	0,05÷15
Диапазон частот, Гц	0,01÷312,5
Нестабильность выходного тока, не более, %	0,1
Диапазон сопротивлений активных нагрузок, Ом	8÷10000
Масса, кг	25

Институт геофизических исследований
Национального Ядерного Центра Республики Казахстан
490021, г. Курчатов, площадка Меридиан
☎(32251) 2- 37- 42, 2- 31-46 ☎(32251)233422
E-mail: igr@nnc.kz

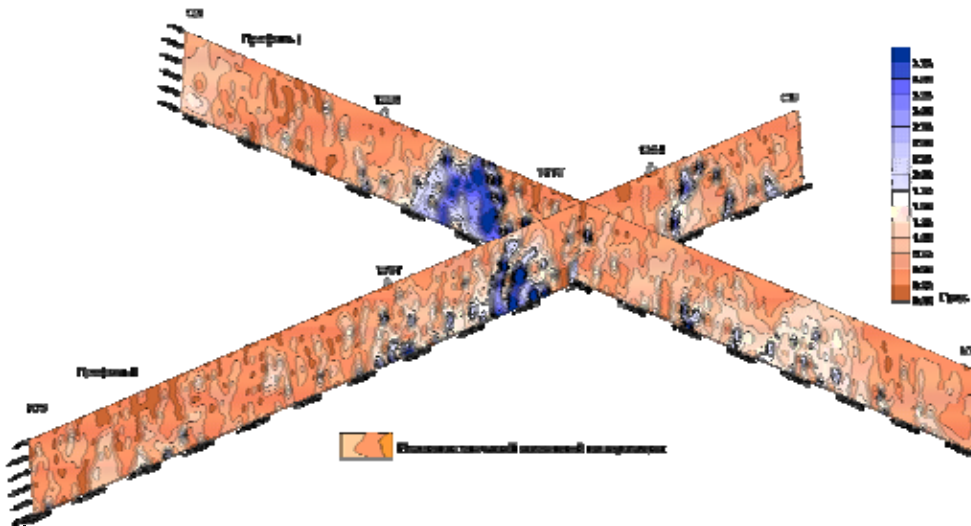
Institute of Geophysical Research
of National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan
490021, Kazakhstan, Kurchatov city,
☎(32251) 2- 37- 42, 2- 31-46 ☎(32251)23422
E-mail: igr@nnc.kz

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМА ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА, СОЗДАННАЯ В НАЦИОНАЛЬНОМ ЯДЕРНОМ ЦЕНТРЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН, И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ.....	5
Тухватулин Ш.Т., Тихомиров Л.Н., Беяшова Н.Н., Михайлова Н.Н., Демин В.Н., Марченко В.Г., Комаров И.И.	
НОВАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ГРУППА «КАРАТАУ» В КАЗАХСТАНЕ.....	9
Марченко В.Г., Неделков А.И., Комаров И.И.	
НОВАЯ ИНФРАЗВУКОВАЯ СТАНЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА В КАЗАХСТАНЕ IS31 «АКТЮБИНСК»	14
Демин В.Н., Кунаков В.Г., Смирнов А.А.	
ШУМОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ.....	19
Башилов И.П., Дараган С.К., Кабыченко Н.В.	
ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТОВ СЕРИИ «ОМЕГА»	30
С. Ноулес	
СРАВНЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ ОМЕГА-2 И ОМЕГА-3 по СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ	36
Михайлова Н.Н., Соколова И.Н.	
ГОДОГРАФ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ.....	46
Михайлова Н.Н., Аристова И.Л., Германова Т.И.	
ВРЕМЯ ПРОБЕГА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ P_n НА ТРАССЕ СЕМИПАЛАТИНСКИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН – СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ БОРОВОЕ	55
Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М.	
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР СЕЙСМИЧЕСКИХ ТРАСС В СИБИРИ И КАЗАХСТАНЕ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАЛИБРОВКИ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА	59
Эльтеков А.Ю., Солодилов Л.Н., Егоркин А.В., Курсенков А.Б.	
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НЯЦ РК.....	64
Михайлова Н.Н., Синева З.И.	
ОСОБЕННОСТИ ИНФРАЗВУКОВЫХ И ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ПОЛЕТЕ СВЕРХЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	69
Дробжева Я.В., Краснов В.М., Соколова О.И.	
ШАЛГИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ЦЕНТРАЛЬНОМ КАЗАХСТАНЕ 22.08.2001 г.	78
Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н., Казаков Е.Н., Беяшов А.В.	
К ОЦЕНКЕ ТРЕЩИННОЙ ТЕКТОНИКИ, СОПРЯЖЕННОЙ С ПОДЗЕМНОЙ ЯДЕРНОЙ ПОЛОСТЬЮ СКВ. 5РТК НА КАРАЧАГАНАКСКОМ СОЛЯНОМ КУПОЛЕ	88
Мелентьев М.И., Кислый Б.И., Политиков М.И., Шайторов В.Н., Гринштейн Ю.А., Попов В.Б., Жолдыбаев А.К.	
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД УЧАСТКА БАЛАПАН ПО ДАННЫМ ТЕКУЩЕГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН.....	96
Коновалов В.Е., Пестов Е.Ю., Распопов Н.Я.	
МЕТАЛЛОГЕНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА.....	100
Жаутиков Т.М., Фомичев В.И.	
ИСТОРИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ: ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ РАЗВЕДКИ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	109
Ван Лонгпин	

**ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЯЦ РК
ПРЕДЛАГАЕТ УСЛУГИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИЕМНИКА ВПФ-210, ГЕНЕРАТОРА ГЭР-2/1000
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

**Пример обследования места проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ)
Example of site survey of underground nuclear explosions**

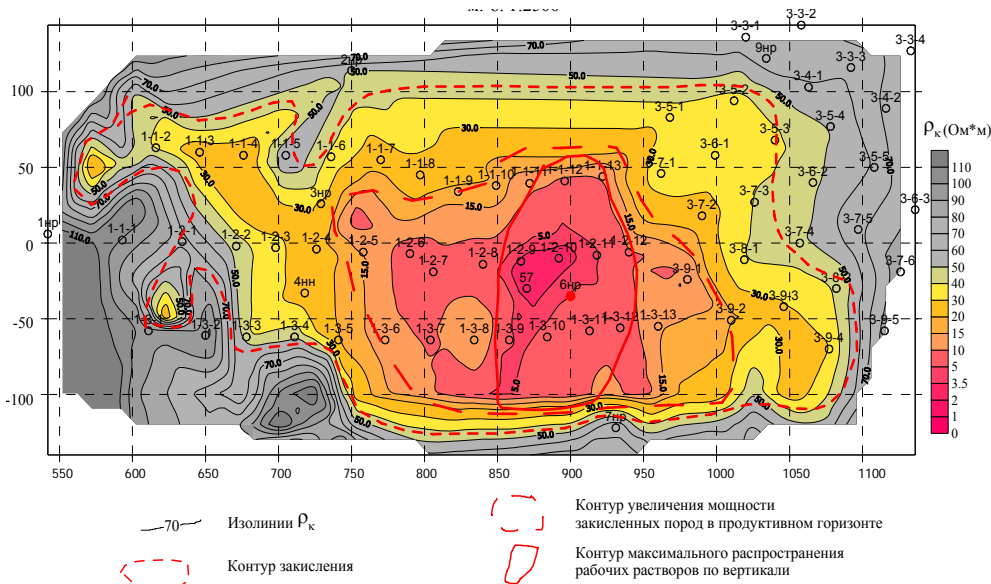


Объект изучения:
участок Балапан СИП (окрестности скважин, в которых произведены ПЯВ).

Метод:
многоуровневое осевое электрическое профилирование (до глубины порядка 320 м).

Результаты:
по повышенному значению фазового параметра (>1.5 град) выявлены области разуплотненных и углистых пород.

**Пример контроля за растеканием выщелачивающего раствора
Example of control of leaching solution flow**



Объект изучения:
урановое месторождение Акдала пластово-фильтрационного типа.

Метод электрического заряда:
заряд в рудном теле на глубине 220 м, съемка на площади 300x650 м.

Результаты:
1. по низким значениям электрического сопротивления ($\rho_k < 10$ Ом) околнурена площадь растекания выщелачивающих сернокислых растворов в рудном (урановом) пласте.
2. установлена морфология области закисленных пород внутри рудного пласта
3. выявлены места несанкционированного выхода растворов из границ рудного пласта

Институт геофизических исследований
Национального Ядерного Центра Республики Казахстан
490021, г. Курчатов, площадка Меридиан
☎(32251) 2- 37- 42, 2- 31-46 📠(32251)233422
E-mail: igr@nnc.kz

Institute of Geophysical Research
of National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan
490021, Kazakhstan, Kurchatov city,
☎(32251) 2- 37- 42, 2- 31-46 📠(32251)23422
E-mail: igr@nnc.kz

УДК 550.83(574)

СИСТЕМА ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА, СОЗДАННАЯ В НАЦИОНАЛЬНОМ ЯДЕРНОМ ЦЕНТРЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН, И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ

¹⁾Тухватулин Ш.Т., ¹⁾Тихомиров Л.Н., ²⁾Беляшова Н.Н., ²⁾Михайлова Н.Н., ²⁾Демин В.Н., ²⁾Марченко В.Г., ²⁾Комаров И.И.

¹⁾Национальный ядерный центр РК

²⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК

В составе Национального ядерного центра Республики Казахстан создана современная система сейсмических и инфразвуковых станций для контроля за ядерными испытаниями и землетрясениями. Часть станций входит в Международную систему мониторинга, создаваемую организацией Договора о Всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, другая - в глобальные сети сейсмических наблюдений. Центр данных в г. Алматы осуществляет сбор, обработку, хранение и обмен данными по этим станциям с Международными и Национальными Центрами данных. Результаты мониторинга используются для решения различных практических и научно-исследовательских задач.

В национальных интересах, в интересах развития регионального и международного сотрудничества в Республике Казахстан создана и развивается система контроля за проведением ядерных испытаний.

Система включает восстановленные, модернизированные и заново построенные в период 1994-2002 гг. геофизические станции, систему коммуникаций, а также созданный в 1999 г. Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ).

В настоящее время в систему наблюдений входит несколько сейсмических групп: большебазовая группа Боровое (BRVK, CHK, ZRN, VOS), новые

группы AS057 «Боровое», PS023 «Маканчи» Международной системы мониторинга, Курчатова (KURR), Каратау (KKAR), трехкомпонентные сейсмические станции Маканчи, Актюбинск, Талгар и Подгорное.

Кроме сейсмических, в систему наблюдения входят инфразвуковые группы - в Курчатове, Боровом, а также новая инфразвуковая группа IS31 «Актюбинск» Международной системы мониторинга.

На рисунке 1 показано расположение действующих станций наблюдения Национального ядерного центра Республики Казахстан.

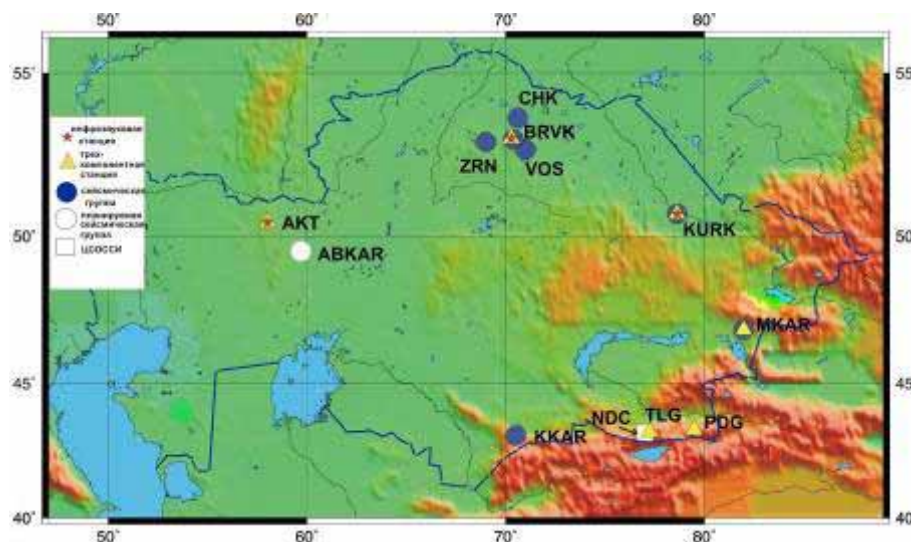


Рисунок 1. Схема расположения сейсмических станций Национального ядерного центра Республики Казахстан

Казахстанские станции Боровое, Курчатова, Маканчи, Актюбинск были созданы в советское время специально для контроля за ядерными испытаниями, проводимыми в различных районах земного шара. Эти станции широко известны в мире из-за уникальных сейсмогеологических условий их размещения, которые обеспечили чрезвычайно высокую чувствительность станций, позволяющую регистрировать

даже очень слабые сейсмические сигналы. Станции были переданы Казахстану в 1994 г. и явились основой будущей сети мониторинга НЯЦ РК.

С 1994 г. в рамках Соглашения между Консорциумом университетов IRIS (США) и НЯЦ РК действовала Совместная Сейсмическая Программа (JSP). Основная идея Программы состояла в конструктивном использовании средств мониторинга

ядерных испытаний, оставленных в Казахстане после вывода из него воинских частей, и их модернизации. В течение 1994-1996 гг. в соответствии с JSP проведено техническое переоснащение, а, по существу, восстановление двух сейсмических и инфразвуковых групп - Курчатова и Боровое, и двух трехкомпонентных сейсмических станций – Актюбинск и Маканчи. В настоящее время из станций системы IRIS в Казахстане продолжают работу три станции: в Боровом и Курчатове - IRIS/IDA и в Маканчи - IRIS/GSN.

Сейсмическая группа «Курчатова» представляет собой систему «Крест», состоящую из 21 элемента, расположенных вдоль двух ортогональных линий. Расстояния между элементами группы 2, 25 км. Группа относится к среднебазовым, ее апертюра 22,5 км. Глубина скважин, в которых размещены датчики, - 35 - 55 м.

Сейсмическая группа «Боровое» представляет собой систему типа «треугольник», состоящую из трех подгрупп (так называемых ожерелий) – «Восточное», «Зеренда», «Чкалово», и центрального пункта «Боровое». Каждое из ожерелий – это шесть однокомпонентных вертикальных сейсмометров, расположенных по окружности диаметром 6 км с одной трехкомпонентной станцией в центре. Вся группа относится к классу большебазовых, поскольку ее апертюра превышает 100 км.

Новый этап в развитии Казахстанской системы мониторинга начался в 1996 г. после подписания Казахстаном ДВЗЯИ. По предложению Республики Казахстан казахстанские станции – четыре сейсмические и одна инфразвуковая, – были включены в перечень станций Международной Системы Мониторинга (МСМ), создаваемой для контроля ядерных испытаний в рамках ДВЗЯИ. С этого времени развитие казахстанской сети ведется в соответствии с требованиями, разработанными Организацией ДВЗЯИ.

Подписание Казахстаном ДВЗЯИ активизировало интерес международного сообщества к сотрудничеству с Казахстаном в области мониторинга ядерных испытаний. Весной 1997 г. НЯЦ РК подписал с МНТЦ крупный трехлетний контракт на модернизацию существующих сейсмических станций контроля и создание в Казахстане Центра данных. Осенью 1997 г. было подписано Соглашение между Казахстаном и США о строительстве и поддержке станций мониторинга ядерных испытаний в Казахстане. И, начиная с 1997 г, Казахстан очень тесно сотрудничает с Временным Техническим Секретариатом ОДВЗЯИ по всем направлениям деятельности, связанной с выполнением ДВЗЯИ.

В Казахстане, в числе одной из первых стран, начато строительство новых станций Международной системы мониторинга, которое идет достаточно быстрыми темпами. Так, в течение 1999 –2000 гг. построена (совместно с ВТС ОДВЗЯИ и АФТАС,

США), введена в эксплуатацию в режиме тестирования и в январе 2002 г. сертифицирована первичная площадная сейсмическая группа PS 023 «Маканчи» в Восточном Казахстане. Она расположена примерно в 25 километрах от старой сейсмической станции. Группа PS 023 «Маканчи» состоит из 9 элементов, расположенных по двум концентрическим окружностям. Апертюра группы - 4 км. В 9 скважинах на глубине примерно 30 м установлены однокомпонентные вертикальные сейсмометры. В одной скважине на глубине 61 м установлен трехкомпонентный сейсмометр. Такая же трехкомпонентная сейсмическая станция установлена на поверхности земли. Вся информация в пределах группы собирается в центральный пункт по радиотелеметрическим каналам, а затем по спутниковым каналам связи передается в ЦСОСЦИ в г. Алматы, а оттуда – в Международные центры данных.

Ввод в действие сейсмической станции PS 023 «Маканчи» явился очень важным событием для Казахстана, поскольку станций такого уровня в мире всего 50 и их информация является основой для мониторинга ядерных взрывов и землетрясений.

С осени 2000 г. проведено обследование и начато строительство новой сейсмической группы AS057 «Боровое». В ее составе также 9 однокомпонентных элементов, расположенных в скважинах и одна трехкомпонентная станция. Апертюра группы равна 3 км. Открытие станции состоялось в августе 2002 г. Эта станция входит в число 120 станций вспомогательной системы сейсмического мониторинга МСМ и является одной из 10 станций этой системы, определенных в качестве запасных станций для основной сети мониторинга.

В 2002 г. построена и начала работу в режиме тестирования новая инфразвуковая станция IS31 «Актюбинск». Таких станций в Международной системе мониторинга будет 60. IS31 «Актюбинск» представляет собой систему, состоящую из 8 элементов, апертюра группы 2 км.

По соглашению с правительством США создана сейсмическая группа «Каратау» в Южном Казахстане. Ее открытие состоялось в июне 2002 г. По своей конфигурации и аппаратурному оснащению станция «Каратау» является полным аналогом сейсмической группы PS023 «Маканчи».

В продолжение работ по созданию станций мониторинга совместно с США принято решение о строительстве новой сейсмической группы в Западном Казахстане. В 2002 г. проведено несколько этапов полевых исследований. С учетом геологических условий выбраны альтернативные площадки под размещение сейсмической группы, проведены регистрация сейсмических шумов и анализ результатов, установлены места для бурения аппаратурных скважин, проведено рекогносцировочное бурение.

Таким образом, сеть станций НЯЦ на территории Казахстана уже в настоящее время является доста-

**СИСТЕМА ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА, СОЗДАННАЯ
В НАЦИОНАЛЬНОМ ЯДЕРНОМ ЦЕНТРЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН, И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ**

точно представительной, а после завершения строительства и сертификации новых станций Казахстан войдет в число стран, обладающих одной из самых современных систем геофизического мониторинга.

Органичной составной частью Казахской системы мониторинга является созданный в 1999

году и развиваемый Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации, расположенный в г. Алматы. На рисунке 2 показана схема системы коммуникаций ЦОССИ и станций наблюдения НЯЦ РК.

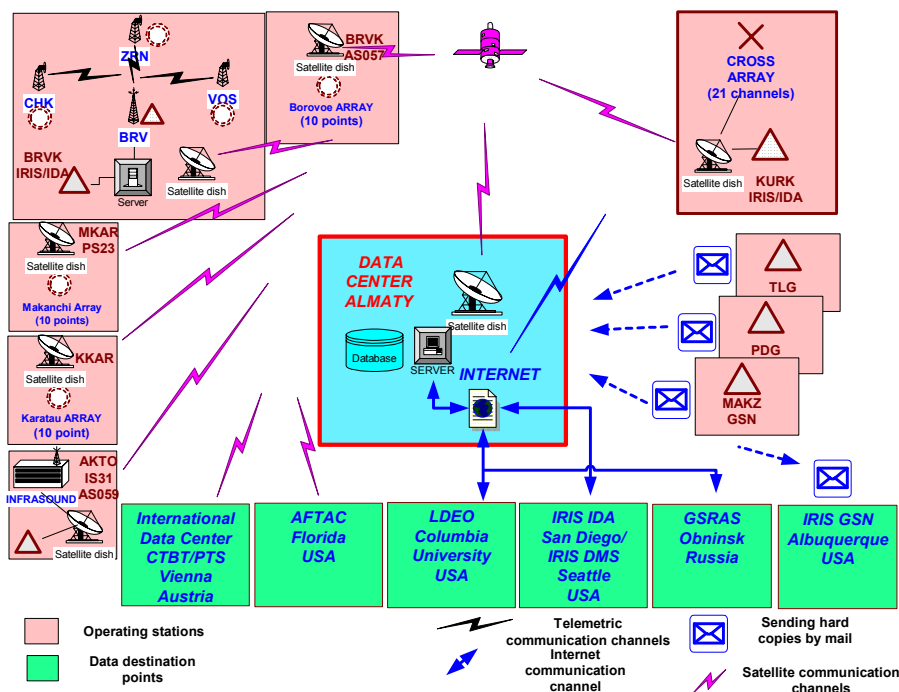


Рисунок 3. Схема коммуникаций системы мониторинга НЯЦ РК

Как видно из рисунка 2, уже сейчас ЦОССИ с помощью спутниковых и радиорелейных каналов связан как со станциями наблюдений Боровое, Курчатова, Маканчи, Каратау, Актюбинск, так и с Международными и Национальными центрами данных. Станционные данные в режиме реального времени поступают в ЦОССИ и передаются в Международные центры IDC (Вена, Австрия), IRIS/DMC, (Сиэтл, США), а также в AFTAC (Флорида, США). В режиме срочных донесений поддерживается тесная связь с центром данных Российской геофизической службы в г. Обнинске. В свою очередь, из Международных центров в ЦОССИ поступают результаты совместной обработки данных всех станций мировой системы мониторинга в форме каталогов землетрясений, сейсмологических бюллетеней, имеется доступ к сейсмическим записям мировых систем мониторинга. Тем самым казахстанская система мониторинга ядерных испытаний реально интегрирована в мировую сеть сейсмического мониторинга и получает от этой системы своевременную информацию для анализа событий и научных исследований.

В ЦОССИ осуществляется обработка всех данных, поступающих в режиме реального времени, с целью создания сейсмологического бюллетеня. Об-

работка данных производится в двух режимах – автоматическом и интерактивном. Для автоматической обработки данных – автоматического детектирования и локализации событий, - используются программные комплексы, любезно предоставленные и установленные в ЦОССИ специалистами Норвежского центра NORSAR. Результатом автоматической обработки данных является автоматический сейсмологический бюллетень, создаваемый сразу же после происшедшего события и помещаемый на web-страницу ЦОССИ (www.kndc.kz).

Интерактивная обработка данных проводится аналитиками ЦОССИ. Она осуществляется для территории Казахстана, Центральной и Южной Азии. Для этого используется программный пакет Seatools, предоставленный Национальным центром данных США. Результатом интерактивной обработки является оперативный сейсмологический бюллетень, создаваемый через 1-2 суток после события. Он также помещается на web-страницу и сопровождается соответствующей картой эпицентров событий.

Для исследовательских целей в ЦОССИ создаются базы данных по различным аспектам сейсмического мониторинга. Прежде всего – это база исходных цифровых сейсмических записей за весь

период работы станций в составе НЯЦ РК, начиная с 1994 г. База исходных данных создана в формате SEED-архивов, удобном для хранения и обмена информацией. Кроме того, - это база данных записей ядерных взрывов (в том числе и архивных), база данных записей калибровочных взрывов 1997-2000г.г. на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне. На основе собранных данных ведутся совместные научные работы с зарубежными и международными организациями по методам распознавания сейсмических событий, увеличению достоверности и точности их локализации и др.

Благодаря пространственно распределенной системе наблюдений, использованию преимуществ сейсмических групп при обнаружении сигналов и локализации событий, станции НЯЦ РК обладают большими возможностями в достижении различных целей.

Во-первых, - по прямому назначению этих станций для решения проблем национальной безопасности страны и выполнения обязательств Республики перед мировым сообществом.

Во-вторых, - в интересах Казахстана для регистрации землетрясений в местах, недоступных сети наблюдений Института сейсмологии МОН РК. Это позволяет составлять сейсмологический бюллетень для всей территории Республики и территории со-

предельных стран. Благодаря этому только в последние годы удалось выявить ряд сейсмически активных районов на территориях, традиционно считавшихся асейсмичными (вблизи курорта Боровое, в Центральном Казахстане, вблизи Семипалатинского испытательного полигона и др.). Эта информация важна для уточнения карт сейсмического районирования Казахстана, для обеспечения сейсмической безопасности наиболее ответственных объектов.

В-третьих, - для развития различных исследовательских программ. По данным мониторинга, хранящимся в созданных базах данных, уже сейчас получены важные результаты:

- уточнен годограф и скоростная модель для Центрального Казахстана;
- изучена связь энергетических и магнитудных характеристик с мощностью химических взрывов;
- изучена структура поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии в районе Семипалатинского испытательного полигона;
- усовершенствованы методы распознавания землетрясений и взрывов и др.

Начаты научно-исследовательские работы по сейсмической калибровке новых станций мониторинга.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНДА ҚҰРЫЛҒАН ГЕОФИЗИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГТІҢ ЖҮЙЕСІ ЖӘНЕ ОНЫҢ МҮМКІНШІЛІГІ

¹⁾Ш.Т. Тухватулин, ¹⁾Л.Н. Тихомиров, ²⁾Н.Н. Беляшова, ²⁾Н.Н. Михайлова, ²⁾В.Н. Демин, ²⁾В.Г. Марченко, ²⁾И.И. Комаров

¹⁾Қазақстан Республикасы ұлттық ядролық орталығы, Курчатов қ.
²⁾ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ.

Соңғы жылдарда Қазақстан Республикасы ұлттық ядролық орталығының құрамында ядролық сынауларды және жерсілкінулерін бақылау үшін қазіргі заманның сейсмикалық және инфрадыбыстық станцияларының жүйесі құрылған. Станциялардың бір бөлігі Ядролық сынауларға бәрін сыйдыратын тиым салу туралы Келісімнің ұйымы құрып жатқан Халықаралық мониторинг жүйесіне, екіншісі – сейсмикалық бақылауының глобалдік жүйесіне кіреді. Алматы қ. Дерктер орталығы сол станциялар бойынша деректер жинауын, өңдеуін, сақтауын, Халықаралық және өзге Ұлттық орталықтарымен айырбастасуын жүзеге асырады. Мониторинг нәтижелері әртүрлі қолданбалы және ғылыми-зерттеу мәселелерін шешу үшін пайдаланады.

GEOPHYSICAL MONITORING SYSTEM CREATED IN NATIONAL NUCLEAR CENTER OF REPUBLIC OF KAZAKHSTAN AND ITS CAPABILITIES

¹⁾Sh. T. Tukhvatulin, ¹⁾L. N. Tihomirov, ²⁾N. N. Belyashova, ²⁾N. N. Mikhailova, ²⁾V. N. Demin, ²⁾V. G. Marchenko, ²⁾I. I. Komarov

¹⁾National Nuclear Center of RK, Kurchatov
²⁾Institute of Geophysical Research of NNC RK, Kurchatov

Modern system of seismic and infrasound stations to control nuclear tests and earthquakes was created during last years as a part of National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan. Some of these stations are included in International Monitoring System created by Comprehensive Test Ban Treaty Organization while others are included in global networks of seismic monitoring. Data Center in Алматы collects, process, stores, and exchanges these stations' data with international and other national data centers. Monitoring results are used for solving different practical and scientific research tasks.

УДК 550.34(574.5)

НОВАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ГРУППА «КАРАТАУ» В КАЗАХСТАНЕ

Марченко В.Г., Неделков А.И., Комаров И.И.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК

В течение 2001-2002 гг. проведены работы по строительству и вводу в эксплуатацию новой сейсмической группы «Каратау» в Казахстане. В статье приводится краткая характеристика этой группы и описывается организация ее связи с Центрами данных.

В соответствии с «Соглашением между Республикой Казахстан и Соединенными Штатами Америки об установке и эксплуатации в Казахстане станций сейсмического мониторинга ядерных испытаний» от 18.11.1997 г, а также в рамках контракта НЯЦ РК с компанией «Honeywell», Air Force Technical Applications Center (AFTAC) в Южном Казахстане построена новая сейсмическая группа «Каратау». Открытие этой станции, являющейся

важным звеном в системе мониторинга НЯЦ РК, состоялось в 2002 г.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ГРУППЫ КАРАТАУ

Сейсмическая группа «Каратау» располагается в 90 км к западу от г. Тараз и в 8-10 км от г. Каратау, являющегося районным центром Таласского района Жамбылской области Казахстана (Рис.1).

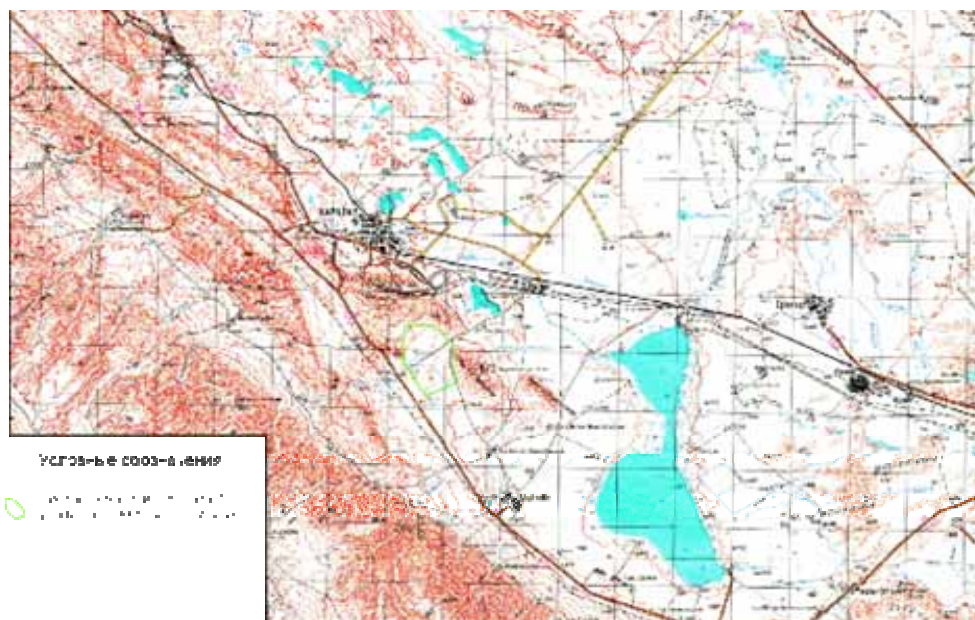
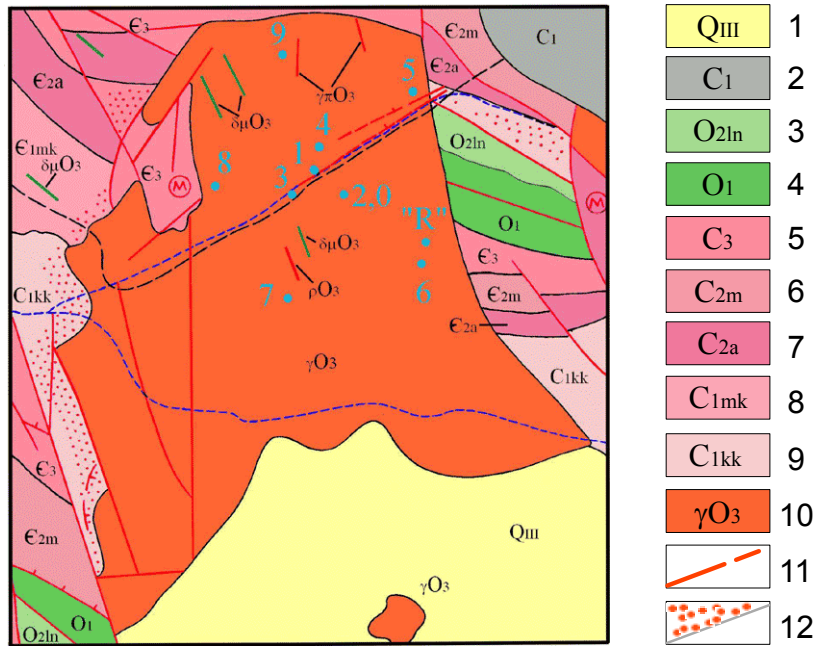


Рисунок 1. Обзорная карта района размещения сейсмической группы «Каратау»

Участок находится в долине Арбатас, которая с севера ограничена горами Актау и Булттытун, с востока горами Жетимшоқы, с запада и юго-запада - горами Каратау. На юго-востоке долина Арбатас выходит к озеру Бийликколь. Долину пересекает автомобильная дорога с асфальтовым покрытием сообщения г. Тараз - г. Каратау - г. Жанатас. Площадка сейсмостанции находится на восточном

склоне долины. Рельеф долины слабо холмистый, средняя высотная отметка 530 м над уровнем моря.

В геологическом плане долина Арбатас представляет собой гранитный массив, сложенный лейкократовыми гранитами верхнеордовикского возраста (γO_3). Сейсмическая группа размещена в северо-восточной части гранитного массива (Рис. 2).



1 – аллювиальные и пролювиальные верхнечетвертичные отложения; 2 – песчаники, известняки, мергели нижнего отдела каменноугольной свиты; 3 – доломиты, известняки среднего отдела ордовикской системы; 4 – доломиты, известняки, кремнистые сланцы нижнего отдела ордовикской системы; 5 – доломиты верхнего отдела кембрийской системы; 6, 7 – доломиты, известняки среднего отдела кембрийской системы; 8, 9 – песчаники, глинистые сланцы нижнего – отдела кембрийской системы; 10 – лейкократовые граниты; 11 – разрывные нарушения; 12 – ороговикование.

Рисунок 2. Геологическая карта участка расположения сейсмической группы Каратау

Вмещающими породами для гранитного массива являются полимиктовые песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, конгломераты, песчаники, туфы, кремни, доломиты нижнего кембрия (C₁), доломиты и известняки среднего и верхнего кембрия (C₂₋₃), а также доломиты, известняки, алевролиты и кремнистые сланцы нижнего – среднего ордовика (O₁₋₂). На контакте с гранитами доломиты и известняки превращены в мраморы, другие породы ороговикованы. Юго-западная часть гранитного массива имеет тектонические контакты с вмещающими породами кембрия и приурочена к Каратаускому региональному разлому. Южная часть гранитного массива перекрыта верхнечетвертичными аллювиальными и пролювиальными отложениями.

Конфигурация группы и аппаратурные характеристики

Сейсмическая группа «Каратау» состоит из 10 точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с одной центральной точкой (Рис. 3).

На 9 пунктах, в пробуренных скважинах, установлено 9 однокомпонентных сейсмометров GS21. Кроме того, имеется одна широкополосная трех-

компонентная станция с сейсмометром KS5400 (КК31). Координаты и характеристики скважин, в которых установлены сейсмометры, приведены в таблице 1.

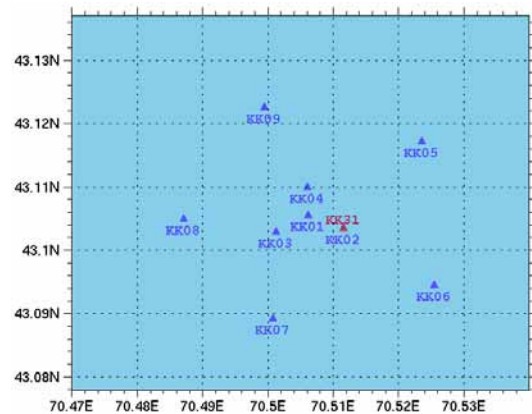


Рисунок 3. Схема расположения сейсмических точек наблюдения

НОВАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ГРУППА «КАРАТАУ» В КАЗАХСТАНЕ

Таблица 1. Координаты приборных скважин и технической площадки сейсмической группы «Каратау»

№ п/п	Номер скважины	Абсолют. отметка, м	Координаты	Глубина скважин, м	Размер площадки, м x м	Расстояние до площадки R, м	Расстояние до скважины S-1, м
1	КК-01 (центр)	524,96	43° 06' 18,3" N 70° 30' 24,0" E	50,4	30 x 30	1875,3	-
2	КК-02	521,39	43° 06' 11,2" N 70° 30' 43,2" E	50,4	30 x 30	1395,6	500,0
3	КК-31 (в 7 м от КК-02)	521,16	43° 06' 12,2" N 70° 30' 41,2" E	60,4	-	1393,3	500,0
4	КК-03	529,01	43° 06' 09,3" N 70° 30' 06,0" E	50,4	30 x 30	2140,5	500,0
5	КК-04	523,33	43° 06' 34,4" N 70° 30' 23,5" E	50,4	30 x 30	2178,5	500,0
6	КК-05	509,95	43° 07' 00,3" N 70° 31' 27,0" E	50,4	30 x 30	2217,3	2000,0
7	КК-06	533,96	43° 05' 38,9" N 70° 31' 33,2" E	50,4	30 x 30	316,5	2000,0
8	КК-07	526,29	43° 05' 20,6" N 70° 30' 03,2" E	50,4	30 x 30	2259,5	1800,0
9	КК-08	543,07	43° 06' 14,6" N 70° 29' 15,5" E	50,4	30 x 30	3294,7	1500,0
10	КК-09	546,25	43° 07' 19,5" N 70° 30' 00,0" E	50,4	30 x 30	3539,1	2000,0
11	R (техническая площадка)	537,27	43° 05' 48,9" N 70° 31' 37,0" E	-	50 x 50	-	1850,0
12	Гидрогеологическая (на площадке R)	537,27	43° 05' 49,9" N 70° 31' 34,6" E	51,0	-	-	1850,0

Амплитудно-частотные (а, в) и фазовые (б, д) характеристики приборов приведены на рисунке 4 а, б – для сейсмоприемников GS21, на рисунке 4 в, г – для сейсмоприемника KS5400.

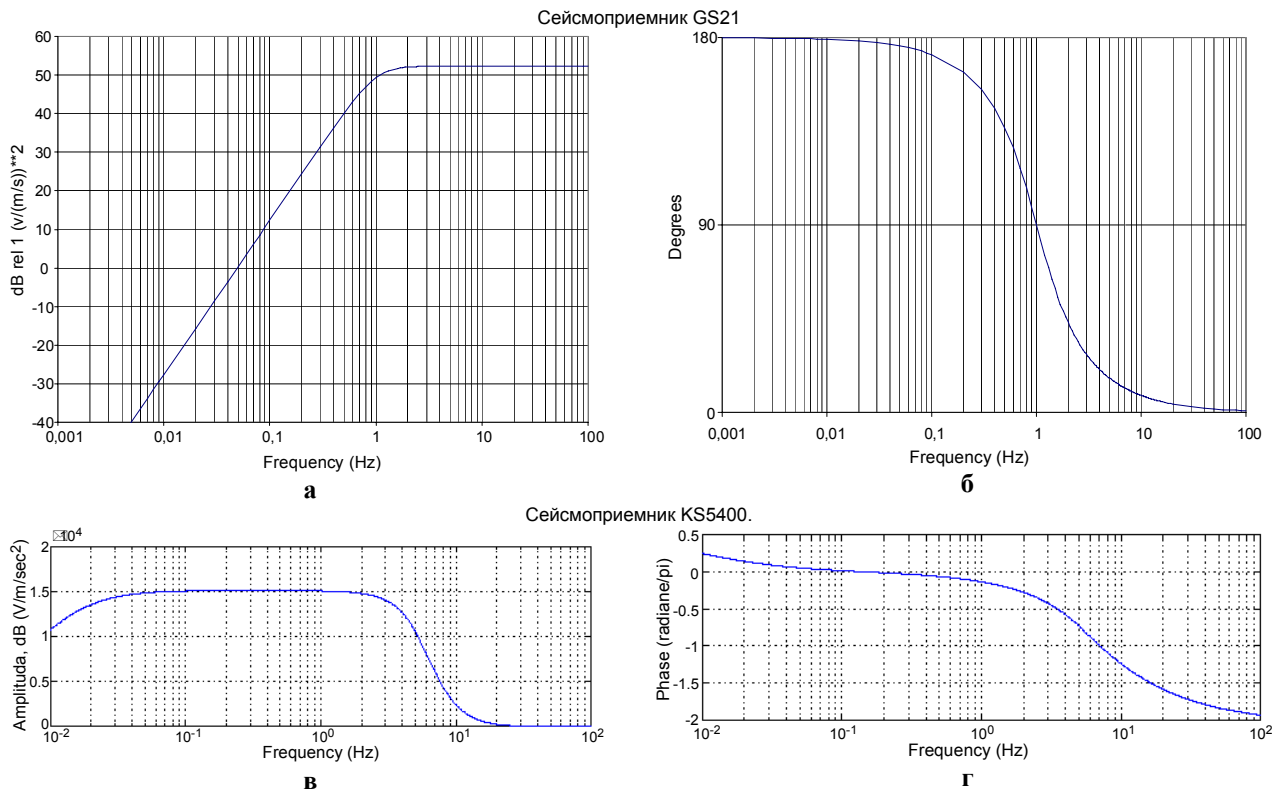


Рисунок 4. Амплитудно-частотные (а, в) и фазово-частотные (б, г) характеристики сейсмометров GS21 и KS5400

NEW SEISMIC ARRAY KARATAU IN KAZAKHSTAN

V.G. Marchenko, A.I. Nedelkov, I.I. Komarov

Institute of Geophysical Research of NNC RK, Kurchatov

Works on construction and putting in operation of new seismic array Karatau, Kazakhstan have been completed during 2001-2002. The paper shortly describes the array characteristic and its communications organization with the Data Centers.

УДК [534.6+550.388](574.13)

НОВАЯ ИНФРАЗВУКОВАЯ СТАНЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА В КАЗАХСТАНЕ IS31 «АКТЮБИНСК»

Демин В.Н., Кунаков В.Г., Смирнов А.А.

Институт геофизических исследований ИЯЦ РК

В соответствии с ДВЗЯИ создается международная система мониторинга. Инфразвуковая станция, недавно построенная вблизи г. Актюбинска, является элементом этой системы. В статье описана конструкция станции, приведены примеры сигналов, зарегистрированных ею.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Протоколу к Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) Международная система мониторинга (МСМ) включает, наряду с сейсмическими, гидроакустическими и радионуклидными станциями, размещенными по всей территории земного шара, 60 инфразвуковых станций (Рис.1) [1].

В инфразвуковой группе для регистрации инфразвуковых колебаний в качестве датчиков используют микробарографы, которые позволяют обнаруживать низкочастотные колебания давления воздуха в атмо-

сфере, вызванные естественными и антропогенными явлениями. Наблюдения ведутся обычно в диапазоне частот от долей Герца до десятков Герц. Международный центр данных в Вене (МЦД) использует эти инфразвуковые данные для локализации и идентификации техногенных явлений, таких как взрывы, в первую очередь, связанные с ядерными испытаниями, запуски ракет и сверхзвуковых самолетов, попадающий в плотные слои атмосферы и сгорающий в ней космический мусор, а также природных явлений, таких как падение метеоритов, извержения вулканов, метеорологические события [2].

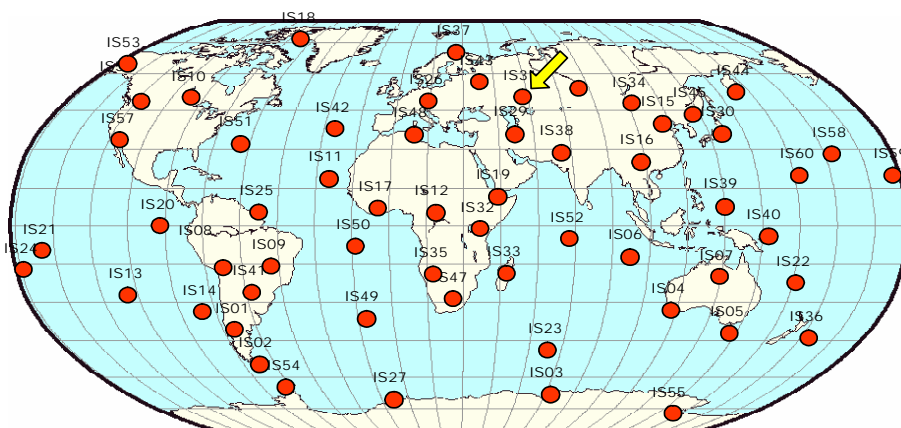


Рисунок 1. Инфразвуковая сеть Международной системы мониторинга

Одной из станций этой системы мониторинга является инфразвуковая группа IS31 «Актюбинск». Она расположена на северо-западе Казахстана вблизи г. Актюбе (Рис. 2). Сооружение станции было завершено в 2001 г. Первые данные были зарегистрированы в октябре 2001 г.

В плане инфразвуковая группа IS31 «Актюбинск» представляет собой треугольник, образованный низкочастотными элементами L2 – L4, со стороной 2 км и с центральной точкой, окруженной дополнительной высокочастотной группой элементов, выполненной в виде квадрата со стороной около 200 м (Рис. 3).

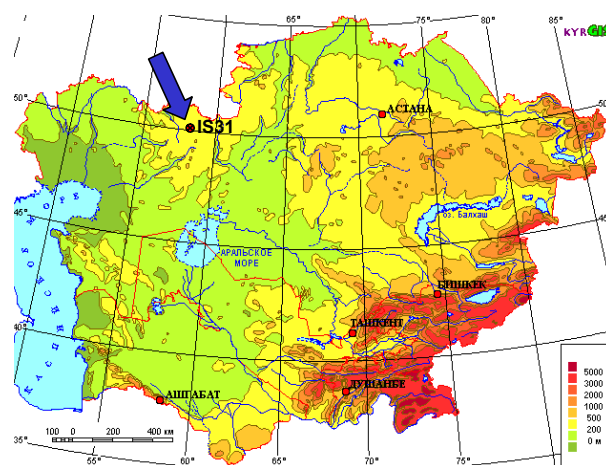


Рисунок 2. Географическое положение инфразвуковой группы IS31 «Актюбинск»

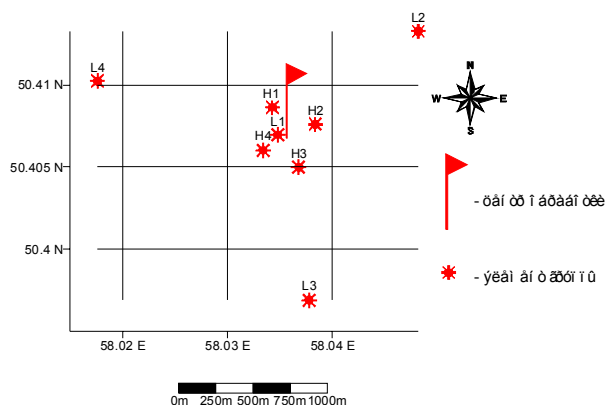


Рисунок 3. Схема расположения элементов инфразвуковой группы IS31

АППАРАТУРНОЕ ОСНАЩЕНИЕ

Основными устройствами, регистрирующими инфразвуковые колебания, является система микробарометров. На станции используется 8 микробарометров MB 2000, по одному на каждый элемент. Общеизвестно, что изучение акустических сигналов в атмосфере требует подавления шума, вызываемого турбулентностью атмосферы. Для того чтобы избавиться от высокочастотного шума в точке приема, вызываемого различным источниками, например, ветром, применяют метод интегрирования акустической энергии сигнала по площади. При этом, некоррелированный в пространстве высокочастотный шум подавится, в отличие от коррелированного низкочастотного сигнала. Соответственно увеличится отношение сигнал/шум. Система шумоподавления

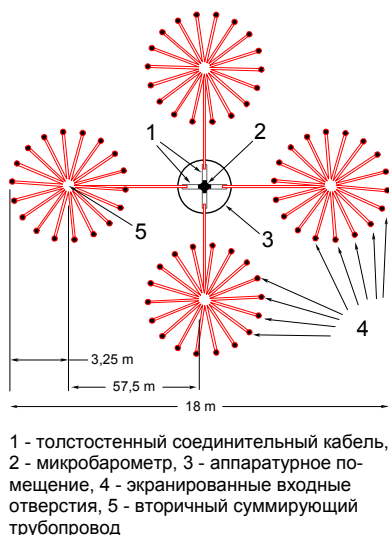


Рисунок 4. Конструкция устройства шумоподавления высокочастотных каналов

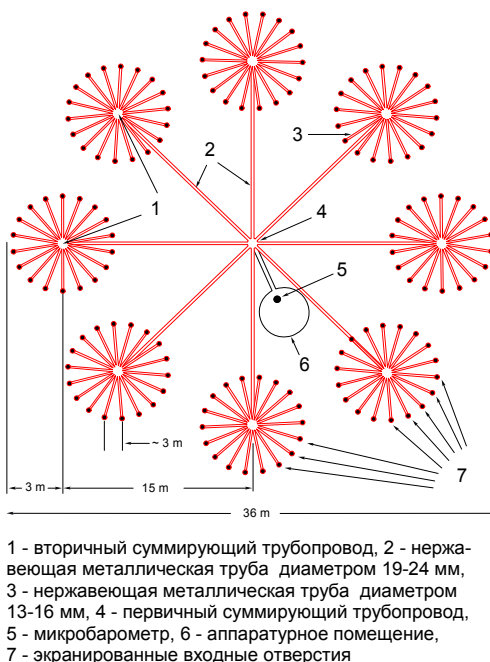


Рисунок 5. Конструкция устройства шумоподавления низкочастотных каналов

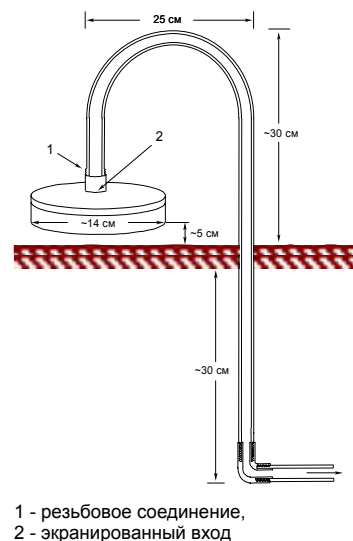


Рисунок 6. Конструкция входного отверстия элемента группы

установлена на каждом из узлов. Применяются помехоподавляющие устройства двух типов. На рисунке 4 изображена система шумоподавления высокочастотных каналов (H), на рисунке 5 – система шумоподавления низкочастотных каналов (L). Конструкция отдельного входного отверстия элемента группы представлена на рисунке 6 [3].

Эффективность работы применяемых устройств проиллюстрирована на рисунке 7 [3]. Очевидно уменьшение плотности энергии, особенно в относительно высокочастотной области, соответствующей ветровым помехам.

На станции IS31 «Актюбинск» сигнал с выхода микробарометра подается на 24-битный одноканальный АЦП с аутентификатором фирмы Aubrasc. Все процессы АЦП синхронизируются со службой точного времени. Для этого используются возможности системы глобального позиционирования (GPS). При обработке инфразвуковых данных очень важна информация о местных погодных условиях. Для непрерывного получения метеоданных, таких как, направление и скорость ветра, температура воздуха и атмосферное давление, вблизи инфразвукового датчика элемента L1 установлена метеостанция. Данные всех узлов IS31 «Актюбинск» по телеметрическим каналам поступают в блоки сбора информации Vergoys, где они проверяются, сортируются и сжимаются. В настоящее время информация каналов H и L поступает на два отдельных блока. С блоков Vergoys данные по локальной сети пересылаются на центральный процессор.

Под управлением пакета программ Opales/Cristal (для Windows NT) на центральном процессоре формируются кадры данных в формате CD1, которые затем через спутниковый канал отправляются в Международный центр данных. Кроме того, на центральном пункте исходные данные архивируются в формате ONYX.

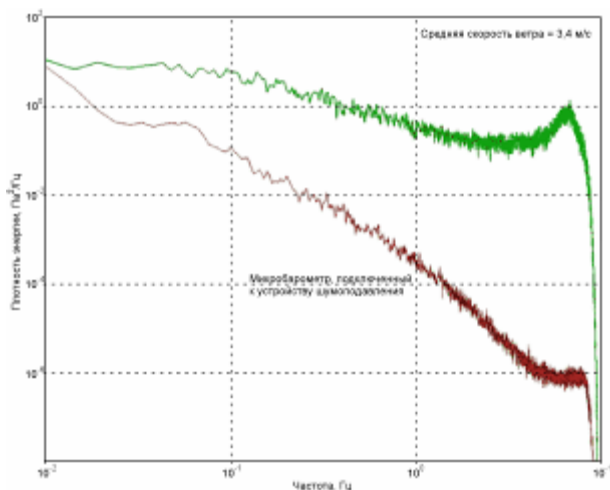


Рисунок 7. Частотные характеристики системы микробарометра с шумоподавлением (красная кривая) и без него (зеленая кривая)

Данные могут быть визуализированы и проанализированы в интерактивном режиме на месте. Для последующей детальной обработки информации используется архив записей в форматах CD1 и ONYX.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

В 2001 – 2002 гг. инфразвуковая группа эксплуатировалась в режиме тестирования, которое позволило выявить некоторые недоучтенные особенности, связанные с климатом северного Казахстана. В зимнее время доступ к оборудованию и передвижение между элементами группы оказались затрудненными из-за выпадения большого количества снега (Рис. 8). Оледенение сенсоров датчика скорости/направления ветра приводило к отказам в работе этого узла метеостанции. Предполагается заменить датчик другим, более пригодным к работе в зимних условиях. Весной в результате таяния снега произошло затопление элементов группы (Рис. 9). Для борьбы с такими явлениями шумоподавляющую систему предполагается разместить на насыпи из гравия. В процессе эксплуатации инфразвуковой группы была обнаружена также недостаточная эффективность системы подавления ветровых помех. Для решения этой проблемы решено установить дополнительные антирезонансные устройства.



Рисунок 8. Особенности эксплуатации станции в зимнее время



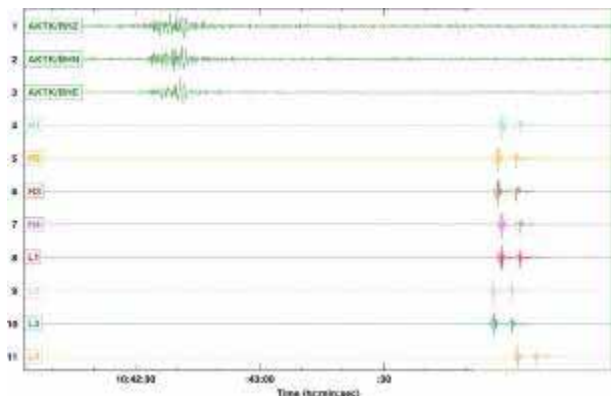
Рисунок 9. Особенности эксплуатации станции в весеннее время

ИНФРАЗВУКОВЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные группы IS31 «Актюбинск» получены и накапливаются с осени 2001 г. За время тестирования группы удалось зарегистрировать значительное число местных и удаленных событий. На рисунках 10 и 11 приведены примеры записи инфразвуковых сигналов, полученных инфразвуковой группой. Частота дискретизации сигнала – 20 Гц. Для визуализации и обработки взяты данные, хра-

нящиеся на станции в формате ONYX. После преобразования в формат GSE эти данные были обработаны пакетом GeoTool в Центре данных в г. Алматы. На рисунке 10 приведены записи карьерных взрывов. Азимут, оцененный по временам вступления инфразвуковой волны на разных элементах группы, хорошо совпал с известным азимутом на карьер вблизи г. Хромтау, где произведен взрыв. Примерно за 1.5 минуты до инфразвуковых сигналов на запи-

сях сейсмической станции «Актюбинск» НЯЦ РК, расположенной вблизи инфразвуковой группы IS31 «Актюбинск», четко выделяется сигнал от этого же источника. Оценка расстояния, произведенная по разности времен вступления продольных и поперечных сейсмических волн, свидетельствует о том, что источник действительно располагался в районе названного карьера.



Верхние три канала – сейсмические, остальные – инфразвуковые

Рисунок 10. Записи сигналов от карьерных взрывов

На рисунке 11 приведена запись инфразвукового сигнала, полученная через 30 минут после запуска ракеты (Циклон М на космодроме «Байконур»). Оценка азимута события по вступлениям инфразвукового сигнала и характерная форма сигнала с большой вероятностью позволяют предположить, что источником зарегистрированного сигнала является инфразвук, генерированный при запуске ракеты «Циклон М».

ЛИТЕРАТУРА

1. Alberto Veloso and Staff of the IMS-Infrasound Section. Progress on the Establishment of the CTBT IMS-Infrasound Network. // Infrasound Technology Workshop. Kailua-Kona, Hawaii, November 2001
2. The Global Verification Regime and the International Monitoring System ISBN 92-95021-06-1 / Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO), 2001
3. Douglas Christie, Paola Campus and André Langlois. Wind – noise reducing pipe arrays for IMS infrasound stations. // Infrasound Technology Workshop. Kailua-Kona, Hawaii, November 2001

ЯСБТК ХАЛЫҚАРАЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІНІҢ ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖАҢА ИНФРАДЫБЫСТЫҚ IS31 «АҚТӨБЕ» СТАНЦИЯСЫ

В.Н. Демин, В.Г. Кунаков, А.А. Смирнов

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ.

ЯСБТК сәйкес халықаралық мониторинг жүйесі құрылып келеді. Ақтөбе қ. жанында құрылған инфрадыбыстық станция сол жүйенің элементі болып табылады. Мақалада станцияның конструкциясы сипатталады, онымен тіркелген сигналдардың үлгілері келтіріледі.

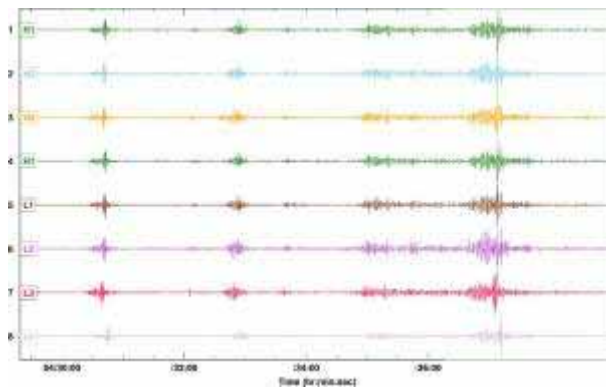


Рисунок 11. Запись, предположительного запуска космического аппарата (ракета-носитель «Циклон М», Байконур)

РЕЗЮМЕ

Эксплуатация новой инфразвуковой группы IS31 «Актюбинск» в режиме тестирования на первом этапе выявила ряд особенностей, обусловленных местными климатическими условиями. Выработаны рекомендации по устранению их негативного влияния.

Установлено, что инфразвуковая группа регистрирует множество сигналов, что свидетельствует о том, что она, безусловно, будет полезна для решения основной задачи - мониторинга ядерных испытаний.

Полученные примеры записей сигналов свидетельствуют о том, что информация, регистрируемая станцией, может быть использована для локализации и идентификации техногенных событий, таких как, например, запуски космических аппаратов, карьерные взрывы и др.

**NEW INFRASOUND STATION IS31 AKTYUBINSK
OF THE CTBT INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM**

V.N. Demin, V.G. Kunakov, A.A. Smirnov

Institute of Geophysical Research of NNC RK, Kurchatov

In compliance with the CTBT, the International Monitoring System is established. The infrasound station, recently constructed nearby Aktyubinsk City, is an element of this system. The construction of the station, examples of signals recorded by it are given in the article.

УДК 550.34:534.83

ШУМОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

¹⁾Башилов И.П., ²⁾Дараган С.К., ³⁾Кабыченко Н.В.¹⁾КБ "Геофизприбор" РАН, Москва,²⁾Институт физики земли РАН, Москва,³⁾Институт динамики геосфер РАН, Москва

В статье даются формулы для расчета шумовых характеристик сейсмического датчика с обратной связью, учитывающие его структурную схему, а также рекомендации по оптимизации структурной схемы. Приводятся унифицированные по форме представления шумовые кривые для наиболее известных российских сейсмических датчиков и сейсмических датчиков, производимых в других странах.

ВВЕДЕНИЕ

Современные сейсмические станции всё в большей степени оснащаются новыми информационно-измерительными системами, которые могут регистрировать сигналы в большом динамическом и частотном диапазонах. Это обстоятельство требует создания сейсмических датчиков, технические характеристики которых позволяли бы использовать преимущества новых систем. В связи с этим в состав сейсмометрических каналов всё чаще входят компоненты электроники, позволяющие существенно увеличить их разрешающую способность.

Расширение частотного диапазона сейсмодатчиков может идти по 2-м направлениям: снижение собственной частоты колебаний инерционной системы преобразователя или введение активной обратной связи. Второе направление в настоящее время интенсивно развивается, т.к. введение обратной связи не только расширяет диапазон рабочих частот, но и улучшает линейность всего регистрирующего тракта, что особенно важно в свете того, что используются все преимущества, предоставляемые сейсмологам новыми информационно-измерительными системами. Однако это обстоятельство не отрицает дальнейшего улучшения механической системы датчика, ибо более низкочастотный датчик позволяет достичь с помощью электроники лучших результатов.

Многие сейсмические датчики содержат значительное количество активных и пассивных электронных компонентов, шумовые характеристики которых могут вносить значительный вклад в общие шумы сейсмического канала и поэтому их учёт абсолютно необходим. Кроме того, сейсмический тракт состоит из одной или нескольких петель обратной связи, охватывающих, в том числе и механику сейсмоприёмника, поэтому такой простой метод оценки шума, как арретирование датчика и регистрация шума электроники, нельзя считать приемлемым. Экспериментальное определение шумовых характеристик приборов с электромеханической обратной связью чаще всего ограничивается уровнем микросейсм в месте их установки. В этой связи особенно актуальным является задача теоретиче-

ской оценки шума сейсмического канала. Это необходимо ещё и для того, чтобы на стадии проектирования избежать выбора параметров отдельных элементов или схемных решений, ухудшающих шумовые характеристики прибора.

В данной работе рассматривается влияние только аддитивного шума совокупности элементов, входящих в состав сейсмодатчика, на его общие шумовые характеристики, т.к. именно этот шум определяет порог чувствительности прибора при регистрации полезного сигнала.

1. ШУМОВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ДАТЧИКА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

В качестве шумовой математической модели сейсмического канала с обратной связью используем велосиметр, блок-схема и шумовые составляющие отдельных элементов которого представлены на рисунке 1.

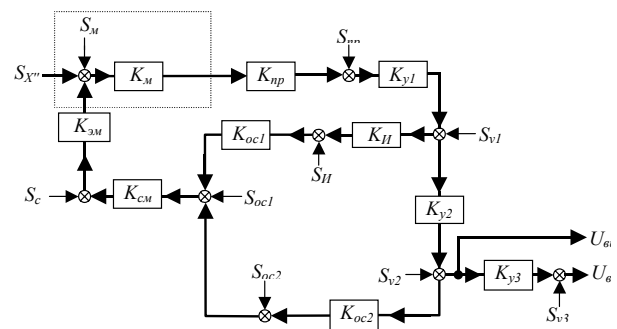


Рисунок 1. Блок-схема сейсмического датчика с емкостным преобразователем перемещение-напряжение, охваченного жёсткой, гибкой и интегрирующей обратной связью

На этом рисунке K_m – инерционная система прибора с амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) $|K_m|$; K_{pp} – преобразователь взаимного движения инерционной массы и основания с АЧХ $|K_{pp}|$; K_{y1} – инвертор и усилитель постоянного тока УПТ 1 с АЧХ $|K_{y1}|$; K_I – интегратор с АЧХ $|K_I|$; K_{y2} – инвертор УПТ 2 с АЧХ $|K_{y2}|$; K_{y3} – выходной инвертор УПТ 3 с АЧХ $|K_{y3}|$; K_{oc1} – цепь стабилизирующей обратной связи (ОС) с АЧХ $|K_{oc1}|$; K_{oc2} –

цепь жёсткой и гибкой ОС с АЧХ $|K_{oc2}|$; K_{cm} – сумматор с АЧХ $|K_{cm}|$; $K_{эм}$ – электромеханический преобразователь с АЧХ $|K_{эм}|$, преобразующий электрический ток, текущий в обмотке катушки обратной связи (ООС), во взаимное перемещение инертной массы и основания прибора; S_M – спектральная плотность шума (СПШ) механической системы в $m/(c^2 \cdot Гц^{1/2})$; $S_{пр}$ – СПШ преобразователя, приведённая к его выходу, в $B/Гц^{1/2}$; S_{y1} – СПШ инвертора и усилителя постоянного тока, приведённая к его выходу, в $B/Гц^{1/2}$; $S_{и}$ – СПШ интегратора, приведённая

к его выходу в $B/Гц^{1/2}$; S_{y2} – СПШ инвертора, приведённая к его выходу в $B/Гц^{1/2}$; S_{y3} – СПШ выходного инвертора, приведённая к его выходу в $B/Гц^{1/2}$; S_{oc1} – СПШ цепи стабилизирующей (пропорциональной интегралу напряжения сигнала) ОС, приведённая к её выходу в $A/Гц^{1/2}$; S_{oc2} – СПШ цепей жёсткой (пропорциональной напряжению сигнала) и гибкой (пропорциональной производной от напряжения сигнала) ОС, приведённая к её выходу в $A/Гц^{1/2}$; S_{cm} – СПШ сумматора, приведённая к его выходу в $B/Гц^{1/2}$. Отношение шум/сигнал описывается следующим уравнением:

$$\begin{aligned} \frac{|SU_o|^2}{|SU_{и}|^2} |S_{ш}|^2 = & |S_i|^2 + \frac{|S_{i\delta}|^2}{|K_i|^2 |K_{i\delta}|^2} + \frac{|S_{o1}|^2}{|K_i|^2 |K_{i\delta}|^2 |K_{o1}|^2} + |S_{\dot{E}}|^2 |K_{i\dot{m}}|^2 |K_{\ddot{m}}|^2 |K_{y\ddot{i}}|^2 + \\ & + |S_{o2}|^2 \frac{(1 + |K_i| |K_{i\delta}| |K_{o1}| |K_{\dot{E}}| |K_{i\dot{m}}| |K_{\ddot{m}}| |K_{y\ddot{i}}|)^2}{|K_i|^2 |K_{i\delta}|^2 |K_{o1}|^2 |K_{o2}|^2} + (|S_{i\dot{m}}|^2 + |S_{i\ddot{n}2}|^2) |K_{\ddot{m}}|^2 |K_{y\ddot{i}}|^2 + |S_{\ddot{m}}|^2 |K_{y\ddot{i}}|^2 + \\ & + |S_{o3}|^2 \frac{[1 + |K_i| |K_{i\delta}| |K_{o1}| (|K_{\dot{E}}| |K_{i\dot{m}}| + |K_{o2}| |K_{i\ddot{n}2}|) |K_{\ddot{m}}| |K_{y\ddot{i}}|]^2}{|K_i|^2 |K_{i\delta}|^2 |K_{o1}|^2 |K_{o2}|^2 |K_{o3}|^2} \end{aligned} \quad (1)$$

Теперь рассмотрим слагаемые, входящие в формулу (1).

1.1. В [5], со ссылкой на ещё более ранние работы, на примере зеркального гальванометра было показано, что механическое колебательное устройство обладает запасом тепловой энергии $kT_k^0/2$, где k – постоянная Больцмана, а T_k^0 – абсолютная температура. Из такой предпосылки выведена формула связи механического шума с эквивалентным шумовым током, определяемая параметрами этого устройства. Шумы механической части сейсмодатчика в этом же аспекте были рассмотрены в [8]. Однако авторами ещё не было введено понятия спектральной плотности шумов.

В [1] уровень кривой спектральной плотности мощности механических шумов по ускорению инерционной колебательной системы $|S_M|^2$ определён из предпосылок, что полная мощность теплового шума в полосе частот Δf , независимо от типа системы с диссипацией энергии, определяется формулой $4kT_k^0 \Delta f$. В результате преобразований для $|S_M|^2$ получено значение:

$$|S_M|^2 = 4kT_k^0 \omega_0 / M_1 Q, \quad (2)$$

где $Q^{-1} = 2\varepsilon / \omega_0 = 2D$, а M_1 – действующая масса полной инерционной массы прибора в кг.

Для приборов вращательного типа $M_I = Mr_0 / l_S$ [7], а для возвратно-поступательного прибора $M_I = M$, где: M – полная инерционная масса прибора в кг, r_0 – расстояние от оси качания до центра приложения сил прибора в м, а l_S – приведённая длина маятника в м.

После преобразований формула (2) примет вид:

$$|S_M|^2 = 16\pi k T_k^0 D / T_0 M_1, \quad (3)$$

где T_0 – период собственных колебаний инерционной массы.

Формулу (3) можно получить из других предпосылок. Если считать воздушное затухание колебаний пренебрежимо малым и что затухание датчика обеспечивается за счёт токов, наводимых в цепи демпферной катушки при движении вращательного маятника, то можно записать:

$$D = a_{i,y} / R_\Sigma, \quad \text{где } a_{i,y} = \frac{G^2 T_0}{4\pi K_S} \quad [4], \quad R_\Sigma - \text{ полное со-}$$

противление в цепи обмотки демпфирующей катушки, K_S – момент инерции маятника в $кг \cdot м^2$, а G – магнитоэлектрическая постоянная этой катушки. Отсюда:

$$R_\Sigma = \frac{G^2 T_0}{4\pi K_S D} \quad (4)$$

Напишем два дифференциальных уравнения движения механической колебательной систем вращательного типа при возбуждении внешними силами разной природы:

$$K_S \ddot{\theta} + q\dot{\theta} + B\theta = Mr_0 \ddot{\omega} \quad \text{и} \quad K_S \ddot{\theta} + q\dot{\theta} + B\theta = G I,$$

где θ – угол поворота маятника, B – момент вращающей силы, а q – момент диссипативных сил. Так как левые части уравнений идентичны, то можно записать, что $Mr_0 \ddot{\omega} = G I$.

Проведя преобразование Фурье для последнего уравнения и взяв модули спектральных плотностей, получим $Mr_0 |S_{ш}| = G |S_i|$ или $|S_{ш}| = G |S_i| / Mr_0$, т.е. модуль спектральной плотности эквивалентного ускорения пропорционален модулю спектральной

плотности тока, протекающего в цепи катушки. Но ток в цепи катушки можно выразить формулой

$$I = U/R_{\Sigma},$$

откуда $|S_I| = |S_U|/R_{\Sigma}$.

Квадрат модуля спектральной плотности напряжения теплового шума резистора с сопротивлением R_{Σ} , равен $|S_U|^2 = 4kT_k^{\circ} R_{\Sigma}$. Тогда $|S_I|^2 = 4kT_k^{\circ}/R_{\Sigma}$ или эквивалентная мощность шумового ускорения при протекании шумового тока равна:

$$|S_i|^2 = \frac{4kT_k^{\circ} G^2}{(Mr_0)^2 R_{\Sigma}}.$$

Если подставить в это уравнение значение R_{Σ} из формулы (4), то мы получим:

$$|S_i|^2 = \frac{16\pi k T_k^{\circ} D_i y K_S}{(Mr_0)^2 T_0}. \quad (5)$$

А так как $K_S = Mr_0 l_S [7]$, то после некоторых преобразований (5) переходит в (3). Как указывалось в [1], эта закономерность не зависит от типа диссипации энергии в системе, поэтому её можно распространить не только на магнитоэлектрическое, но и на воздушное затухание сейсмодатчика.

АЧХ механической системы прибора $|K_M|$, как отношение взаимного перемещения инертной массы и основания в зависимости от входного ускорения, описывается формулой:

$$|K_i| = \frac{1}{\sqrt{\omega^4 + 2\omega_0^2 \omega^2 (2D^2 - 1) + \omega_0^4}}, \quad (6)$$

где ω_0 и D – круговая частота и безразмерный коэффициент затухания собственных колебаний инертционной массы, соответственно, а ω – текущая круговая частота.

1.2. Уровень и форма спектральной кривой шума преобразователя зависят от типа преобразователя взаимного перемещения инертционной массы и основания.

1.2.1. Для преобразования по скорости взаимного перемещения в напряжение чаще всего используется электродинамическая система, т.е. подвижная катушка в неподвижном постоянном магните. Спектральная плотность мощности шума (СПМШ) такого преобразователя связан с тепловым шумом активного сопротивления обмотки и определяются формулой $|S_{np}|^2 = 4kT_k^{\circ} R_{SG}$, где: R_{SG} – активное сопротивление рабочей обмотки преобразователя; $|K_{np}| = \omega S_{SG}$, причём для вращательного маятника $S_{SG} = G_{SG}/l_S$, где G_{SG} – электродинамическая постоянная рабочей обмотки. S_{SG} имеет размерность $B \cdot c/m$.

1.2.2. Спектральную плотность шумов преобразователя перемещения рассмотрим на примере ёмкостного преобразователя, блок-схема которого приведена на рисунке 2.

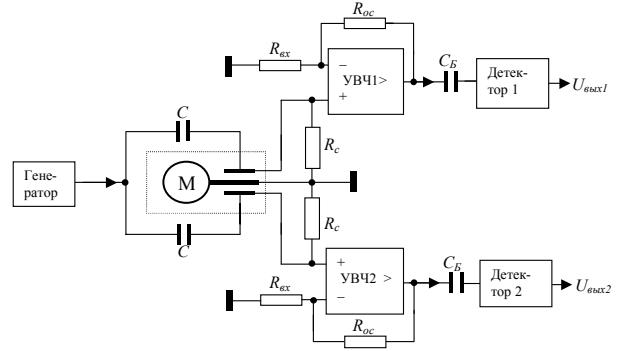


Рисунок 2. Принципиальная схема преобразователя перемещение-напряжение

Центральная пластина дифференциального конденсатора, жёстко связанная с инерционной массой, перемещается относительно статорных пластин, меняя ёмкость каждого из плеч, что приводит к изменению баланса ёмкостного моста.

Идеальный конденсатор не имеет тепловых шумов, а шумы реального связаны с конечным сопротивлением утечки. В качестве конденсаторов C используются компоненты хорошего качества, поэтому основным источником шума являются резисторы R_c , номинал которых составляет от 0.5 до 5 $МОм$.

Из активных компонентов следует учитывать шум по напряжению и шум входного тока микросхем усилителей высокой частоты УВЧ 1 и УВЧ 2. Так как частота генератора накачки составляет от нескольких кГц до нескольких МГц, а постоянная составляющая напряжения сигнала отрезается блокировочными конденсаторами $C_б$, то избыточный тепловой шум $1/\omega$ на выходах микросхем отсутствует и уровень кривой спектральной плотности постоянен.

Чтобы не шунтировать маленькую ёмкость дифференциального конденсатора и большое сопротивление резистора входным сопротивлением усилителя, сигнал высокой частоты подаётся на неинвертирующий вход ОУ, входное сопротивление которого составляет около $10^{12} Ом$, и в практических расчётах им можно пренебречь.

СПМШ любого ОУ состоит из трех слагаемых и может быть выражена формулой

$$|S_M|^2 = |S_U|^2 + |S_I|^2 + |S_R|^2, \quad (7)$$

где $|S_N|^2$ – СПМШ N-го каскада по напряжению; $|S_U|^2$ – СПМШ каскада, связанная с наличием входного шума ОУ по напряжению; $|S_I|^2$ – СПМШ каскада, связанная с наличием входного шумового тока ОУ; $|S_R|^2$ – СПМШ, связанная с тепловым шумом резисторов, входящих в состав каскада.

Таким образом, СПМШ по напряжению, приведённому к выходу преобразователя, может быть выражена формулами:

$$|S_N|^2 = |S_{i\delta}|^2; \quad (8)$$

$$|S_U|^2 = 2a_u^2 (1 + R_{i\bar{n}}/R_{\bar{a}\bar{a}})^2;$$

$$|S_I|^2 = 2a_i^2 \left\{ \frac{[R_{\bar{n}}(1 + R_{i\bar{n}}/R_{\bar{a}\bar{a}})]^2}{[1 + (\omega_a CR_{\bar{n}})^2] + R_{i\bar{n}}^2} \right\}; \quad (9)$$

$$|S_R|^2 = 8kT_k^0 (1 + R_{i\bar{n}}/R_{\bar{a}\bar{a}}) \times \\ \times \left\{ R_{i\bar{n}} + R_{\bar{n}}(1 + R_{i\bar{n}}/R_{\bar{a}\bar{a}}) / [1 + (\omega CR_{\bar{n}})^2] \right\}, \quad (10)$$

где ω_2 – круговая частота генератора высокочастотной накачки. Наличие делителя $1 + (\omega CR_I)^2$ в формулах (9) и (10) связано с учётом шунтирующего действие конденсатора C по отношению к резистору R_c . В формулах (8)-(10) учтено наличие 2-х микросхем и 2-х комплектов резисторов.

Величина $|K_{np}|$ сильно зависит от конструктивного и схемного решения преобразователя и колеблется в пределах от 10 до $2 \cdot 10^4 B/m$. Для датчиков возвратно-поступательного типа она определяется как отношение величины напряжения на выходе детектора преобразователя к перемещению центральной пластины дифференциального конденсатора относительно одной из пластин: $|K_{np}| = \Delta U_{\text{дет}} / \Delta X$ в B/m .

Для датчика вращательного типа исходные напряжение и перемещение измеряются таким же образом, а $|K_{np}|$ вычисляется по формуле:

$|K_{np}| = \Delta U_{\text{дет}} l_{\text{инд}} / I_s \Delta X$ в B/m , где $l_{\text{инд}}$ – расстояние от оси качания до того места, где измерялось ΔX .

1.3. СПМШ всех электронных каскадов учитываются с помощью формулы (7).

1.4. Коэффициент преобразования электрического напряжения в ускорение взаимного перемещения инерционной массы и основания прибора для возвратно-поступательной конструкции инерционной системы $|K_{zm}| = S_{oc} / MR_{\Sigma}$, где S_{oc} – чувствительность катушки ОС в H/A , имеет размерность $m/(B \cdot c^2)$. Для вращательной конструкции $|K_{zm}| = G_{oc} / Mr_o R_{\Sigma}$, где G_{oc} – магнитоэлектрическая постоянная катушки ОС в $H \cdot m/A$, с размерностью $m/(B \cdot c^2)$. Этот коэффициент в пределах частотного диапазона, в котором работает сейсмометрия, практически не зависит от частоты.

Как видно из рассмотрения формулы (1), спектральная плотность шума механики сейсмодатчика входит в сумму, без каких-либо поправочных множителей или делителей и не зависит от частоты.

Уровень кривой спектральной плотности шума преобразователя – второе слагаемое уравнения (1), существенно зависит от коэффициента преобразования и тем ниже, чем выше эффективность преобразователя. Кроме того, кривая является частотно-зависимой, т.к. в знаменатель слагаемого входит квадрат АЧХ инерционной системы. В том случае, когда напряжение на выходе преобразователя про-

порционально скорости взаимного перемещения массы и основания, частотная зависимость имеет вид симметричной кривой относительно ω_0 , у которой ветви поднимаются пропорционально ω^{-2} в низкочастотную область и пропорционально ω^2 – в высокочастотную. Если же напряжение на выходе преобразователя пропорционально взаимному перемещению, то кривая спектральной плотности имеет подъём пропорциональный ω^4 в сторону высокой частоты относительно ω_0 , а в сторону низкой частоты имеет плоскую часть, несмотря на наличие в составе преобразователя ОУ. Это объясняется тем, что инфранизкочастотное взаимное перемещение пластин конденсатора преобразуется в изменение какого-либо параметра сигнала высокочастотной накачки генератора, частота которого, как указывалось выше, составляет не менее нескольких кГц, и на этих частотах современные ОУ не имеют избыточного теплового шума. Влияние теплового шума резисторов, входящих в схему преобразователя, в этой области частот не зависит от частоты. Требования к шуму микросхем, включённых в преобразователь, тем ниже, чем больше $|K_{np}|$.

Третье слагаемое формулы (1) – шум первого каскада низкочастотного усилителя, входящего в петлю ОС. Коэффициент $|K_{y1}|$ в знаменателе говорит о том, что уровень спектральной кривой определяется шумом ОУ, приведённым к входу этого каскада. Так как uI не содержит реактивных элементов, параметры которых влияли бы на АЧХ в рабочем диапазоне частот, то $|K_{y1}|$ численно равен коэффициенту усиления каскада. В знаменатель этого слагаемого, как и у второго, входят $|K_m|$ и $|K_{np}|$, поэтому почти всё, сказанное для второго слагаемого, справедливо и для него. Однако наличие избыточного теплового шума микросхем ОУ усилителя и инвертора приводит к появлению у шумовой кривой ветви с наклоном ω^{-1} , причём частота, с которой начинается подъём в сторону низкочастотной области, бывает разной для входного шумового напряжения и тока и её значение зависит от типа микросхемы. Эта частота подъёма f_y , на которой постоянное слагаемое в формуле СПМШ равно слагаемому, пропорциональному f^{-1} , колеблется в пределах от единиц до $200 \div 300$ Гц.

Как и для второго слагаемого формулы (1), влияние теплового шума резисторов, входящих в каскад, не зависит от частоты в этой области частот.

Требования к шуму микросхем, включённых в состав uI , аналогичны требованиям предыдущего пункта.

4-го слагаемое формулы (1) обуславливает влияние шума интегратора, каскада, входящего в обратную ветвь петли ОС. В этом случае выходной шум каскада, через АЧХ сумматора и электромеханического преобразователя непосредственно создаёт шу-

мовое ускорение. Отсюда ясно, что микросхема ОУ интегратора должна обладать очень низким шумом.

5-ое слагаемое формулы (1), определяет влияние y_2 . Этот каскад находится в ветви прямой передачи вне петли ОС, создающей стабилизирующую ОС, но входит в прямую ветвь петли жёсткой и гибкой ОС. Поэтому слагаемое является обратной величиной АЧХ сейсмического датчика с учётом воздействия на систему петли ОС, содержащей интегратор, а также без усиления выходного усилителя y_3 , т.е., с точки зрения СПМШ каскада y_2 , к его входу подключён сейсмодатчик, константы которого определяются параметрами стабилизирующей цепи ОС, величиной массы (или статического момента) инерционной системы, а также параметрами обмотки ОС.

Требования к шуму микросхем, включённых в состав y_2 , тем ниже, чем выше коэффициент преобразования этого датчика.

6-ое слагаемое формулы (1) описывает влияние пассивных ветвей ОС, одна из которых содержит, как указывалось выше, конденсатор C_o , что ведёт к частотной зависимости СПМШ тока.

7-е слагаемое формулы (1) описывает влияние выходного шума сумматора. Этот элемент тоже входит в обратную ветвь петли ОС и отличается от интегратора только тем, что выходной шум сумматора непосредственно создаёт шумовой ток в обмотке катушки ОС. Поэтому требования к шуму сумматора аналогичны.

8-е слагаемое формулы (1) описывает влияние СПМШ каскада y_3 . Этот каскад включён в ветвь прямой передачи вне всех петель ОС. Источником сигнала для него является сейсмодатчик, константы которого определяются параметрами цепей гибкой, жёсткой и стабилизирующей ОС, величиной массы (или статического момента) инерционной системы, а также параметрами обмотки ОС.

Требования к шуму микросхем, включённых в состав y_3 тем ниже, чем выше коэффициент преобразования этого датчика.

2. ШУМОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Как видно из всего изложенного выше, в суммарном шуме тракта важнейшую роль играет шум электронных ОУ.

Ниже приводится таблица шумовых параметров разных типов импортных ОУ, наиболее часто применяемых в практике синтеза электронных схем, предназначенных для работы в инфранизком частотном диапазоне. Форма спектра мощности шума по напряжению и току описывается выражением:

$$S_o^2(f) = a^2 (1 + f_o/f). \quad (11)$$

В [10] приведены данные по шумам некоторых микросхем ОУ в виде спектральных кривых суммарного шума по току и напряжению при различ-

ных значениях внутреннего сопротивления источника сигнала, подключённого на его вход. Так как нет возможности рассмотреть все варианты, что представляется не очень удобным, в таблице 1 приведены спектральные коэффициенты для шумового напряжения и тока, а также значения угловых частот для этих же параметров, по которым можно вычислить шумовые характеристики в любом виде и для любого варианта включения.

Таблица 1.

№/№	Тип микросхемы	Напряжение		Ток	
		a_U нВ/Гц ^{1/2}	f_{Uy} Гц	a_I пА/Гц ^{1/2}	f_{Iy} Гц
1	AD620 (G=1)	73	11	0.1(.11)	37
2	AD620 (G=1000)	7.6	5	0.1(.11)	37
3	AD645	7.9(6.1)	130	0.0006	-
4	AD705	15(16)	2.9	0.042	7.8
5	AD707	9.6	1.5	0.12	66
6	AD711	6(15)	91	<0.01	-
7	AD743	2.9(3.5)	57	0.0062	230
8	AD745	2.9(5.1)	26	0.0085	120
9	AD797	0.89(.66)	27	-	-
10	AD823	13	67	0.001	-
11	LT1001	9.6(9.0)	3.8	0.12	74
12	LT1006	22.0(20)	2.0	0.032	50
13	LT1007/37	2.5(2.0)	2.6	0.37	150
14	LT1012	14.0	4.8	0.0057	120
15	LT1013/14	22.0(20)	1.9	0.013	310
16	LT1028	0.85(1.2)	3.4	0.89	270
17	LT1077	27.0(22)	0.76	0.019(.017)	110
18	LT1078/79	28.0(27)	0.73	0.019(.017)	88
19	LT1097	14.0(16)	3.1	0.007(.011)	220
20	LT1124/25	2.7(2.4)	2.4	0.27	220
21	LT1178/79	49.0(43)	0.42	0.011	95
22	LT1677	3.2	13	0.3	90
23	MAX427/37	2.4(2.1)	2.4	0.37	150
24	MAX478/79	40	0.91	0.01(.011)	100
25	MC34181	38	20	<0.01	-
26	OP(15,16,17)	14	95	<0.01	-
27	OP27E	3.0	2.7	0.36	140
28	OP90	60	5.6	0.69	17
29	OP97	17	2.9	0.0057	110
30	OP113	4.9(1.4)	34	0.34	84
31	OP177	12	0.65	0.14	75
32	OP227	3(2.7)	4.4	0.29	480
33	TC7652 (chopper)	30	-	0.01	-
34	TL031	42	28	0.003	-
35	TLC220(1,2,4)	7.8(7.3)	43	0.0006	-
36	TLE20(27,37)	2.5(1.6)	7.6	0.37	150
37	TLE2061	40(16)	21	0.001	-

Параметры, приведённые в таблице, получены из каталогов фирм производителей электронных компонентов.

Данные по спектральной плотности для некоторых микросхем, полученные в результате пересчёта экспериментально измеренного шума в полосе $0.1 \div 10$ Гц и расходящиеся с данными фирменных каталогов, приведены в скобках.

Если проинтегрировать выражение (11) в пределах от f_1 до f_2 , то получится формула для двойной

амплитуды шума при вероятности не более или равно 99.9% [3]:

$$2A = 6.6a[(f_2 - f_1) + f_y \ln(f_2/f_1)]^{1/2}. \quad (12)$$

Двойная амплитуда напряжения шума $2A$ в полосе частот $0.1 \div 10$ Гц, вычисленная по этой формуле для микросхем операционных усилителей (ОУ) разного типа, приведена в таблице 2.

Таблица 2

Тип ОУ	a_U , нВ/Гц ^{1/2}	$2A$, нВ
TLE2027	2.5	108*
AD705	15	460**
TLE 2061	40	2720***

Фактически измеренное напряжение равно: * 50 нВ, что соответствует $a_U = 1.16$ нВ/Гц^{1/2}; ** 500 нВ, что соответствует $a_U = 16$ нВ/Гц^{1/2}; *** 1100 нВ, что соответствует $a_U = 16$ нВ/Гц^{1/2}.

Определение параметров кривой по 2-м точкам графика осуществляется с использованием следующих формул: $a^2(1 + f_y/f_1) = m^2$; $a^2(1 + f_y/f_2) = p^2$, где m и p – величины спектральных плотностей, снятые с графика на частотах f_1 и f_2 , соответственно. Отсюда:

$$a = \sqrt{\frac{p^2 - m^2 f_1/f_2}{1 - f_1/f_2}}; f_\theta = \frac{f_1(m^2 - p^2)}{p^2 - m^2 f_1/f_2}.$$

Применение того или иного типа ОУ, с точки зрения минимизации шума, зависит от величины активного сопротивления источника сигнала, подключённого к её входу. Если есть возможность выбора величины этого сопротивления, как, например, при проектировании сейсмического канала, когда датчиком является электродинамический прибор, можно руководствоваться следующими соображениями:

1. При равном объёме меди в рабочих обмотках связь между чувствительностью преобразователя и величиной сопротивления рабочей обмотки определяется формулой

$$G_{SG} = \beta \sqrt{R_{SG}}, \quad (13)$$

где β – коэффициент пропорциональности.

2. Отношение квадратов напряжений сигнал/шум с учётом (13) определяется формулой:

$$\Psi^2 = \frac{G_{SG}^2 V^2}{U_{\Sigma\theta}^2} = \frac{\beta^2 R_{SG} V^2}{U_\theta^2 + I_\theta^2 R_{SG}^2 + 4kT_K^\circ R_{SG} \Delta f}, \quad (14)$$

где V – скорость взаимного перемещения инерционной массы и основания прибора, а Δf – ширина полосы АЧХ прибора. Наилучшее отношение сигнал/шум достигается при условии:

$$R_{SG} = \frac{U_\theta}{I_\theta}, \quad (15)$$

где U_θ и I_θ вычисляются по формуле (15), подставляя в неё соответствующие значения a , f_y , f_1 и f_2 .

Сравним два типа ОУ, вход каждого из которых подключен к обмотке электродинамического преобразователя сейсмодатчика, причём первый имеет на входе биполярные транзисторы и обладает малым СПМШ по напряжению и большим – по току, а второй – с полевыми входными транзисторами, и для него наблюдается обратная картина.

Если подставить в (15) значение R_{SG} для первого ОУ из (14), то получим, что

$$\Psi^2 = \frac{\beta^2 V^2}{2U_{\theta 1} I_{\theta 1} + 4kT_K^\circ \Delta f} \quad (16)$$

Если предположить, что $\Psi_1^2 = \Psi_2^2$, то с учётом (14) и (16) можно записать:

$$\frac{\beta^2 V^2}{2U_{\theta 1} I_{\theta 1} + 4kT_K^\circ \Delta f} = \frac{\beta^2 R_{SG2} V^2}{U_{\theta 2}^2 + I_{\theta 2}^2 R_{SG2}^2 + 4kT_K^\circ R_{SG2} \Delta f}.$$

Из этого соотношения получим формулу для оценки величины R_{SG2} , при которой отношения сигнал/шум для обоих ОУ будут равны:

$$R_{SG2} = \left(U_{\theta 1} I_{\theta 1} - \sqrt{U_{\theta 1}^2 I_{\theta 1}^2 - U_{\theta 2}^2 I_{\theta 2}^2} \right) / I_{\theta 2}^2.$$

Проведём сравнение ОУ₁ – TLE2027 и ОУ₂ – LT1012, входы которых подключены к катушкам электродинамических сейсмодатчиков. В рабочей полосе частот $0.5 \div 40$ Гц

$$U_{\theta 1}^2 = 8.12 \times 10^{-15} \text{ А}^2; I_{\theta 1}^2 = 4.16 \times 10^{-21} \text{ А}^2;$$

$$U_{\theta 2}^2 = 5.19 \times 10^{-13} \text{ А}^2; I_{\theta 2}^2 = 8.01 \times 10^{-25} \text{ А}^2.$$

Условие (15) для ОУ₁ выполняется при $R_{SG1} = 1.4$ кОм. $R_{SG2} = 44.8$ кОм, т.е. при большем, чем эта величина, сопротивлении рабочей обмотки отношение сигнал/шум для второго ОУ будут выше. Однако для сейсмодатчика СМ-3 во втором случае придётся наматывать катушку проводом диаметром менее 0.05 мм, что создаёт технологические проблемы.

3. ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

В литературных источниках приводятся спектральные шумовые характеристики сейсмических датчиков с использованием различных способов определения: кривые СПМШ для ускорения, спектральные кривые ускорения для среднеквадратичной, пик или пик-пик амплитуды, полученных с применением 1/6-декадных или 1/2-октавных фильтров, спектральные кривые для скорости или перемещения. В качестве масштабных единиц по вертикальной оси используются децибелы или десятичный логарифм амплитуды спектра регистрируемой функции, а по горизонтальной оси – частота или период. Это обстоятельство затрудняет или делает невозможным сопоставление приборов.

Для унификации в качестве эталона была выбрана кривая СПМШ ускорения в дБ для LNM – Low Seismic Noise Model Петерсона [9–11], сконструиро-

ванная на основе изучения шумовых характеристик сейсмостанций Lajitas (Техас), Deep Springs (Калифорния) и Каркаралинск (Казахстан). Преимущество этой модели заключается в том, что в широком диапазоне периодов (от 1000 до 0.01 с) кривая практически не имеет тренда, имеет достаточно небольшие вариации амплитуды и служит хорошей оценкой качества сейсмических приборов.

Спектральные кривые тех приборов, которые приводились в ином виде, пересчитывались в СПМШ эквивалентного ускорения. В качестве примера приведём формулу для пересчёта спектральных кривых шумового ускорения пик-пик в СПМШ:

$$10 \lg(|S_{\text{ш}}|^2)_f = 20 \lg(|S_{\text{ш}}|)_f - 10[\lg(f) + \lg(\Delta) + 2 \lg(A)] \quad (17)$$

где $(|S_{\text{ш}}|^2)_f$ – значение СПМШ прибора на частоте f ,
 $(|S_{\text{ш}}|)_f$ – значение спектральной амплитуды на частоте f , Δ – коэффициент интегрирования, зависящий от ширины полосы фильтра и крутизны кривой СПМШ. Данные для Δ приведены в таблице 3.

Таблица 3

Показатель степени при f	4	3	2	1	0	-1
Δ для фильтра в 1/6 декады	0.4445	0.4226	0.4053	0.3933	0.3861	0.3838
Δ для фильтра в 1/2 октавы	0.3916	0.375	0.3624	0.3536	0.3483	0.3466

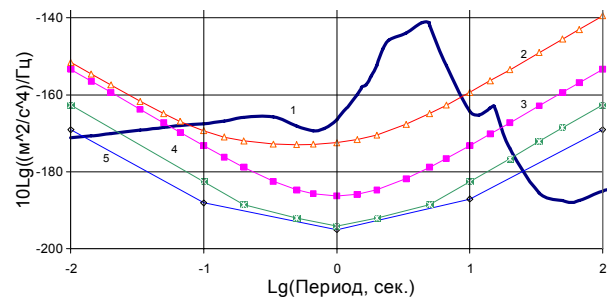
A – амплитудный коэффициент, величина которого зависит от вероятности того, что амплитуда шума пик-пик не превысит заданного значения.

Значение Δ зависит от наклона интегрируемой кривой в точке f ширины полосы применяемого фильтра и колеблется в пределах от 0.3465 для наклона f^{-1} и полуоктавного фильтра до 0.4454 для наклона f^4 и фильтра в 1/6 декады.

Коэффициент A имеет значение 4 для вероятности 0.95 и возрастает до 6.6 для вероятности 0.999. Для других функциональных зависимостей эта формула модифицировалась. Так, для горизонтальной шкалы был избран в качестве аргумента логарифм периода в секундах.

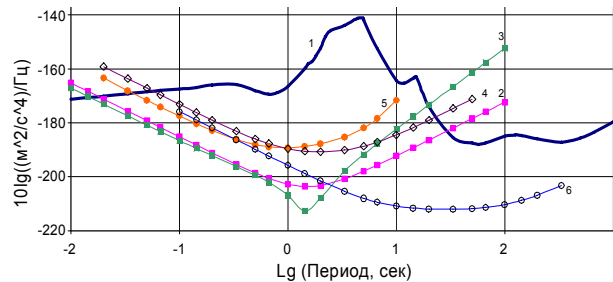
Данные о зарубежных сейсмодатчиках взяты из каталогов фирм-производителей или, как для электродинамических приборов, рассчитывались по приводимым в каталогах параметрам. Для отечественных сейсмодатчиков электродинамического типа шумовые кривые рассчитывались по параметрам, приводимым в технических отчётах или документации, для емкостных датчиков с ОС – по параметрам маятников и электронных схем, предоставляемым разработчиками. На рисунке 3 приведены кривые СПМШ магнитоэлектрических сейсмических датчиков, выпускаемых американскими фирмами. Все кривые расчётные. В расчётах учитывались тепловые шумы инерционной массы с затуханием которым характеризовался данный прибор при эксплуатации, а также тепловые шумы активного сопротивления обмотки преобразователя скорости взаимного перемещения массы и основания в напряжение. Обычно величина затухания D_s колебалась в пределах $0.7 \div 0.8$.

Минимальные шумы имеют датчики типа S-13 – GS-13 с инертной массой более 5 кг. На рисунке 4 приведены расчётные кривые СПМШ российских датчиков с аналогичными преобразователями скорость-напряжение.



1 – LNM; 2 – L-22D; 3 – L4C, S-13J; 4 – S-13; 5 – GS-13

Рисунок 3. Кривые СПМШ сейсмодатчиков с электродинамическим преобразователем, выпускаемых американскими фирмами



1 – LNM; 2 – КСМ; 3 – КСМ + TLE2027; 4 – СМ-3кве; 5 – СМ-3е.3; 6 – ДСМ

Рисунок 4. Кривые СПМШ российских сейсмодатчиков с электродинамическим преобразователем

Все кривые, кроме кривой 3 и 5, соответствуют $D_s = 0.707$ и учитывают те же элементы приборов. Кривая 2 принадлежит короткопериодному прибору ($T_s = 1.5$ с) КСМ обсерваторского типа с маятником массой около 15 кг. Кривая 3 для датчика этого типа учитывает наличие в схеме электронного усилителя, собранного на микросхеме тип TLE2027. Кроме того, собственное затухание маятника составляет 0.037, а до величины 0.707 оно доводится введение жёсткой ОС с выхода измерительного усилителя. Этим и объясняется подъём кривой на периодах, больше собственного периода колебаний маятника,

равного 1.5 с, со степенью T^3 . Видно, что механические шумы этого прибора существенно ниже теплового шума активного сопротивления рабочей обмотки преобразователя и электроники (провал на периоде 1.5 с), а для реализации полных возможностей необходимо оснастить его более мощной магнитной системой.

Датчик СМ-3е.3 (кривая 5) является модификацией прибора СМ-3кве: как и у прибора КСМ, рабочее затухание величиной 0.707 обеспечивается у него введением жёсткой ОС. Кроме того, у прибора имеется схема автоматического удержания маятника в рабочем положении, функционирующая в диапазоне температур $\pm 30^\circ\text{C}$, чем и объясняется довольно крутой подъём кривой СПМШ на периодах более 2 с.

Кривая 6 относится тоже к обсерваторскому прибору ДСМ с собственным периодом колебаний, равным почти 29 с и массой маятника около 15 кг. Этот прибор, также как и КСМ, установлен в обсерватории Боровое (BRVK), находящейся на территории республики Казахстан, на общем кристаллическом массиве с сейсмостанцией Каркаралинск, послужившей одним из прототипов LNM. Сейсмический шум в месте установки приборов по своим спектральным характеристикам близок к этой модели [2].

На рисунке 5 приведены кривые СПМШ для датчиков с ОС, выпускаемых американскими, английскими и швейцарскими фирмами.

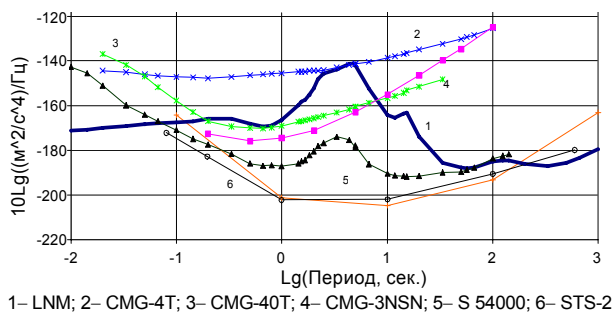


Рисунок 5. Кривые СПМШ электронных сейсмодатчиков с ОС, выпускаемых, американскими, английскими и швейцарскими фирмами

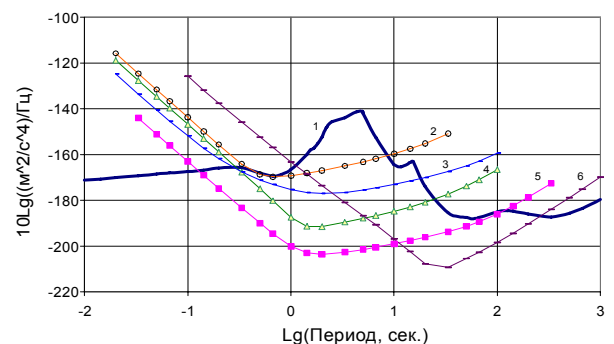
Кривые 2, 3 и 5 относятся к различным модификациям приборов фирмы Гуралп. Судя по их форме, это единственные кривые, полученные экспериментальным способом. Суть способа заключается в более или менее длительной синхронной регистрации сейсмического поля в одном и том же месте с возможно наименьшим естественным фоном 2-мя максимально идентичными приборами. Когерентная составляющая записей выбрасывается, а остаток служит для СПМШ оценкой сверху, исходя из предположения, что шумовые характеристики обоих приборов одинаковые [11].

Так как абсолютно уравнивать коэффициенты передачи невозможно, то часть когерентной составляющей остаётся, что хорошо видно на кривой 4 (CMG-3NSN) в районе периодов $2.5 \div 7.5$ с.

Сравнение СПМШ приборов без ОС с СПМШ S54000 (кривая 5) и STS-2 (кривая 6) показывает преимущества и недостатки использования магнитоэлектрического и емкостного преобразователей для преобразования того или иного элемента движения в электрический сигнал.

СПМШ магнитоэлектрических преобразователей, с учётом электроники, на длинных периодах асимптотически возрастает $\sim T^3$, а на коротких периодах стремится к асимптоте $\sim T^{-2}$, а у емкостных, наоборот: на низких частотах СПМШ стремится к асимптоте $\sim T$, а на высоких – к $\sim T^{-4}$. Поэтому на периодах, короче 1 с, отношение сигнал/шум у магнитоэлектрических преобразователей лучше, чем у емкостных.

На рисунке 6 приведены кривые СПМШ для аналогичных российских датчиков.



1 – LNM; 2 – CM-4, CM-5; 3 – CM-5м; 4 – CM-3е; 5 – CM-3ем; 6 – КСЭШР

Рисунок 6. Кривые СПМШ российских электронных сейсмодатчиков с ОС

Кривые 2 и 3 относятся к лёгким маятникам с инертной массой около $0.06 \div 0.085$ кг. Электронная схема СМ-5м оптимизирована по структуре и элементному составу и её пологие переходы к короткопериодной и длиннопериодной асимптотам говорят о том, что шум электроники в этом диапазоне периодов существенно ниже шума механики маятника.

Кривая 4 относится к серийному прибору с рабочей полосой $0.05 \div 100$ с, созданному на базе прибора СМ-3 с емкостным преобразователем перемещения, а кривая 5 – к прибору с оптимизированной структурной схемой электронного тракта. Как видно из рисунка, оптимизация позволила снизить уровень кривой СПМШ более, чем на 10 дБ и расширить диапазон периодов, где эта кривая лежит ниже LNM до $0.15 \div 100$ с.

Кривая 6 относится к прибору обсерваторского типа КСЭШР с периодом собственных колебаний инертной массы 30 с и с маятником массой 5 кг. Электронная схема этого прибора по структуре не оптимизирована, а в качестве ОУ используются микросхемы типа К140УД17А с $a_{ш} = 38 \text{ нВ/Гц}^{1/2}$, что в $10 \div 20$ раз выше по мощности, чем у качественных импортных микросхем. Этим обстоятельством

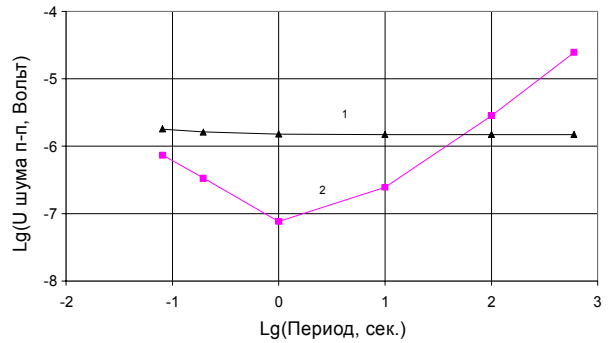
и можно объяснить высокий шум прибора на коротких периодах.

В заключение необходимо остановиться на выборе коэффициента преобразования АЧХ прибора при его конструировании. Считается, что его надо делать минимальным для расширения общего динамического диапазона, а далее сигнал можно усилить, если это потребует, внешним усилителем.

Рассмотрим это на примере сейсмодатчика типа STS-2, кривая СПМШ которого представлена на рисунке 5.

На рисунке 7 приведена спектральная кривая, пересчитанная в амплитуду выходного напряжения пик-пик с учётом коэффициента преобразования прибора, равного $2 \times 750 \text{ В} \cdot \text{с}/\text{м}$, полученная в результате интегрирования полуоктавным фильтром.

В качестве приёмного элемента на входе регистрирующего устройства используем один из лучших инструментальных усилителей типа AD620, параметры которого приведены в таблице 1. Из рисунка видно, что при таком соотношении между чувствительностью велосиметра и шумом регистратора не полностью используется динамический диапазон сейсмодатчика со стороны слабых сигналов.



1 – напряжение шума, приведённого к входу ОУ AD620 с чувствительностью $G = 1$; 2 – напряжение шума на выходе велосиметра STS-2

Рисунок 7. Спектральные кривые амплитуды напряжения шума пик-пик в полосе $1/2$ октавы

4. О ШУМАХ ПРИБОРА STS-2

На рисунках 8 и 9 приведены копии из описания прибора STS-2 с серийным номером 39912 от 02 июля 1999 г.

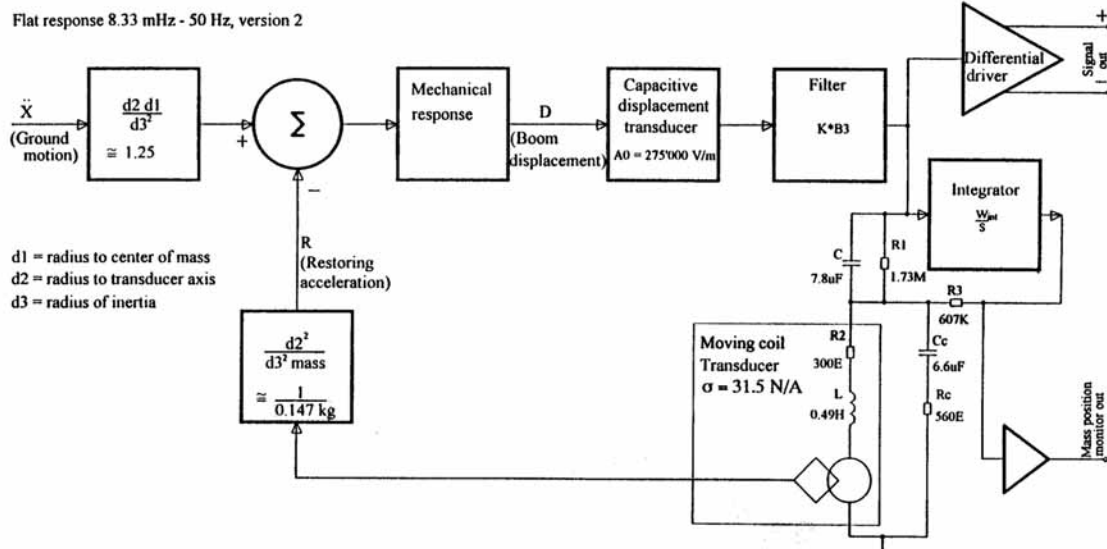


Рисунок 8. Блок-схема сейсмометра STS-2

На рисунке 8 приведена функциональная блок-схема прибора, из которой следует, что отношение индикаторной длины прибора к его приведенной длине $l_{\dot{e}i\ddot{a}}/l_s = 1.25$, а отношение момента инерции прибора к квадрату индикаторной длины $\frac{K_s}{l_{\dot{e}i\ddot{a}}^2} = \frac{Mr_0 l_s}{l_{\dot{e}i\ddot{a}}^2} = 0.147 \dot{e}\ddot{a}$. Если умножить второе выражение на квадрат первого, то получим величину действующей массы маятника, которая, в соответствии с [7], равна:

$$M_{\dot{a}} = \frac{Mr_0}{l_s} = .147 \dot{e}\ddot{a} \times 1.25^2 \approx 0.23 \dot{e}\ddot{a}$$

На этой же блок-схеме приведены значения периода собственных колебаний маятника $T_s = 4\text{с}$, стороннее затухание $h_0 = 0.4$, т.е. все данные, чтобы вычислить уровень СПМШ для этого прибора.

$$S_o = \frac{16\pi k T_k^0 h_0}{T_s M_{\dot{a}}} = \frac{16 \cdot \pi \cdot 1.381 \times 10^{-23} \cdot 0.4}{4 \cdot 0.23} = 8.843 \times 10^{-20},$$

или 190.53 дБ.

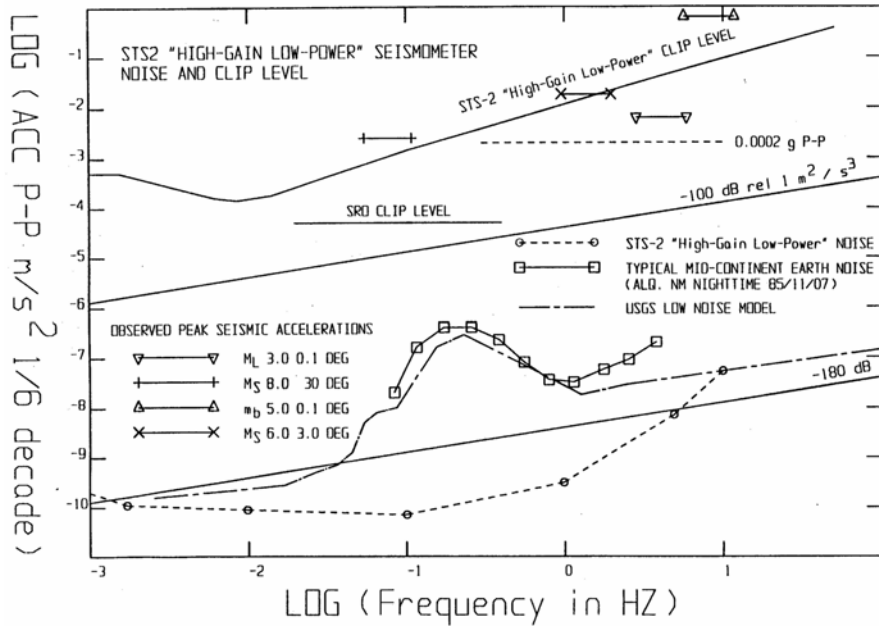


Рисунок 9. Спектральная кривая амплитуды шума для прибора STS-2

На рисунке 9 приведен график логарифма спектра амплитуды шума пик-пик, прибора STS-2, пропущенный через 1/6-декадный фильтр. Этот спектр был пересчитан в СПМШ по формуле (17). Результат пересчета приведен в таблице 4.

Таблица 4.

Период с	lg(Aш п-п)	СПМШ дБ (P=0.999)
600	-9,762	-179,8
100	-9,924	-190,71
10	-10	-202,04
1	-9,5	-202,13
0,2	-8,143	-182,84
0,08	-7,42	-172,19

Как видно из таблицы, минимальное значение СПМШ прибора -202.13 дБ, а шум механики прибора составляет -190.53 дБ, откуда можно сделать вывод, что, если маятник STS-2 действительно обладает такими механическими параметрами, такой спектральной кривой амплитуды шума прибора не может быть.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Шум сейсмодатчика с обратной связью существенно зависит от элементного состава электронного тракта, его структуры, а также от схемы включения ОУ в том или ином каскаде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. М., Мир, 1983. 520с.
2. Ан В.А., Дараган С.К. и др. Создание сверхчувствительных длиннопериодных и короткопериодных сейсмических каналов. Отчёт, фонды С/сектора ИФЗ АН СССР, 1983, 20с.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М., Гостехиздат, 1954, 608с.
4. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. /Под ред. З.И.Арановича и др. М., Наука, 1974, 244 с.
5. Мейер Э., Мердер К. Зеркальные гальванометры и приборы со световым указателем. М., Л., Госэнергоиздат, 1959, 568 с.
6. Мошиц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров. М., Мир, 1984, 320 с.
7. Шнирман Г.Л. Астазирование маятников. М., Наука, 1982, 166 с.

2. Для уменьшения шума необходимо, чтобы максимально возможное число ОУ располагалось в прямой ветви петли обратной связи.
3. Активный элемент в обратной ветви обратной связи должен обладать минимальным электрическим шумом.
4. В электронной схеме сейсмодатчика с электродинамическим преобразованием сейсмического сигнала предпочтительно в 1-ом каскаде усилителя использовать ОУ с биполярными входными транзисторами, обладающими более низким, по сравнению с полевыми транзисторами, напряжением шума. Величина сопротивления рабочей обмотки должна быть такой, чтобы произведение величины входного шумового тока на активное сопротивление источника сигнала и шум по напряжению каскада были равны.
5. При проектировании прибора необходимо соблюдать баланс между механическим шумом маятника и шумом электронной схемы.
6. Сейсмодатчик с электродинамическим преобразователем входного сигнала более эффективен на частотах выше 1 Гц, а на более низких частотах предпочтительно использование емкостного преобразователя.

8. Byrne C.J. Instrument noise in seismometers. Bul. of the Seism. Soc. Of America, jan.1961, v.51, №1, p.p. 69-84.
9. Peterson, J. and Hutt C. (1989) IRIS/USGS plan for upgrading the Global Seismographic Network, U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. 89-471.
10. Rodgers P.W. Frequency Limits for Seismometers as Determined from Signal-to Noise Ratios. Part 1. The Electromagnetic Seismometer. Bul. of the Seism. Soc. Of America, apr.1992, v.82, №2. p.p.1071-1098.
11. Rodgers P.W. Frequency Limits for Seismometers as Determined from Signal-to Noise Ratios. Part 2. The Feedback Seismometer. Bul. of the Seism. Soc. Of America, apr.1992, v.82, №2. p.p.1099-1123.

СЕЙСМИКАЛЫҚ АСПАПТАРЫНЫҢ ШУ ПАРАМЕТРЛЕРІ

¹И.П. Башилов, ²С.К. Дараган, ³Н.В. Кабыченко

¹*"Геофизприбор КБ" РФА, Москва,*

²*Жер физикасы институты РФА, Москва,*

³*Геосфера динамикасы институты РФА, Москва*

Мақалада сейсмикалық бергіштің шу мінездемелерін есептеу үшін, құрылымды сұлбасын еске алатын, формулалар берілген, сондай-ақ құрылымды сұлбасын оңтайландыру жөнінде ұсыныстар беріледі. Ресейде және шетелдерде шығарылатын ең белгілі сейсмикалық бергіштер үшін бірынғайланған түрінде ұсынылған шу кисықтары келтірілген.

NOISE PARAMETERS OF SEISMIC SENSORS

¹I.P. Bashilov, ²S.K. Daragan, ³N.V. Kabychenko

¹*KB "Geophyspribor" RAS, Moscow,*

²*IFZ RAS, Moscow,*

³*IDG RAS, Moscow*

The paper gives the formulas for noise characteristic calculation of the seismic sensors with back-coupling taking into account its block diagram and recommendations on block diagram optimization. The uniform conceptions, noise curves for popular Russian seismic sensors and seismic sensors produced in different countries are highlighted.

УДК [550.34:541.126](574.41)

ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТОВ СЕРИИ «ОМЕГА»

С. Ноулес

**Джейкор, Сан-Диего, Калифорния, США*

Агентство по Сокращению Военной Угрозы Соединенных Штатов Америки (DTRA) оказало поддержку в проведении калибровочных экспериментов в пределах горного массива Дегелен Семипалатинского испытательного полигона в Республике Казахстан с использованием химических взрывов. В статье дается обзор двух экспериментов серии Омега - Омега-2 и Омега-3. Эксперимент Омега-2 был проведен в субботу 25 сентября 1999 г., эксперимент Омега-3 - в субботу 29 июля 2000 г.

Статья содержит презентацию, представленную автором на Симпозиуме «Эксперименты Омега и физика сейсмического источника: влияние подготовки горных пород на результаты мониторинга подземных ядерных испытаний», проведенном Агентством по Сокращению Военной Угрозы и Геологической Службой США, Рестон, 4-6 декабря 2001.

* Автор ранее работал и в данный момент консультирует Джейкор, Сан-Диего, Калифорния, США. Данная работа поддержана Агентством по Сокращению Ядерной Угрозы согласно контракту DSWA01-98-C-0017.

Цели испытаний

Главной целью экспериментов Омега-2 и Омега-3 являлось повышение возможностей мониторинга подземных взрывов, которые могут произойти в мире. Под этим понимается, прежде всего, повышение возможностей обнаружения взрыва и его точной локализации. Особенно важно отличать взрывы от естественных событий, таких как землетрясение, обрушение шахты или даже падение болида, которые могут вызывать ложную тревогу в любой части мировой системы мониторинга.

Обсуждаемые калибровочные взрывы были проведены, в частности, для выявления и исследования различий в сейсмических записях, полученных во время взрывов в природной горной породе (Омега-2) и в горной породе, которая была разрушена предыдущим взрывом (Омега-3). Была поставлена задача охарактеризовать ближнюю зону сейсмического источника, представив более точный теоретический анализ образования сейсмических сигналов. Такой анализ необходим для того, чтобы позднее можно было экстраполировать базу данных по взрывам серии Омега на другие условия, отличающиеся, например, по конфигурации и мощности взрыва (отдача, выход). Ближняя зона источника сейсмических волн изучалась путем проведения измерений локальных сейсмических характеристик (в пределах более 10 км от места взрыва), динамической характеристики горного массива, размера и характера растрескивания горных пород, которое сильно влияет на физические свойства и на состояние горных пород *in situ* до и после взрыва. Об аппаратуре, использованной для этих измерений, будет сказано ниже. Эксперименты позволили также исследовать распределение энергии в различных местных и региональных сейсмических волнах и получить исходные сейсмические данные для методов обнаружения событий в связи с ДВЗЯИ. Кроме того, эксперименты предоставили возможность для дополнительных исследований, связанных

с ДВЗЯИ, таких как измерения инфразвуковые, ионосферные, с вибратором СО РАН (как одного из возможных методов калибровки Международной системы мониторинга), работа международной инспекции на месте, калибровка недавно установленной сейсмической группы PS023 «Маканчи».

Конфигурации эксперимента

Источник химического взрыва – это 100 тонн российского взрывчатого вещества гранулола, состоящего из гранул тринитротолуола (TNT) плотностью около 0,8 г/см³. Он был помещен в камеру, расположенную над штольной 160 в горном массиве Дегелен, проход к которой был обеспечен второй горизонтальной штольной, имеющей сечение 3×3 м, как это показано на рисунке 1.

Для проведения взрыва было использовано шесть детонаторов, чтобы гарантировать взрыв массы и запуск плоской сейсмической волны во время взрыва. Последняя может быть использована для оценки скорости Чапмана-Джойджета во взрывчатом веществе. Различие в расчетном времени для каждого из детонаторов было установлено менее, чем в 10-мксек во избежание образования многоволновой ударной структуры во взрывчатом веществе, что могло бы повлиять на породный толчок в ближайшей зоне.

В обоих экспериментах продукты взрыва были выброшены через штольную НЕ. Это было вызвано двумя обстоятельствами - для обеспечения лучшей имитации ядерного взрыва, который может создавать намного меньшее количество неконденсирующихся газообразных продуктов, а также для снижения роли условий, порождающих нереальные волны сдвига (в результате гидроразрушения пород от проникновения газа).

№ скв	Диаметр, дюйм	Пересечение штольни скважиной, м.	Длина скважины, м	Угол с горизонтом, градус
0	3	228.5	32.0	90.0
1-1	3	230.5	14.5	90.0
1-2	7	230.5	17.5	90.0
2-1	3	229.5	12.5	90.0
2-2	7	229.5	19.5	90.0
3	7	217.7	14.82	70.6
4	7	198	21.69	47.6
5	7	174.6	32.69	32.3
6	7	153.9	25.70	24.7

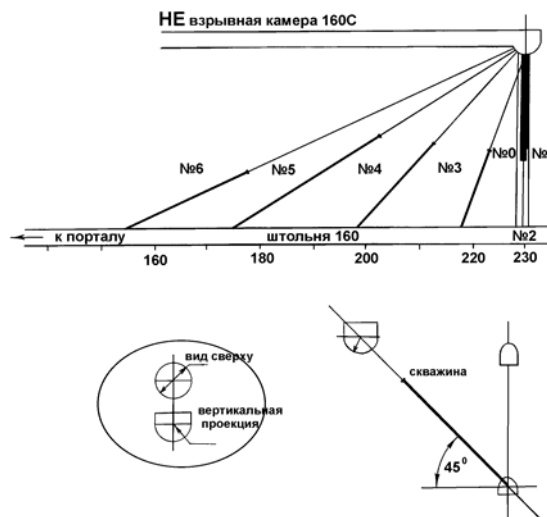


Рисунок 1. Условия проведения калибровочного взрыва Омега-3

В связи с первым обстоятельством можно сделать пояснение, что взрыв 100 тонн гранулошлака под землей производит 70 тонн неконденсируемого газа (H_2, CO, CO_2, NH_3 , и т.д.) и около 30 тонн механического недожога в виде сажи. Механический недожог служит источником догорания в виде газов, выброшенных в атмосферу, и обширных сажевых отложений в штольне HE. Ядерный взрыв производит только небольшое количество неконденсируемых газов, за исключением углеродистых пород. В углеродистых породах может быть произведено большое количество неконденсируемого газа (CO, CO_2 , и т.д.) даже от ядерного взрыва. В описываемых экспериментах предполагалась имитация ядерного взрыва в не углеродистой породе.

В обоих экспериментах взрывные камеры были расположены очень близко друг от друга, чтобы снизить влияние геометрии на естественные вариации времени пробега сейсмических волн от источника до регистраторов. Выбранная схема проведения взрывов позволяет считать, что сейсмические различия, полученные при экспериментах Омега-2 и Омега-3, могут быть отнесены к влиянию состояния пород, измененного первым взрывом. На рисунке 1 показано расположение взрывных камер при эксперименте Омега-2 (камера, обозначенная пунктиром прямо над штольней 160) и Омега-3 (полусферическая камера обозначена сплошной линией, расположена под углом 45° к вертикальной оси). Полусферическая форма взрывной камеры была выбрана для того, чтобы исключить какие-либо угловые эффекты в проводимых измерениях. При эксперименте Омега-3 взрывная камера была на 25 м ближе к устью штольни, чем взрывная камера при эксперименте Омега-2. Таким образом, обе камеры были разделены расстоянием около 35 м. Следует отметить, что первый взрыв вызвал значительное повреждение породного массива как в районе первой камеры, так и в районе расположения второй камеры. Строи-

тельство второй камеры, выполненное НЯЦ РК и их субконтрактором ТОО «Дегелен», в этих условиях потребовало инновационных способов проведения горных работ.

Оснащение приборами

Эксперименты серии Омега аппаратно были хорошо оснащены, хотя все участники, вероятно, желали бы использовать еще больше приборов. Далее приводятся данные о различных применявшихся приборах.

Выполнение измерений в штольне

Для достижения целей экспериментов, было важно иметь хорошую привязку момента взрыва во времени. Для этого были выполнены специальные измерения времени взрыва с использованием эталона времени спутниковых антенн GPS. Данные были получены через кабельную линию у портала и затем скорректированы со временем у детонаторов, с использованием расчетной скорости распространения горения в детонирующем шнуре. Дополнительно было подсчитано время взрыва каждого детонатора чтобы гарантировать точность определений в пределах требуемых 10-мксек. К сожалению, было невозможно применить дополнительные приборы измерения времени скорости горения из-за ограничений регистрирующего канала.

Динамическая характеристика в районе сейсмического источника

Динамический отклик массива горных пород в результате ударного толчка, произведенного взрывом, был определен несколькими способами. Движение горных пород после ударного толчка (т.е. скорость частиц пород) было измерено с использованием тахометров (измерение скорости магнитных частиц). Они состоят из трубок, содержащих магнитный стержень. С наружной стороны трубки имеют обмотку из проводов. После прохождения ударной волны, трубка и обмотка двигаются со скоростью движения окружающей среды, в то время

как магнит сохраняет инерцию в пространстве и находится под влиянием силы тяжести.

Всегда предусмотрительно иметь значения, зарегистрированные, по крайней мере, двумя разными типами измерительных приборов. Поэтому скорость частиц была получена также на основании интегрирования выходных данных группы акселерометров. Акселерометры устанавливались в приборных скважинах, пробуренных с таким расчетом, что их оси сходились в центре массы взрывчатого вещества, что снижало поперечное давление на приборы. На рисунке 1 показаны скважины эксперимента Омега-3. Направление скважин в эксперименте Омега-2 аналогично, но скважины были несколько смещены для лучшего соответствия расположению камеры в эксперименте Омега-2.

Дополнительно к измерениям скорости *in situ*, было зарегистрировано динамическое движение поверхности откола породы внутри штольни с помощью высокоскоростной фотокамеры. Растрескивание породы при ударном нагружении также было измерено благодаря наблюдениям до и после ударного разрушения. При проведении эксперимента Омега-3 в стенки штольни вокруг разломов были зацементированы стеклянные стержни, что позволило оценить динамическое поведение разломов.

Сейсмические измерения

В ближней зоне

Сейсмические измерения производились на поверхности земли в пределах расстояний до 10 км от эпицентра (SGZ) взрывов, произведенных при проведении экспериментов Омега-2 и Омега-3.

Региональные

Сейсмические сигналы обоих событий были зарегистрированы на региональных расстояниях стационарными казахстанскими станциями, а также станциями в Кыргызстане по совместной программе с НЯЦ РК/ИГИ. Дополнительно регистрация осуществлялась в России первичной станцией Международной системы мониторинга в Залесово (ZAL).

Телесеismicкие

P-волна при проведении эксперимента Омега-2 была зафиксирована на телесеismicких расстояниях станциями сейсмических групп в Иелсоне, Аляска (ILAR), Элайс Спринг, Австралия (ASAR), Богоин, Центральная Африканская Республика (BGCA).

Геологическая характеристика

Сейсмическая томография

Для описания массива горных пород до и после каждого из событий была выполнена обширная сейсмическая томография. Работы проведены НЯЦ РК/ИГИ и будут описаны в отдельных публикациях.

Геологическое картирование

Детальное геологическое состояние пород штольни 160 было представлено на картах, составленных командой Lachel & Assoc USGA и командой НЯЦ РК/ИГИ. Карты использовались для определе-

ния ранее существовавших и новых поверхностей трещиноватости в горных породах.

Измерение воздушного потока

Во время каждого из экспериментов были проведены измерения статического давления воздушного потока из штольни HE. Это делалось для калибровки аналитических методов, использованных для прогнозирования воздушной среды взрыва в целях безопасности. Наблюдательный пункт и команда подрыва в штольне HE располагались относительно близко к штольне и было очень важно, чтобы никто не пострадал в результате взрывов. При эксперименте Омега-2 измерения проводились на различных участках поверхности над штольной. При эксперименте Омега-3 измерения были подобными, но статическое давление определялось внутри штольни HE. Измерения в штольне были использованы для калибровки аналитического метода подсчета продувочного давления штольни, что послужило отправными данными для прогнозирования внешнего воздушного потока.

Другие измерения

Инфразвук

Инфразвуковые измерения выполнялись при калибровочных взрывах Омега-2 и Омега-3. При калибровочном взрыве Омега-2 инфразвуковые измерения были ограничены несколькими азимутами и несколькими расстояниями, тогда как при калибровочном взрыве Омега-3 проводилась серия более обширных измерений в различных азимутах и на различных расстояниях.

Вибрационный сейсмический источник

Сибирское отделение Российской Академии Наук (СОРАН) проводит исследования по использованию массивных 100-тонных вибраторов для калибровки Международной системы мониторинга. Международный научный и технический Центр (ISTC) финансирует эти работы. Для подтверждения данной возможности во время калибровочного взрыва Омега-3 были проведены сейсмические измерения на региональном профиле от массива Дегелен до полигона Быстровка в Новосибирской области. НЯЦ РК/ИГИ в Казахстане и СОРАН в России провели для различных расстояний регистрацию сигналов вибратора, работающего в Быстровке, и события Омега-3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В данном разделе затрагиваются лишь некоторые результаты экспериментов Омега-2 и Омега-3, в основном сейсмических. Результаты таких измерений как воздушного потока, инфразвука, ионосферных параметров и измерения с российским вибратором, опущены.

Динамический отклик на взрыв

На рисунке 2 приведены результаты измерения скорости частиц или масс породы на различных расстояниях от места взрывов Омега-2 и Омега-3. Приводимые значения скорости были получены путем

интегрирования записей акселерометра, а также путем непосредственного снятия приборных показаний.

Результаты измерения скорости частиц приборами Санберст показаны на рисунке 2 вместе с эмпирическими и теоретическими прогнозами для случая Омега-3. Наилучшая аппроксимация для данных, полученных при проведении эксперимента Омега-2:

$$U_p = 9133R^{-2.23},$$

где U_p максимальная скорость частиц (м/сек) и R - расстояние до места взрыва (м). Для случая Омега-3 изменение максимальной скорости частиц в зависимости от расстояния описывается соотношением

$$U_p = 2630R^{-2.02}.$$

Устанавливаемая разница в скорости частиц (масс) горных пород при двух экспериментах обу-

словлена разрушением породы и заполнением образовавшихся пустот воздухом в районе взрыва Омега-2. Было предположено, что эта разница является результатом дополнительного выброса газов на поверхность, который имел место при эксперименте Омега-3. Однако эта причина маловероятна, так как максимальный породный толчок произошел до того, как волна разряжения могла вернуться от поверхности к месту проведения измерений. В действительности, максимальная скорость зарегистрирована раньше, чем ударная волна прибыла к поверхности массива, т.е. во время проведенных измерений скорости частиц поверхностного эффекта не было.

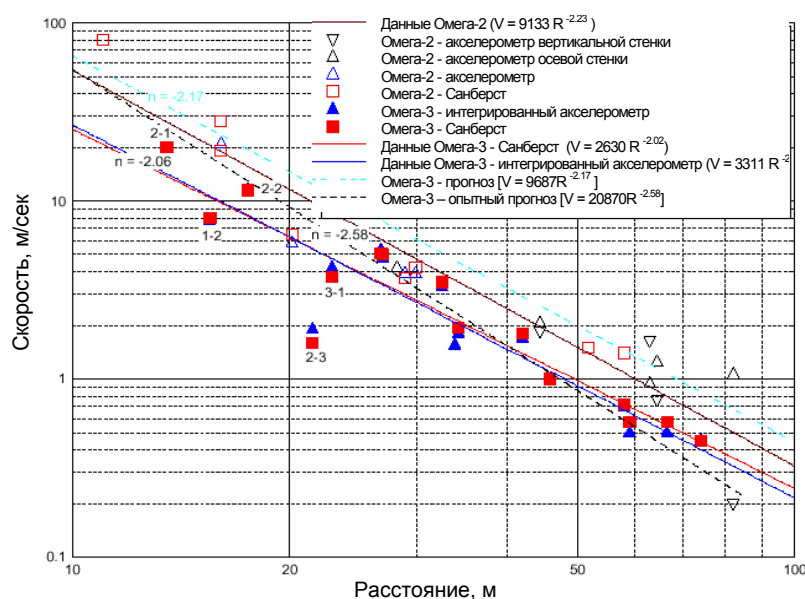


Рисунок 2. Региональные динамические характеристики, полученных при калибровочных взрывах Омега-2, -3

Существование дополнительных трещин и возникновение новых пустот, заполненных воздухом, было отмечено на фотографиях стенок приборной скважины, пробуренной для эксперимента Омега-3 и сделанных в процессе бурения. Реально предположить, что во время взрыва Омега-3 значительная энергия была потеряна на закрытие этих трещин и пустот при давлении ниже 50 кбар. Допуская простой закон затухания как $1/R^2$ и масштаб, равный корню кубическому, можно оценить потерю энергии из соотношения скоростей при заданном расстоянии. Основываясь на этом, получаем, что мощность реального источника в эксперименте Омега-3 составила лишь половину мощности источника в эксперименте Омега-2.

Сейсмические результаты

PIDC сообщил, что магнитуда сейсмических событий Омега-2 и Омега-3 составляет 3,88 и 3,63, соответственно. По этим данным отношение мощности одного взрыва к мощности другого взрыва

составляет около 0,56, что вполне соответствует результатам измерений максимальной скорости частиц, описанным выше.

Возможность точно локализовать эпицентр взрыва является важным вопросом верификации ДВЗЯИ. Допустимая площадь для инспекции на месте составляет 1000 км². Если площадь локализации события намного больше указанной, то для команды инспекторов увеличивается вероятность выбора неправильной площади для проведения инспекции. Используя обработанные данные эксперимента Омега-1, PIDC смог локализовать калибровочный взрыв Омега-2 внутри эллипса размером 71×42 км площадью 2300 км². Эллипс ошибок для калибровочного взрыва Омега-3 был подобным - 68×34 км площадью 1800 км².

На рисунке 3 приведено сравнение сейсмических записей, сделанных российской станцией Залесово (ZAL) для каждого эксперимента серии Омега.

В каждом из экспериментов использовано по 100 тонн взрывчатого вещества, но особенности сейсмических характеристик при этом различаются.

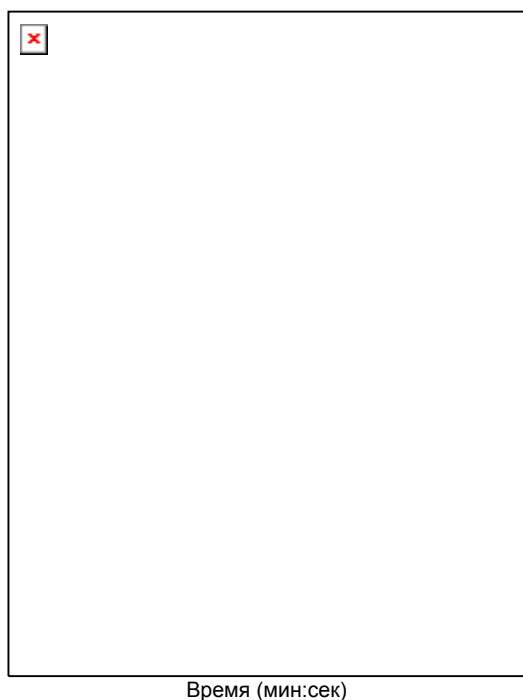


Рисунок 3. Сравнение сейсмических записей Омега-1,2,3, полученных российской станцией Залесово (ZAL) по данным PIDC

Амплитуда сигнала Р-волны уменьшалась от эксперимента к эксперименту, менялось и соотношение амплитуд волн P/S - наименьшее соотношение P/S отмечено в эксперименте Омега-3. Такая закономерность ожидалась из-за принятой конфигурации эксперимента: заложение заряда предусматривало проведение калибровочного взрыва Омега-1 без видимого выделения газов в атмосферу, а калибровочного взрыва Омега-2 - с отводом газов в атмосферу. Оценка разницы между событиями (Омега-1,

Омега-2) показывает снижение максимальной скорости частиц на фиксированном расстоянии на 20%, что соответствует понижению реальной мощности источника на 30%. PIDC оценил сейсмическую магнитуду (m_b) эксперимента Омега-1 как 4,07, поэтому соотношение сейсмической мощности экспериментов Омега-1 и Омега-2 составило 0,64, что приблизительно согласуется с ранее приведенными результатами (при использовании стандартной корреляции Mb/Yсоотношение составляет 0,57) .

Вторым очень важным вопросом для верификации ДВЗЯИ является возможность надежно отличать подземные взрывы от других естественных явлений, таких как землетрясение, обрушение шахт и др. Были разработаны методы распознавания событий на основе анализа, выполненного различными исследователями, с использованием доступных сейсмических данных от взрывов и землетрясений. На основе соотношения P/S разработана шкала значений для каждого события, нормированная к нулю. Если значение параметра больше нуля, событие не считается взрывом. Если значение параметра по шкале меньше нуля, может потребоваться дальнейший анализ, или оно может быть охарактеризовано как взрыв. Оценки PIDC с использованием принятых методик показали, что событие Омега-3 было явным землетрясением: значение параметра для события оказалось около 0.2, что приходится почти на центр распределения, полученного для совокупности землетрясений (Рис. 4а).

Принимая во внимание результаты эксперимента Омега-3, PIDC рассмотрел и исправил методы распознавания. Соотношение P/S сохранило начальный дискриминант, однако данное соотношение определялось только для полосы пропускания 6-8 Гц. Исправленное значение, показано на рисунке 4б для эксперимента Омега-3, оно оказалось равным 0.13, что характеризует событие как взрыв.

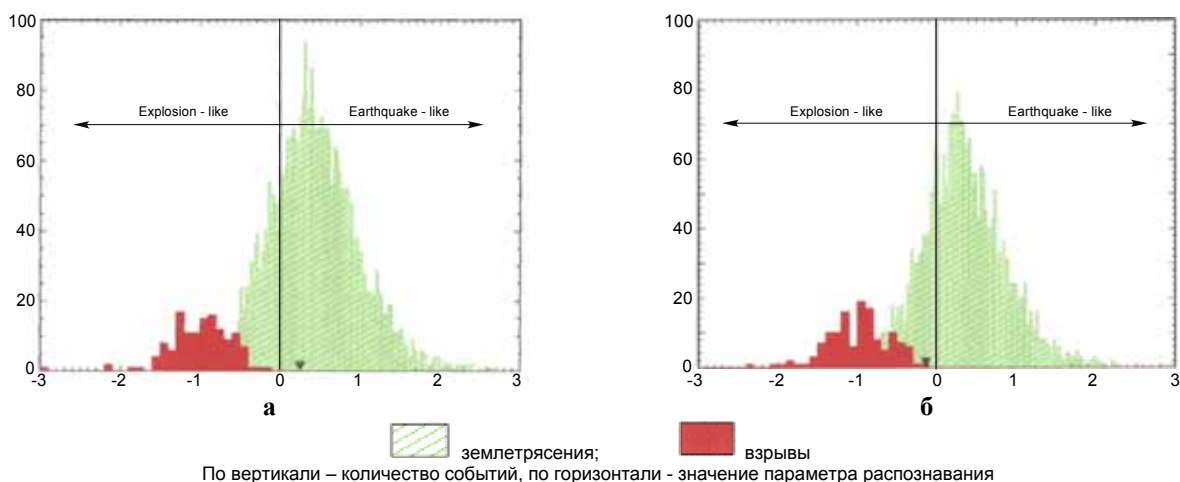


Рисунок 4. Характеристика события Омега-3: а - с использованием стандартных методов; б – исправленная, с использованием данных в полосе пропускания 6-8 Гц (любезно предоставлено PIDC)

РЕЗЮМЕ

События Омега-2 и Омега-3 были проведены успешно и предоставили важные данные для выявления, идентификации и характеристики подземных взрывов, а так же для оценки влияния взрывов на породу поврежденную предыдущим взрывом. Эти данные будут использованы для оценки точности теоретических расчетов при подобных взрывах.

Успех экспериментов Омега был достигнут в большой степени благодаря сотрудничеству и доброй воле международной команды специалистов США и Казахстана. Это помогло преодолеть труд-

ности в разработке и выполнении экспериментов, в то время как его участники находились на большом расстоянии друг от друга.

В заключение следует отметить, что даже при успешном проведении данных экспериментов, они предоставляют только разрозненное множество данных, и эти данные не решают многих вопросов, связанных со взрывами. Теоретическое моделирование поможет в оценке роли мощности (отдача, выход), глубины заложения заряда, геологии и т.д. Данные экспериментов Омега помогут в установлении надежности подобных расчетов.

ОМЕГА СЕРИЯСЫ СЫНАУЛАРЫНЫҢ ШОЛУЫ

Сайрус Ноулес

Джейкор, Сан Диего, Калифорния, АҚШ

Америка Құрама Штаттарының Әскери Қауіпін Қысқарту жөніндегі Агентствосы Қазақстан Республикасының Семей сынау полигонының Дегелен тау массивінде химиялық жарылыстарын пайдаланып калибрлеу эксперименттерін өткізуіне қолдауын көрсетті. Мақалада Омега сериясының екі экспериментінің – Омега-2 және Омега-3 шолуы берілген. Омега-2 эксперименті 1999 ж. 25 қыркүйекте сенбі күні, Омега-3 эксперименті 2000 ж. 29 шілдеде сенбі күні өткізілген.

OMEGA TEST SERIES – AN OVERVIEW

Cyrus P. Knowles

Jaycor, San Diego, California, USA

The United States Defense Threat Reduction Agency (DTRA) has supported a series of high explosive calibration experiments that were conducted in the Degelen Mountain area of the Semipalatinsk Test Site (STS) in the Republic of Kazakhstan (ROK). This paper will provide an overview of the second and third tests of this series which have been designated Omega-2 and Omega-3. Omega-2 was conducted on Saturday, September 25, 1999 and Omega-3 on Saturday, July 29, 2000.

УДК [550.34:541.126](574.41)

СРАВНЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ ОМЕГА-2 И ОМЕГА-3 ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ

Михайлова Н.Н., Соколова И.Н.

Институт геофизических исследований ННЦ РК

Проведено сравнение характеристик сейсмических записей калибровочных взрывов Омега-2 и Омега-3. Показано, что при одинаковой мощности взрывов уровень сейсмических колебаний при эксперименте Омега-3 значительно меньше, чем при эксперименте Омега-2, хотя спектральный состав, поляризация колебаний, волновая картина, зарегистрированные одними и теми же станциями, идентичны для обоих взрывов. Сделаны предположения о возможных причинах различия в сейсмическом эффекте.

Калибровочные эксперименты Омега-2 и Омега-3 проведены на площадке Дегелен Семипалатинского испытательного полигона в 1999 и 2000 гг. (Табл. 1). Место проведения взрывов и масса заряда были практически одинаковы: взрывы проводились в одной и той же штольне, масса заряда в обоих случаях составляла 100 тонн.

Целью настоящей работы является сравнение характеристик сейсмических записей, энергетических и магнитудных оценок источников и других параметров двух взрывов по данным станций, расположенных на расстояниях до 1000 км.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Собрано значительное количество сейсмограмм, зарегистрированных сейсмическими станциями раз-

личных служб и организаций в диапазоне расстояний от 0 до 1000 км: в ближней зоне (временные станции) - расстояние 1.8 – 13.7 км; сети стационарных станций ННЦ РК - расстояние 110 – 730 км; Института сейсмологии МОН РК - расстояние 500 – 800 км; Тянь-Шаньского проекта (временные станции) - расстояние 800 – 950 км; киргизской сети KNET - расстояние 770 – 850 км. Информация об этих станциях и их эпицентральных расстояниях приведена в таблицах 2-6. Расположение сейсмических станций на территории Казахстана и Кыргызстана, зарегистрировавших калибровочные взрывы, показано на рисунке 1.

Таблица 1. Данные о калибровочных взрывах Омега-2 и Омега-3

Взрыв	Дата	Время	Координаты		Масса заряда, кг	Превышение, м	Штольня
			φ, N	λ, E			
Омега-2	25.09.1999	05.00.05.85	49°46'54.68''	77°57'58.68''	100 000	660.3	160-в
Омега-3	29.07.2000	06.10.04.03	49°46'55.39''	77°57'59.97''	100 000	664.2	160-с

Таблица 2. Координаты станций ближней зоны

Название станции	Код станции	Высота, м	Широта	Долгота	Расстояние до источника
S2	S2	825	49.7671	77.9899	2.4
S3	S3	570	49.7960	77.9795	1.8
S4	S4	523	49.8693	77.9617	9.7
S5	S5	524	49.8549	78.1194	13.7
S6	S6	570	49.7309	78.0512	8.3
S7	S7	573	49.7791	78.0804	8.2

Таблица 3. Координаты станций сети ННЦ РК

Название станции	Код станции	Высота, м	Широта	Долгота	Расстояние до источника
Боровое	BRVK	315	53.0578	70.2828	647
Восточное	VOS	300	52.7232	70.9797	588
Зеренда	ZRNK	384	52.9508	69.0043	717
Чкалово	CHKZ	123	53.6762	70.6152	668
Курчатов	KURK	240	50.7149	78.6208	114
Маканчи	MAKZ	600	46.8075	81.9774	445
Талгар	TLG	1210	43.2487	77.2237	729
Подгорное	PDG	1277	43.3274	79.4849	727

**СРАВНЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ ОМЕГА-2 И ОМЕГА-3
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ**

Таблица 4. Координаты станций Института сейсмологии МОН РК

Название станции	Код станции	Высота, м	Широта	Долгота	Расстояние до источника
Курты	KUU	550	43.89	76.34	667
Тургень	TRG	1510	43.31	77.64	720
Кастек	KST	1415	43.04	75.96	766
Медео	MDO	1600	43.17	77.01	739
Джаркент	DZHR	1600	44.33	79.79	622
Капал-Арасан	KPA	946	45.28	79.36	512
Курам	KURM	840	43.49	78.17	700
Чушкалы	CHUK	510	43.86	77.00	663
Зайсан	ZSN	550	47.45	84.40	541

Таблица 5. Координаты станций Тянь-Шаньской сейсмической сети

Название станции	Код станции	Высота, м	Широта	Долгота	Расстояние до источника
Каирма	KAI	2020	41.5681	75.0134	942
Караколка	KARL	3021	41.4733	77.3093	925
Кен Су	KENS	2809	42.3201	79.2362	836
Хантау	KHA	1114	44.2048	73.9916	990
Карасай	KSA	3400	41.5425	77.9257	916

Таблица 6. Координаты станций Киргизской сейсмической сети KNET

Название станции	Код станции	Высота, м	Широта	Долгота	Расстояние до источника
Ала-Арча	AAK	1680	42.6333	74.4944	839
Карагайбулак	KBK	1760	42.6564	74.9478	826
Токмак	TKM2	2020	42.9208	75.5966	785
Улахол	ULHL	2040	42.2456	76.2417	849
Успеновка	USP	740	43.2669	74.4997	772

Таблица 7. Станции, зарегистрировавшие калибровочные взрывы Омега-2 и Омега-3

Взрыв	Станции ближней зоны	Станции НЯЦ РК	Станции Тянь-Шаньской сети	Станции Института сейсмологии МОН РК	Станции KNET
ОМЕГА-2	S3, S5, S6, S7	BRVK, KUR, MAKZ, PDG, TLG, CROSS-ARRAY	KAI, KENS, KHA, KSA, KARL	KURM, DZHR, KST, KUU, KPA, CHUK, MDO, TRG, ZSN	AAK, KBK, TKM2, ULHL, USP
ОМЕГА-3	S2, S3, S4, S5, S6, S7	CHK, MAKZ, TLG, VOS, ZRN, KURK, BRVK	KENS	KUU, KPA, ZSN	ULHL, USP, KZA

В табл. 7 показано, какие именно станции зарегистрировали каждый из двух калибровочных взрывов.

Как видно из таблицы 7, число, а также перечень станций, зарегистрировавших калибровочные взрывы, неодинаковы для двух экспериментов. Для эксперимента Омега-2 собраны записи 29 станций, для эксперимента Омега-3 – записи 20 станций. Жирным шрифтом в таблице 7 выделены коды станций, зарегистрировавших оба взрыва.

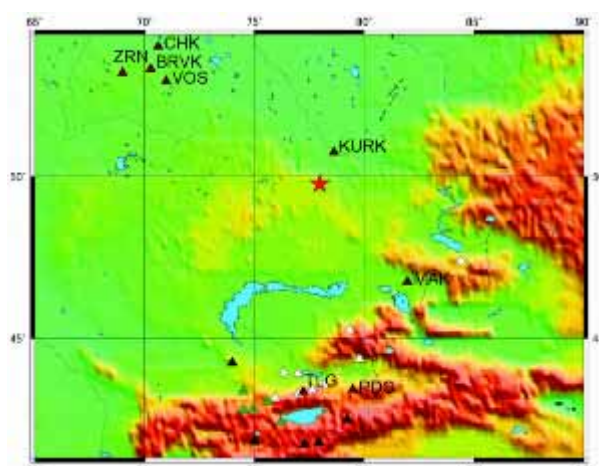
РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА

Станциями сетей, приведенных в таблицах 3-6, сейсмические колебания регистрировались в цифровом виде. На станциях ближней зоны (Табл. 2) были установлены станции REFTEK с короткопериодными сейсмометрами L4C –3D, поэтому записи этих станций оцифровывались с частотой 500 Гц.

На станциях сетей НЯЦ РК, KNET и Тянь-Шаньской использовалась аппаратура REFTEK, IRIS/GSN, IRIS/IDA. Станции были укомплектованы сейсмометрами STS-1, STS-2, CMG-3, CMG-40T с полосой пропускания 0.008 – 45 Гц (STS-2) и 0.03 – 80 Гц (CMG-3, CMG-40T). Частота оцифровки использованных данных - 20 и 40 Гц.

На станциях Института сейсмологии МОН РК использовалась аналоговая аппаратура СКМ-3 с трехкомпонентной регистрацией на фотобумагу.

Рабочий диапазон частот 0.5-0.9 Гц. Временная развертка сейсмограмм на фотобумаге составляла 120 мм/мин.



Треугольники: бордовые - станции НЯЦ РК; зеленые - станции KNET; белые - станции Института сейсмологии МОН РК; черные - станции Тянь-Шаньского проекта. Звездочка - место калибровочных взрывов.

Рисунок 1. Расположение сейсмических станций

**СОПОСТАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
СЕЙСМИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ**

Анализ отобранных сейсмических записей проводился отдельно для трех различных зон – **ближней, промежуточной** и **дальней**, отличающихся волновой картиной.

Ближняя зона ($\Delta \leq 30$ км). На рисунке 2 показаны записи взрывов Омега-2 и Омега-3, сделанные тремя станциями ближней зоны. Четко видно, что наблюдается исключительное сходство записей по Z – компоненте – выделяются идентичные фазы, отмечаются одинаковые преобладающие периоды. Однако уровень сигналов, зарегистрированных при взрывах Омега-2 и Омега-3 неодинаков.

Для количественного сопоставления уровня сейсмических сигналов использованы различные подходы. На рисунке 3 а, б дано сравнение амплитуды первых вступлений Р- волны и максимального значения в цуге Р- волны записей станций ближней зоны (при регистрации взрыва Омега-2 на станции S₃ наблюдались неполадки с сейсмометром, поэтому она не участвовала в рассмотрении). Видно, что амплитуда сигналов, зарегистрированных при взрыве Омега-2, превышает амплитуду аналогичных сигналов при взрыве Омега-3.

Рассмотрены также характеристики огибающих короткопериодной S – коды в трех частотных диапазонах. На рисунке 4 а, б, в показаны огибающие коды, построенные для станции S7 по двум взрывам Омега. Использовались фильтры с центральными частотами 1,25 Гц, 5 Гц и 10 Гц и шириной пропускания 2/3 октавы на уровне 0,7 от максимума (по аналогии с ЧИСС-фильтрами). Обработка записей выполнена для Z- компоненты. Из рисунков видно, что для всех частот огибающие записей разных взрывов практически совпадают по форме, разброс данных, как правило, не превышает $\pm 0,1$ ед. лог. Вместе с тем, уровни огибающих для разных взрывов различаются.

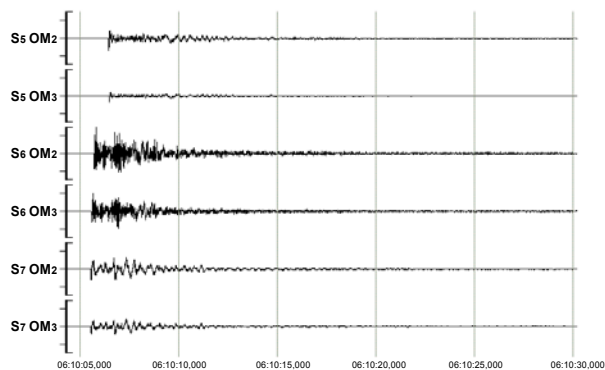


Рисунок 2. Сейсмические записи взрывов Омега-2 и Омега-3 станциями ближней зоны S5, S6 и S7

В нижеследующей таблице 8 приведена разница в уровнях огибающей коды на разных частотах.

Таблица 8. Разница в абсолютных уровнях огибающей коды для экспериментов Омега-2 и Омега-3 на разных частотах. Станция S7

Частота, Гц	1,25	5	10
Разница в уровнях (ед. лог)	0,16	0,18	0,16

Для исследованных частот уровень огибающей коды для события Омега-2 на 0,16 – 0,18 ед. лог. выше, чем для события Омега-3. Следовательно, форма спектров коды в полосе частот 1-10 Гц практически совпадает.

На рисунке 4 г огибающие коды записи станции S7 сопоставлены на фильтре СКМ. Это связано с тем, что далее все определения энергетических и магнитудных характеристик проводились именно на этом фильтре, для которого построены магнитудные и энергетические калибровочные региональные кривые. В случае, приведенном на рисунке 4 г, наблюдается ранее отмеченная картина: уровень огибающей коды при взрыве Омега-3 ниже, чем при Омега-2. Однако в разных частях записи разница различна, например, после 7 с - это примерно 0,3 ед. лог.

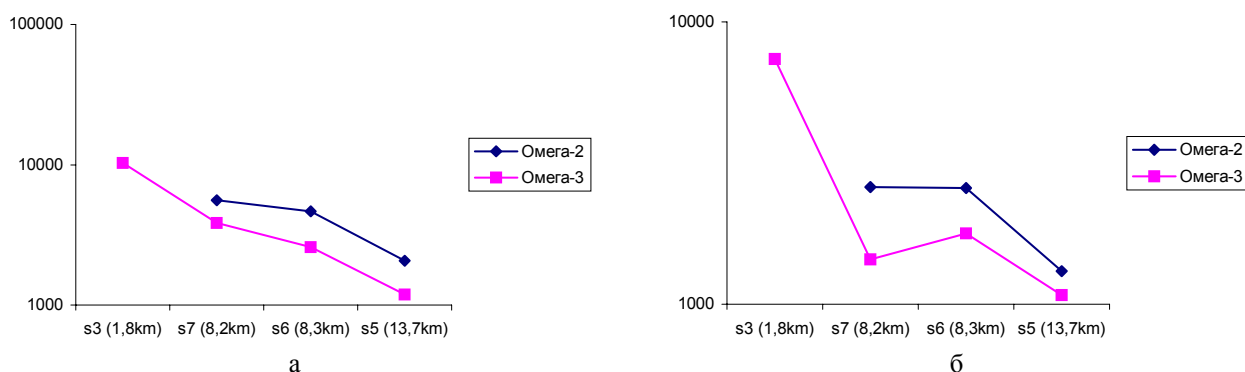
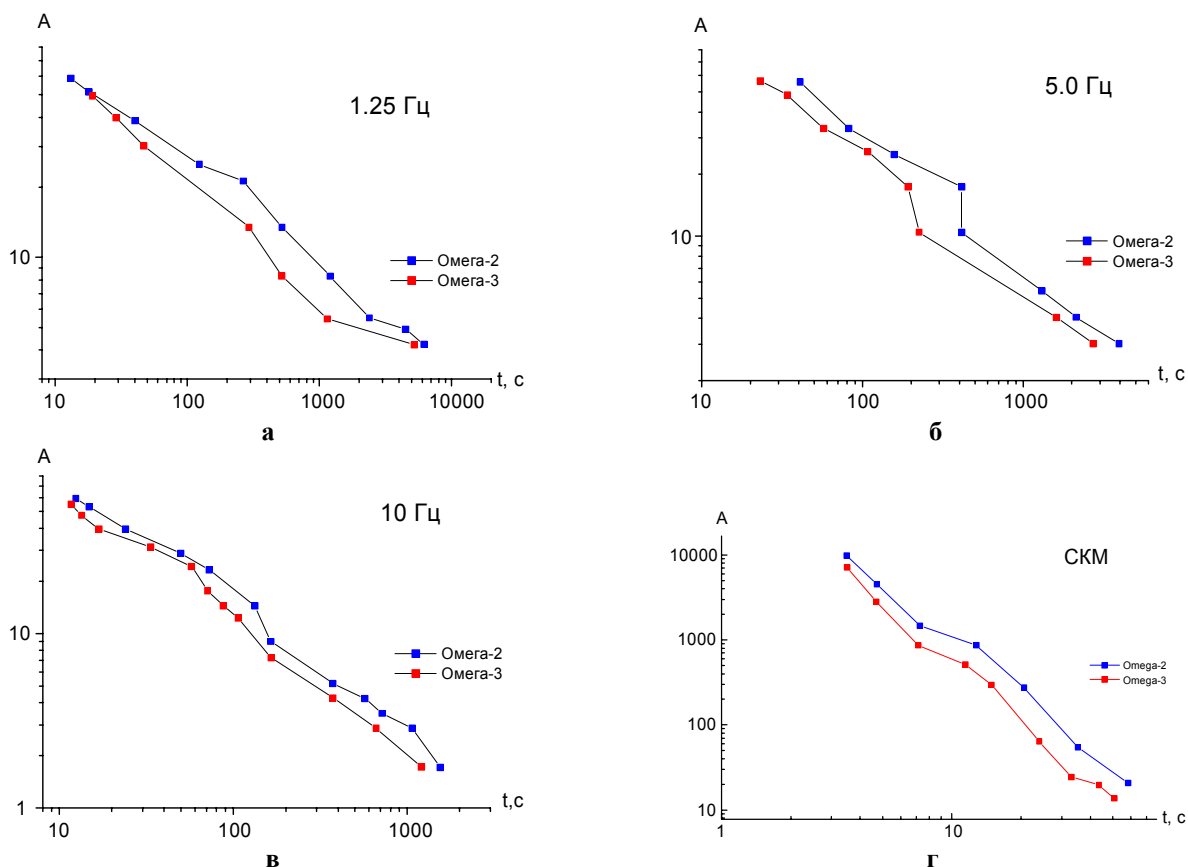


Рисунок 3. Сравнение амплитуды первого вступления Р-волны (а), максимума Р-волны (б)

**СРАВНЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ ОМЕГА-2 И ОМЕГА-3
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ**



а - фильтр с центральной частотой 1.25 Гц, б - фильтр с центральной частотой 5.0 Гц, в - фильтр с центральной частотой 10.0 Гц, г - фильтр СКМ

Рисунок 4. Огибающие коды записей станции ближней зоны S7

Промежуточная зона ($30 \text{ км} < \Delta \leq 300 \text{ км}$). На рисунке 5 показаны записи станции KURK, относящейся к промежуточной зоне ($\Delta=114 \text{ км}$), из которых видно большое сходство формы записей при существенном различии их амплитуды.

Для этой станции также построены огибающие записей для трех фильтров 1.25, 2.5 и 5.0 Гц, а также для СКМ-фильтра. Форма огибающих записей, приведенная на рисунке 6, схожа. Уровень коды для взрыва Омега-3 ниже, чем для Омега-2 в среднем на 0.3 ед. лог.

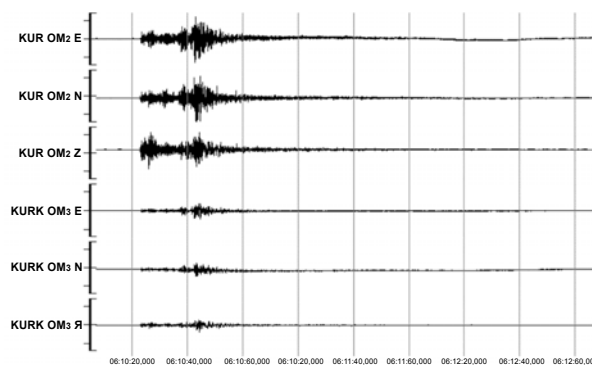
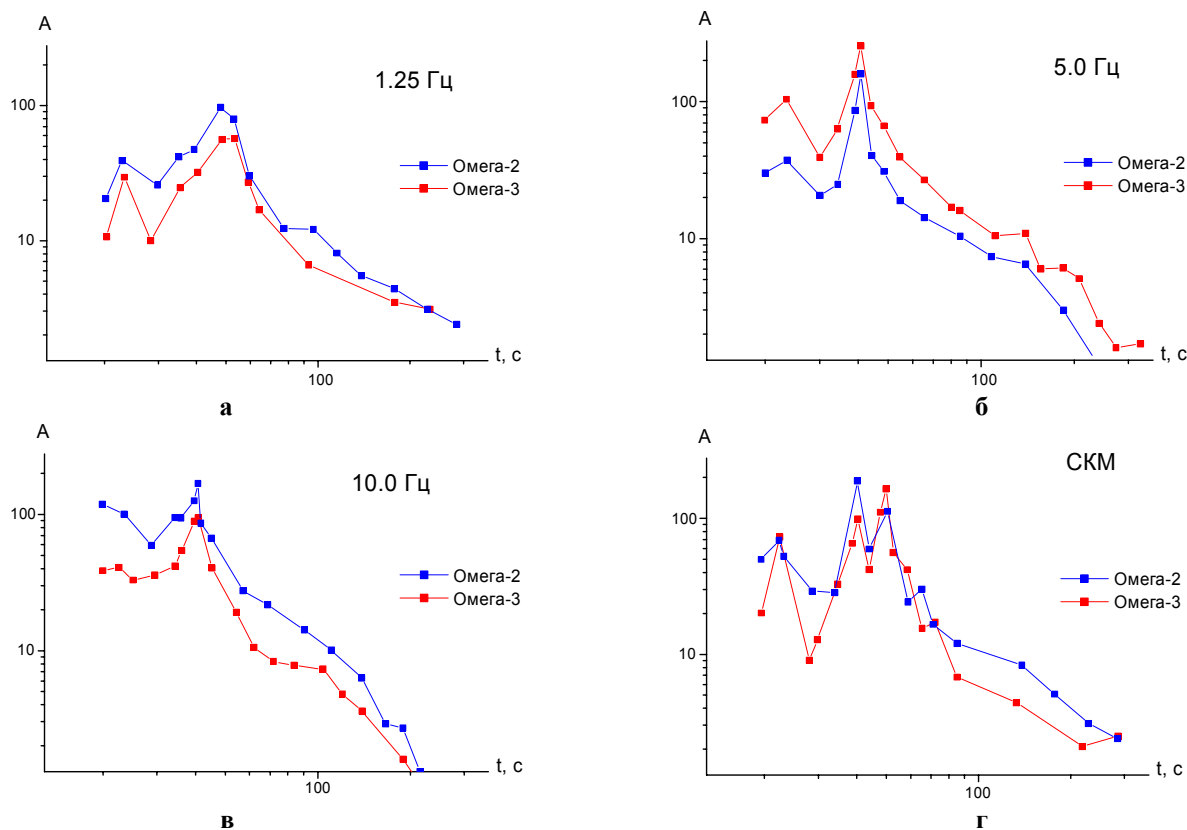


Рисунок 5. Сейсмограммы взрывов Омега-2 и Омега-3, записанные в промежуточной зоне. Станция KURK (без фильтрации)

**СРАВНЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ ОМЕГА-2 И ОМЕГА-3
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ**



Фильтры: а - с центральной частотой 1.25 Гц, б - с центральной частотой 5.0 Гц, в - с центральной частотой 10 Гц, г - СКМ.

Рисунок 6. Огибающие записей в промежуточной зоне. Станция KURK

Дальняя зона ($\Delta > 300$ км). На рисунках 7, 8 приведены записи, полученные в дальней зоне станцией Маканчи, находящейся в 445 км от эпицентров взрывов. Рассмотрению и сравнению записей без их фильтрации (Рис. 7) мешает сильный тренд. После фильтрации (Рис. 8), выполненной с использованием фильтра СКМ, проявляется большое сходство записей двух взрывов, особенно Z – компоненты. Однако наблюдаются и некоторые различия для некоторых фаз. Видно, что доминирующей волной является волна Lg, что характерно для рассматриваемых расстояний в континентальных районах, где наблюдается сравнительно слабое поглощение S-волн в земной коре. На рисунке 9 показана форма огибающих записей станции Маканчи для разных фильтров. Для обоих взрывов отмечена очень сходная форма. На фильтре СКМ (Рис. 9 г) картина более сложная, но четко видно, что уровень огибающей записей при взрыве Омега-2 выше, чем при взрыве Омега-3.

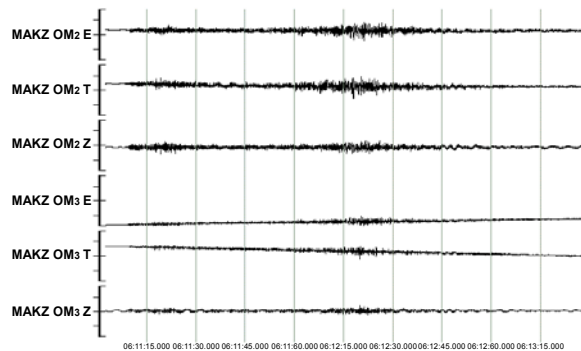


Рисунок 7. Сейсмограммы взрывов Омега-2 и Омега-3, записанные в дальней зоне. Станция MAKZ (без фильтрации)

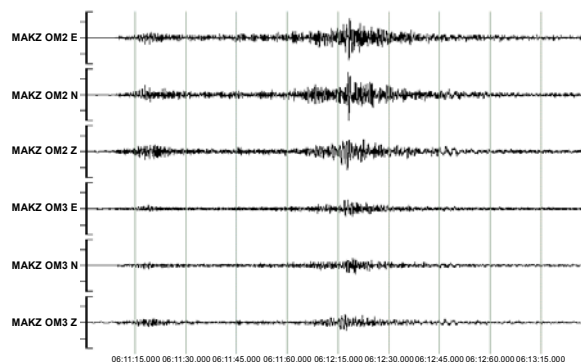
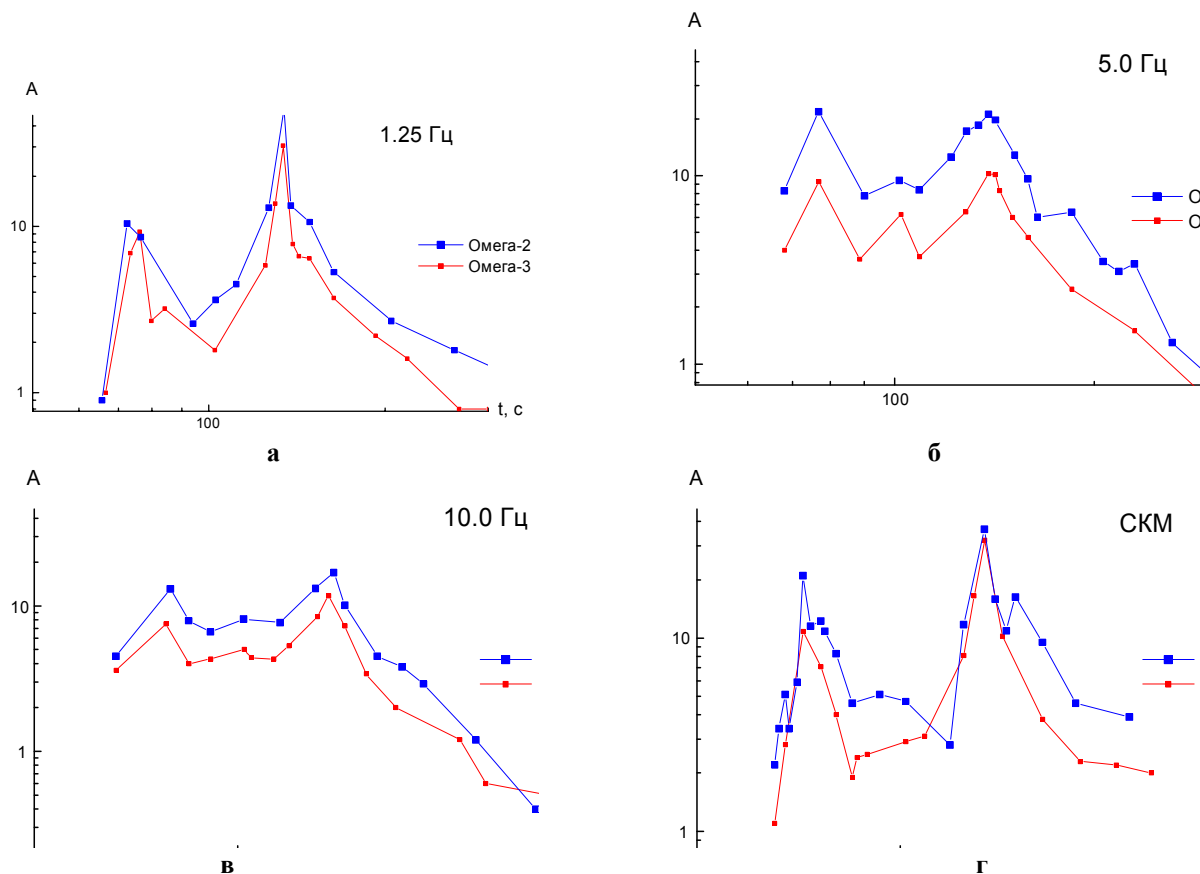


Рисунок 8. Сейсмограммы взрывов Омега-2 и Омега-3, записанные в дальней зоне. Станция MAKZ (фильтр СКМ)

**СРАВНЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ ОМЕГА-2 И ОМЕГА-3
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ**



Фильтры: а - с центральной частотой 1.25 Гц, б - с центральной частотой 5.0 Гц, в - с центральной частотой 10.0 Гц, г - СКМ.

Рисунок 9. Огибающие записей станции МАКЗ

На рисунке 10 приведен пример записи станции Успеновка (USP, $\Delta=772$ км).

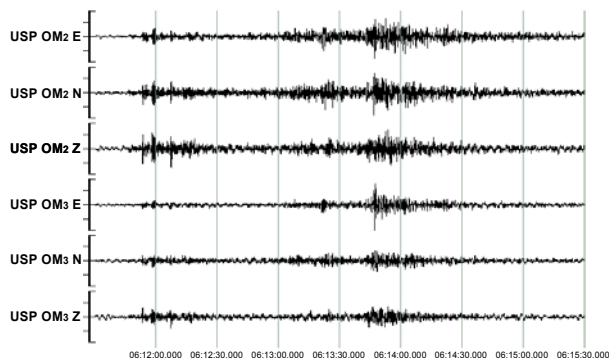


Рисунок 10. Сейсмограммы взрывов Омега-2 и Омега-3, записанные в дальней зоне. Станция USP (фильтр СКМ)

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И МАГНИТУДНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗРЫВОВ**

Известно, что магнитудная классификация сейсмических событий, происшедших на близких расстояниях, представляет собой значительную проблему. В Международном и других Центрах данных наиболее применяемой шкалой магнитудной классификации является шкала m_b . Этот вид магнитуд определяется по объемным волнам, чаще всего по Р-волнам на расстояниях более 20° . На таких расстоя-

ниях калибровочные кривые являются достаточно стабильными и позволяют получать устойчивые оценки. На меньших расстояниях магнитуду m_b либо вообще не определяют, либо для этого используют региональные калибровочные кривые, которые специально разрабатываются различными организациями. В Казахстане с 1983 г. в качестве региональной калибровочной кривой $\sigma(\Delta)$ для определения m_{trv} используют кривую Н.Н Михайловой, И.П. Неверовой. [1]. Она широко применяется при обработке записей землетрясений и включается в каталог землетрясений Казахстана. Диапазон расстояний, в пределах которого используется эта калибровочная кривая, 10 – 1000 км. Расчет m_{trv} проводится в соответствии с формулой:

$$m_{trv} = \lg(A_p / T_p) + \sigma(\Delta), \quad (1)$$

где A_p и T_p – амплитуда и соответствующий ей период фазы Р – волн, когда колебательная скорость максимальна.

В практике обработки сейсмических данных в советское время широкое распространение получила также классификация событий по энергетическим классам $K = \log E(\text{Дж})$, где E - энергия сейсмических волн, введенная Т.Г. Раутиан [2]. Эта классификация широко используется и для классификации химических взрывов, например, в [3]. Она позволяет опре-

**СРАВНЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ ОМЕГА-2 И ОМЕГА-3
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ**

делять сейсмическую энергию событий в диапазоне расстояний 10-3000 км. Расчет энергетического класса проводится в соответствии с формулой:

$$K = 1.8 \lg (A_p + A_s) + \sigma_1 (\Delta), \quad (2)$$

где A_p и A_s – максимальные амплитуды в фазах P - и S - волн по каналу СКМ, $\sigma_1 (\Delta)$ – калибровочная функция для энергетических классов в соответствии с работой [2].

Поскольку системы размещения станций, зарегистрировавших взрывы Омега-2 и Омега-3, были различными, то для корректного сопоставления сейсмических эффектов, расчеты K и m_{pv} проведены только по записям станций, зарегистрировавших оба взрыва, как это показано в таблице 7. Результаты полученных определений, приведены в таблице 9.

Таблица 9. Энергетический класс и магнитуда m_{pv} взрывов Омега-2 и Омега-3

Сеть станций	Омега-2		Омега-3	
	K	m_{pv}	K	m_{pv}
НЯЦ РК (СНК, МАКЗ, ZRN)	8.51	3.19	7.64	2.94
KNET (ULHL, USP)	8.32	3.52	7.92	3.24
IS RK (KUU, KPA)	8.52	3.15	7.48	2.75
В среднем по станциям	8.45	3.29	7.68	2.98

Как следует из таблицы, значения m_{pv} и K для взрыва Омега-2 устойчиво больше в сравнении со взрывом Омега-3. Занижение энергетического класса при взрыве Омега-3 составляет 0.77, магнитуды –

0.31. Факт более низких значений сейсмической энергии при взрыве Омега-3 был отмечен и Международным центром данных в Вене. Отмечено, что в 1998 г. взрыв Омега-1 был зарегистрирован десятью станциями и сейсмическими группами Международной системы мониторинга (IMS). Взрыв Омега-2 зарегистрирован только 5 станциями и группами IMS. Взрыв Омега-3 был зарегистрирован только одной станцией IMS и даже не попал в обработку Международного центра данных. На конференции “Omega Experiments and Source Seismic Physics” в докладе Б. Норса и др. [4] было показано, что значение магнитуды по объемным волнам, определенное в PIDC для взрыва Омега-3 на 0.25 меньше, чем для Омега-2. Значение магнитуды равно 3.63 и 3.88, соответственно. Разница в значении магнитуды событий по данным PIDC близка к полученному нами результату.

СРАВНЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ И НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Была предпринята попытка сравнения поляризации сейсмических волн при двух взрывах, а также направленности излучения и азимутального распределения знаков первых вступлений. По всем этим параметрам взрывы оказались очень похожи. На рисунке 11 приведены диаграммы поляризации начальной части записи P -волны (2 с) для станции KURK в промежуточной зоне.

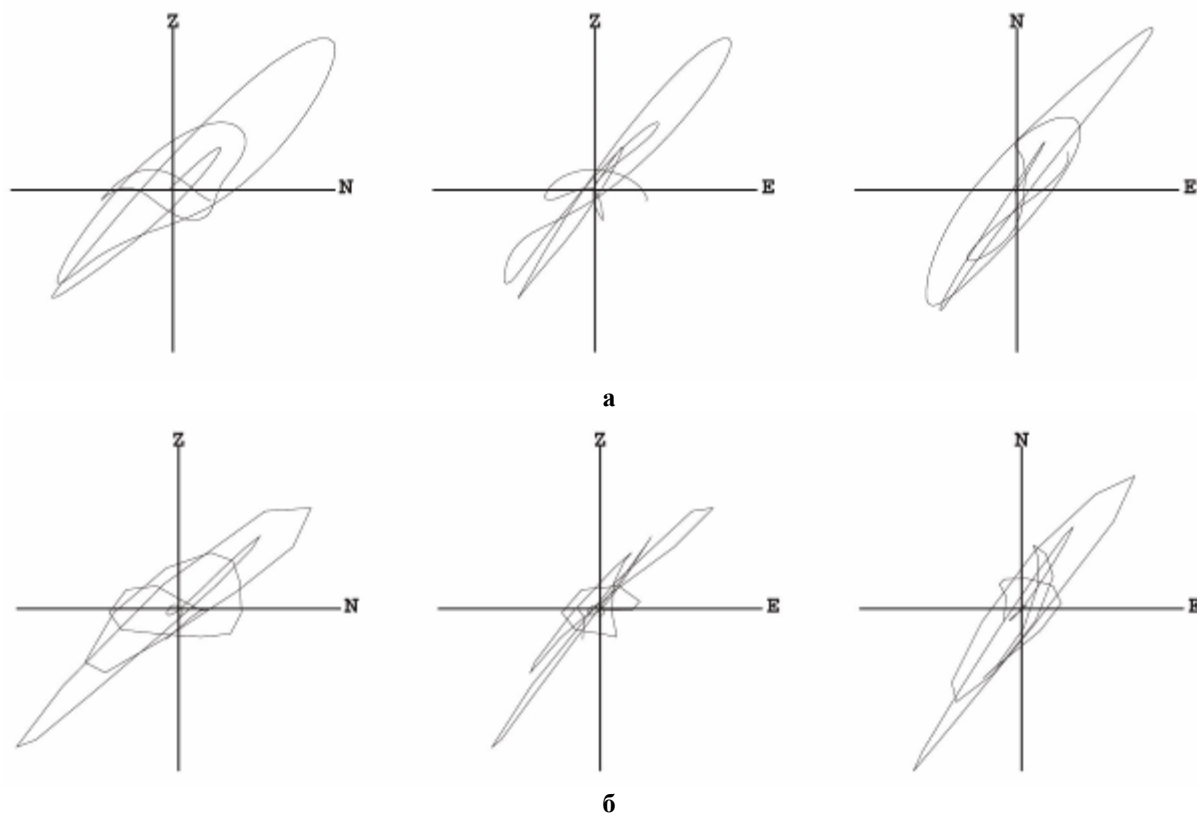


Рисунок 11. Поляризация P - волн. Станция KURK: а – Омега-2, б - Омега-3

**СРАВНЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ ОМЕГА-2 И ОМЕГА-3
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ**

	I	II
Азимут°	33	49 ±4
e°	41 W	50 SE
θ°	11	11
Простираение	-0.19	+0.19
Падение	+0.98	+0.98

	Az°	i°
i	311	88
K	190	10
x	42	82

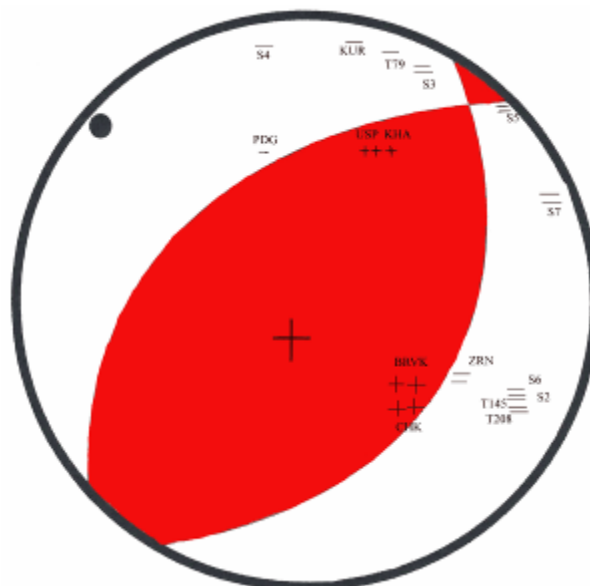


Рисунок 12. Фокальный механизм очага взрывов Омега-2, Омега-3 и знаки первых вступлений

Было изучено отношение амплитуды двух взрывов в зависимости от азимута. Существенных азимутальных различий не обнаружено. Знаки первых вступлений для взрывов теоретически должны давать значения + для всех азимутов. Но для взрывов Омега-2 и - 3 получилось распределение знаков, близкое к квадрантному, то есть, на одни станции пришли волны растяжения, на другие – волны сжатия. Аналогично построению фокальных механизмов для землетрясений, для этих калибровочных взрывов определено направление плоскости преимущественной подвижки в очаге. Распределение знаков по двум взрывам практически одинаково. На рисунке 12 проиллюстрировано полученное решение фокального механизма и приведены параметры для двух возможных плоскостей и главных напряжений.

На рисунке 13 показаны для сравнения записи станцией Курчатов (KURK) вертикальной компоненты землетрясения с эпицентром в хребте Муржик вблизи Семипалатинского полигона (26.03.1996 г., $t_0=13:58:12.0$) и двух взрывов Омега-2 и Омега-3. Как видно, волновая картина записей взрывов и землетрясений различна. Во-первых, на записях взрывов отмечено четкое второе вступление продольных волн (волна Pm), которой нет на записях землетрясения. Во-вторых, на записях взрывов зарегистрированы гораздо более сильные поверхностные волны, чем при землетрясении. То-есть, сейсмическая энергия распределена по типам волн по-разному у взрывов и землетрясений, что и используется в задачах распознавания событий.

На рисунке 14 приведены записи станцией Боровое (BRVK) вертикальной компоненты землетрясения и двух взрывов Омега-2 и Омега-3 с фильтром 2.5 Гц. Из рисунка видно, что для землетрясения меньшая доля энергии излучается в виде продольных волн, чем для химических взрывов. Этот вывод

следует и из таблицы 10, где показано отношение различных фаз в различных частотных диапазонах. Различие в значении соотношения Sn/Pn и Lg/Pn достигает 5 раз на частоте 2.5 Гц.

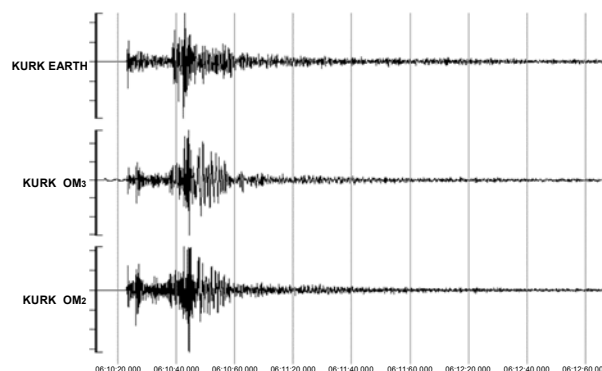


Рисунок 13. Сейсмограммы землетрясения (верхняя трасса) и двух взрывов Омега-2 и Омега-3 (нижние трассы). Станция KURK (фильтр СКМ)

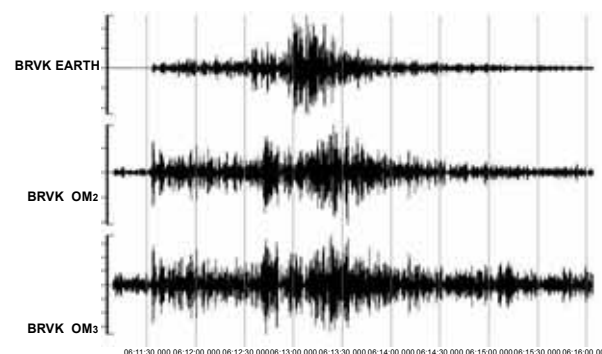


Рисунок 14. Сейсмограммы землетрясения (верхняя запись) и двух взрывов Омега-2 и Омега-3 (нижние записи). Станция BRVK (фильтр 2.5 Гц)

**СРАВНЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ ОМЕГА-2 И ОМЕГА-3
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ**

Таблица 10. Соотношение амплитуд различных волн при землетрясении и взрыве

Частота	Тип источника	Sn/Pn	Lg/Pn
2.5 Гц	Землетрясение	5.23	10.23
	Взрыв Омега-2	1.11	1.93
5.0 Гц	Землетрясение	2.32	2.32
	Взрыв Омега-2	1.31	0.72

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о том, что два взрыва одинаковой мощности, произведенные в одной и той же штольне, имели различный сейсмический эффект. Второй взрыв оказался слабее первого. С чем связано такое понижение сейсмического КПД? Этот факт может быть объяснен рядом причин.

Во-первых, геологическая среда в результате проведения взрыва Омега-2 была значительно изменена, возникли трещины в породах, вследствие чего сейсмическая составляющая от повторного взрыва была меньше.

Во-вторых, при взрыве Омега-3 произошел частичный прорыв газа над взрывной камерой, чего не наблюдалось при Омега-2, где газы распространялись вдоль штольни. Возможно, выход газа также уменьшил сейсмический эффект.

В-третьих, взрывная камера эксперимента Омега-3 была расположена в месте прохождения тектонического разлома, и в результате взрыва могло быть инициировано движение вдоль разлома, анало-

гичное землетрясению. На это также могла уйти часть энергии взрыва.

ВЫВОДЫ

1. Волновая картина записей двух взрывов Омега-2 и Омега-3 на одних и тех же станциях в пределах рассмотренных расстояний до 1000 км практически идентична. Наблюдаются одинаковые сейсмические фазы, одинаковый спектральный состав колебаний.
2. Уровень амплитуды и огибающей записей при двух взрывах на одних и тех же станциях различен. Систематически уровень огибающей для записей взрыва Омега-2 выше, чем огибающей для записей взрыва Омега-3.
3. Оценка энергетического класса и магнитуды записей для взрывов Омега-2 и -3 подтверждает вывод о том, что сейсмический эффект взрыва Омега-3 был слабее, чем Омега-2.
4. Полученные результаты следует учитывать для достижения большей дальности регистрации и большей энергии сейсмических колебаний при планировании последующих калибровочных экспериментов.

Благодарность. Авторы выражают благодарность Поleshko Н.Н. за помощь в получении решения фокального механизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова Н.Н., Неверова И.П. Калибровочная функция $\sigma(\Delta)$ для определения магнитуды MPVA землетрясений Северного Тянь-Шаня. // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. Алма-Ата, Наука, 1986г., с.41-47.
2. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км. // Труды ИФЗ АН СССР. №32 (199), 1964г. с.72-98.
3. V.I.Khalturin, T.G. Rautian, P.G. Richards. The Seismic Signal Strength of Chemical Explosions. //BSSA, Vol.88, №6, December 1998. p.1511-1524.
4. B. North, Hans Israelsson, Keith McLaughlin. Recordings of Omega Explosions at IMS Stations.// Omega Experiments and Source Seismic Physics. USGS, Reston, Virginia, December 2001.

**РЕГИОНАЛДЫҚ ҚАШЫҚТЫҚТА СЕЙСМИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕР БОЙЫНША
ОМЕГА-2 ЖӘНЕ ОМЕГА-3 ҰЛГІЛІ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ САЛЫСТЫРУЫ**

Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова

Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық орталығының Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ

Омега-2 және омега-3 ұлгілі жарылыстардың сейсмикалық жазбаларының сипаттамаларының салыстыруы өткізілген. Бір станциялармен тіркелген, спектрлік құрамы, тербелістік үйектеуі, толқындық сүреті, екі оқиғаға да сәйкес болсада, екі жарылыстың қуаты бір болғанда, Омега-3 эксперименттегі сейсмикалық тербелістердің деңгейі Омега-2 экспериментіндегіден едәуір төмен болғаны көрсетілген. Сейсмикалық эсердің айырмашылығының әр түрлі мүмкіндік себептері туралы долбар берілген.

**COMPARISON OF OMEGA-2 AND OMEGA-3 CALIBRATION
EXPLOSIONS BASING ON REGIONAL SEISMIC DATA**

N.N. Mikhailova, I.N. Sokolova

Institute of Geophysical Research of NNC RK, Kurchatov

Comparison of different parameters of seismic records of Omega-2 and Omega-3 calibration explosions was performed. It was shown that despite the equal charge the level of seismic oscillations was lower during the Omega-3 explosion than during Omega-2. Spectral composition, polarization of oscillations, wave picture is identical at a given station for both explosions. Assumptions were made on the reason of such difference in seismic effect.

УДК [550.34:541.126]:681.3(574.41)

ГОДОГРАФ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ ОТ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Михайлова Н.Н., Аристова И.Л., Германова Т.И.

Институт геофизических исследований **ННЦ РК**

При проведении сильных химических взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне получен большой объем цифровых сейсмических данных на стационарных и временных сейсмических станциях. Записи собраны, систематизированы и обработаны, созданы базы данных. Построены годографы региональных сейсмических волн Pn, Pg, Sn, Lg, которые сопоставлены с годографами, используемыми в рутинной практике обработки записей землетрясений.

В 1997 – 2000 гг. на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) проведена серия химических взрывов с целью ликвидации инфраструктуры бывшего ядерного полигона. Взрывы проводились на двух площадках – Балапан (мощность самых сильных взрывов 25 тонн) и Дегелен (три взрыва серии «Омега» мощностью 100 тонн). В таблице 1 приведена основная информация об этих взрывах.

Регистрация сейсмических сигналов проводилась станциями временной сети, а также станциями стационарной сети **ННЦ РК** и других организаций. На рисунке 1 показано расположение площадок Дегелен, Балапан в пределах Семипалатинского испытательного полигона, эпицентров взрывов и сейсмических станций ближней зоны.

Таблица 1. Основные данные о калибровочных взрывах

Дата взрыва	Точное время взрыва по GMT	Координаты		Масса заряда, кг	Глубина (высотная отметка) заряда, м	№ скважины (штольни)
		φ, N	λ, E			
Площадка Балапан						
13.07.1997	08.11.04,28	49° 52' 42,8"	78° 45' 36,4"	5000	630	1389
03.08.1997	08.07.20,04	49° 56' 28,2"	78° 47' 09,6"	25000	50	1311
31.08.1997	07.08.39,179	49° 53' 01,3"	78° 48' 53,1"	25000	300	1381
28.09.1997	07.30.15,126	49° 52' 45,9"	78° 50' 57,6"	25000	550	1349
13.07.1998	10.44.56,363	49° 52' 48,5"	78° 41' 31,4"	2028	20	1386
14.07.1998	05.11.35,570	49° 55' 53,3"	78° 47' 13,7"	2028	20	1327
14.07.1998	08.19.39,296	49° 54' 46,4"	78° 44' 55,6"	2028	20	1330
14.08.1998	04.26.52,815	50° 02' 08,4"	79° 00' 41,1"	2028	13	1409
14.08.1998	05.39.24,970	50° 03' 27,2"	78° 56' 19,3"	2028	2,5	1419
15.08.1998	02.40.59,116	49° 52' 20,6"	78° 38' 52,0"	2028	14	1383
15.08.1998	05.05.11,156	49° 52' 42,8"	78° 45' 36,4"	2028	9	1389
17.09.1998	07.19.40,551	49° 58' 51,7"	78° 45' 21,2"	25040	28	1071-bis
Площадка Дегелен (Омега - 1,- 2,- 3)						
22.08.1998	05.00.18,904	49° 46' 00,0"	77° 59' 27,0"	100000	146	214
25.09.1999	05.00.05,85	49° 46' 54,68"	77° 57' 58,68"	100000	0	160-b
29.07.2000	06.10.04,03	49° 46' 55,39"	77° 57' 59,97"	100000	6	160-c

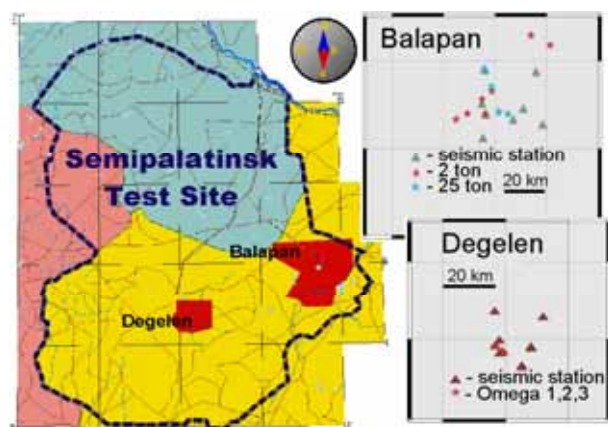


Рисунок 1. Расположение станций ближней зоны при взрывах на участках Балапан и Дегелен

Рисунок 2. Расположение стационарных и временных станций **ННЦ РК** на период проведения калибровочных взрывов

**ГОДОГРАФ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ
ОТ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

На рисунке 2 дано расположение стационарных станций НЯЦ РК и временных станций Баян- Аул и Каркаралинск.

На всех приведенных станциях регистрация взрывов проводилась в цифровом виде.

Станции профиля Семипалатинский испытательный полигон (STS) - Боровое и Тянь-Шаньской сети показаны на рисунке 3. По профилю STS- Боровое были выставлены станции с аналоговой регистрацией сигналов на магнитную ленту, а станции Тянь-Шаньской сети регистрировали события в цифровом виде.

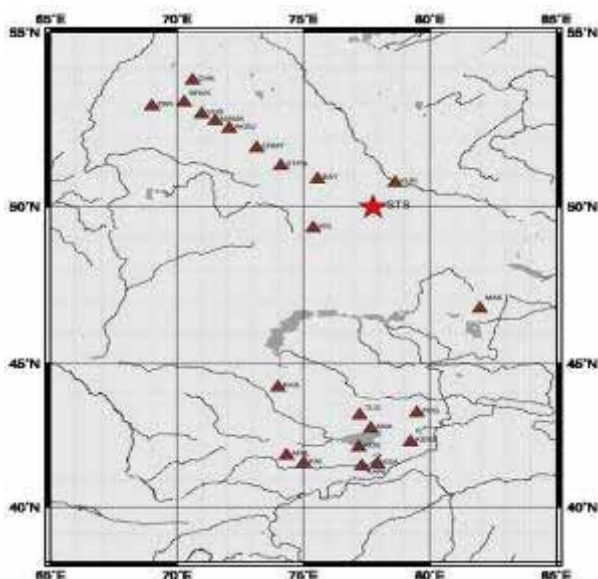


Рисунок 3. Станции профиля STS- Боровое и Тянь – Шаньской сети

Данные всех станций были собраны в Центре данных ИГИ НЯЦ РК и по ним созданы базы, в которые вошла информация о взрывах, о станциях регистрации, исходные цифровые записи событий и результаты их обработки. В таблице 2 дан перечень

Таблица 2. Характеристика базы данных по химическим взрывам на СИП (1997-2000 гг.)

Дата взрыва	Время взрыва по GMT	Масса заряда, кг	Перечень станций, зарегистрировавших взрывы			
			в ближней зоне	сети НЯЦ РК	Тянь-Шаньской сети	Другие
<i>Площадка Балапан</i>						
06.07.1997	09.32.46,0	52,0	S3, S6	--	--	--
06.07.1997	12.44.05,40	51,2	S3, S6, S8	--	--	--
07.07.1997	11.40.49,80	106,8	S7, S8	--	--	--
07.07.1997	07.27.38,2	91,2	S6, S7, S8	--	--	--
07.07.1997	07.56.49,6	91,2	S7, S8	--	--	--
13.07.1997	08.11.08,799	5000	S1, S2, S3, S4, S8, S7, S8, S9	CROSS-ARRAY	--	--
03.08.1997	08.07.20,04	25000	S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	AKT, BRVK, CHK, KUR, MAK, TLG, VOS, ZRN, CROSS-ARRAY	--	--
31.08.1997	07.08.39,179	25000	S1, S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	AKT, BRVK, CHK, KUR, MAK, TLG, VOS, ZRN, CROSS-ARRAY	--	BAY
28.09.1997	07.30.15,126	25000	S1, S2, S3, S6, S7, S8, S9	AKT, BRV, CHK, KUR, MAK, TLG, VOS, ZRN, CROSS-ARRAY	--	BAY, KKL

станций, записи которых вошли в состав созданных баз данных. Видно, что слабые взрывы были зарегистрированы только станциями ближней зоны, наиболее сильные – большим числом станций разных сетей.

Обработка отобранных данных с целью построения годографов включала в себя интерпретацию волновой структуры записей – выделение и идентификацию сейсмических фаз, определение времен вступления различных сейсмических волн, особенно региональных сейсмических фаз в диапазоне расстояний до 1000 км.

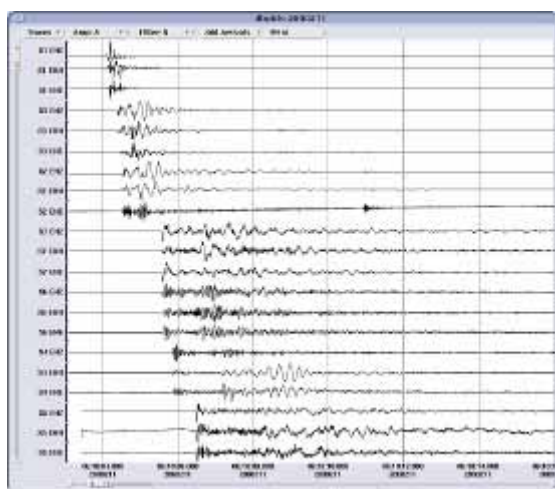
Для анализа были выделены три группы данных, различающихся эпицентральным расстоянием и волновой картиной на сейсмограммах, соответственно. Первая группа – ближняя зона, $\Delta = 0-30$ км. Вторая группа – промежуточная зона, $\Delta = 50-300$ км. Третья группа – дальняя зона, Δ до 1000 км.

На рисунке 4 приведен пример записей двух калибровочных взрывов станциями ближней зоны. По записям ближней зоны определялись времена вступления фаз P, S и Rg. Далее, как отдельно для каждой площадки Балапан, Дегелен, так и для обеих вместе, были построены годографы сейсмических волн. На рисунке 5 приведены годографы и средние скорости для совместных годографов обеих площадок. Отмечено, что разброс данных для площадки Дегелен значительно меньше, чем для площадки Балапан.

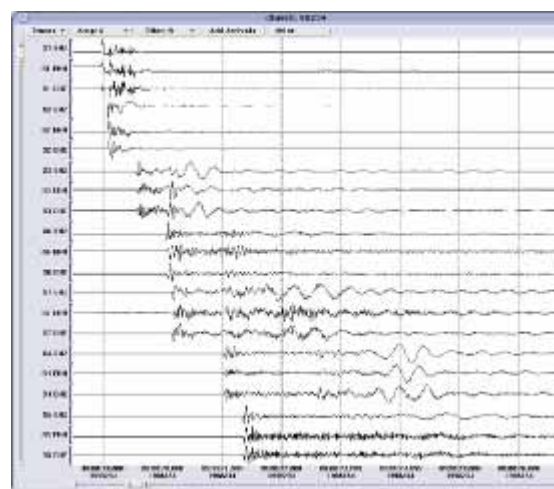
Этот факт может быть объяснен относительно большей однородностью станционных условий площадки Дегелен. На площадке Балапан грунтовые условия в местах установки сейсмоприемников варьируют значительно. Определены и приведены на рисунке 5 средние скорости сейсмических волн P, S и Rg отдельно для каждой площадки, а также в целом для полигона.

**ГОДОГРАФ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ
ОТ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

Дата взрыва	Время взрыва по GMT	Масса заряда, кг	Перечень станций, зарегистрировавших взрывы			
			в ближней зоне	сети НЯЦ РК	Тянь-Шаньской сети	Другие
13.07.1998	10.44.56,363	2028	S4, S7, S8, S9	KUR, CROSS-ARRAY	--	--
14.07.1998	05.11.35,570	2028	S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	KUR, CROSS-ARRAY	--	--
14.07.1998	08.19.39,296	2028	S2, S3, S4, S6, S7, S9	KUR, CROSS-ARRAY	--	--
14.08.1998	04.28.52,815	2028	S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	KUR, CROSS-ARRAY	--	--
14.08.1998	05.39.24,970	2028	S2, S3, S4, S7, S8, S9	KUR, CROSS-ARRAY	--	--
14.08.1998	07.44.11,545	223	S2, S3, S4, S6, S8	--	--	--
15.08.1998	02.40.59,116	2028	S1, S2, S3, S4, S6, S7, S9	KUR, CROSS-ARRAY	--	--
15.08.1998	01.09.23,890	100	S1, S2, S3, S4, S6, S7, S9	--	--	--
15.08.1998	05.05.11,156	2028	S1, S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	KUR, CROSS-ARRAY	--	--
17.09.1998	07.19.40,551	25040	S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9	AKT, BRVK, CHK, KUR, TLG, VOS, ZRN, MAKZ, CROSS-ARRAY	KHA, KSA	BAY, KKL, KNET
<i>Площадка Дегелен</i>						
22.08.1998	05.00.18,904	100000	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7	AKT, BRVK, CHK, KUR, MAK, MAKZ, PDG, VOS, ZRN, CROSS-ARRAY	ANA, KSA	BAY, KKL, AKSU, DEG, ERMT, MAMA, STPN, KNET
25.09.1999	05.00.06,0	100000	S1, S3, S5, S6, S7	BRVK, KUR, MAKZ, PDG, TLG, CROSS-ARRAY	KENS, KHA, KSA, KARL	--
29.07.2000	06.10.04,25	100000	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7	CHK, MAKZ, TLG, VOS, ZRNK, CROSS-ARRAY	--	--



а



б

Рисунок 4. Пример записей калибровочных взрывов станциями ближней зоны: а – Омега-1, б – Омега-3

В промежуточной зоне относительно взрывов находились сейсмическая группа Курчатов-Крест, сейсмостанция Курчатов, временные сейсмические станции Баян-Аул и Каркаралинск. На рисунке б показаны записи взрыва Омега-1, полученные сейсмической группой Курчатов – Крест и сейсмической станцией Курчатов на расстоянии немногим более 100 км. На этих записях четко выделяются два вступления в Р- волнах и два – в S – волнах. После вто-

рой S- волны отмечены интенсивные поверхностные волны. В записях 25 –тонных взрывов, произведенных на площадке Балапан, такие вступления также выделяются, но они видны менее четко. Как выяснилось при последующем анализе [1], это - волны, отраженные от границы Мохоровичича Р_m и S_m, которые чрезвычайно редко удается столь четко наблюдать на сейсмограммах. Мы четко зарегистрировали их на записях всех взрывов Омега.

**ГОДОГРАФ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ
ОТ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

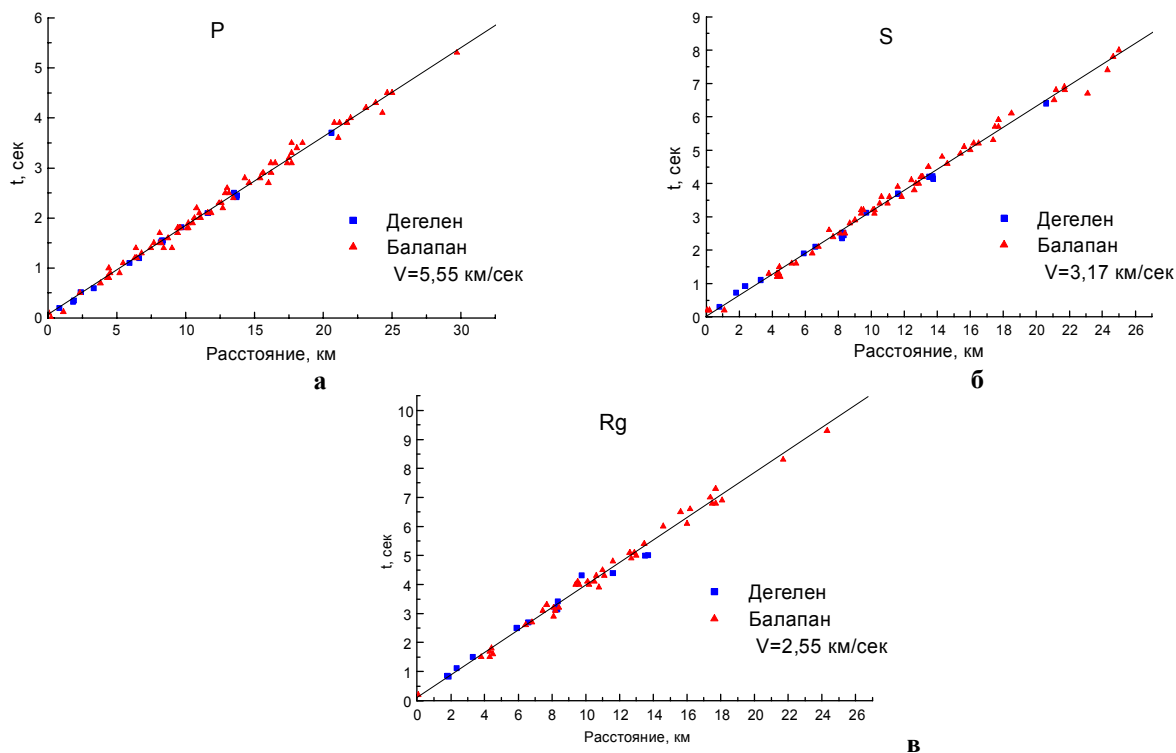


Рисунок 5. Годографы волн в ближней зоне: а - P, б - S, в - Rg

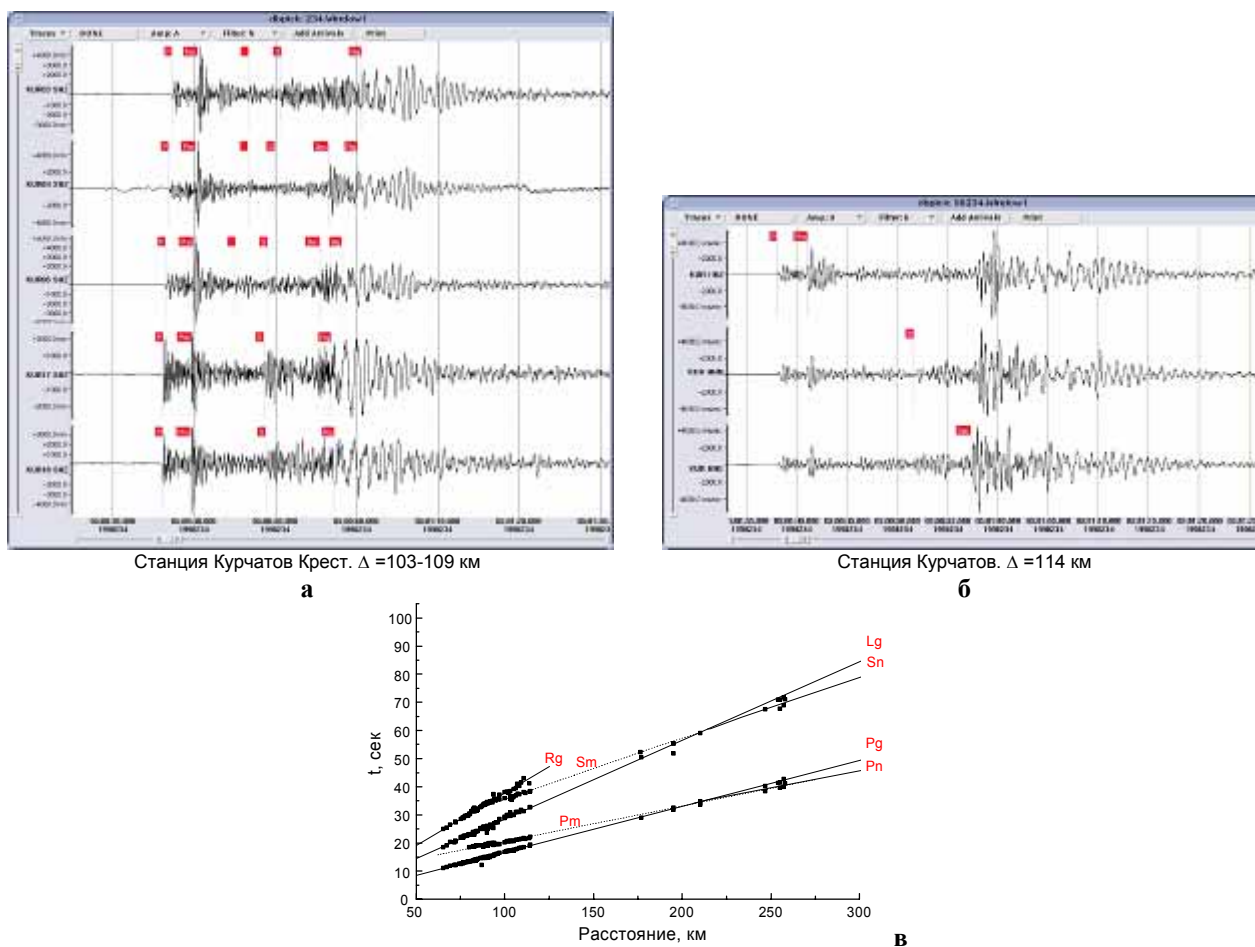


Рисунок 6. Примеры записей (а, б) и годографов (в) сейсмических волн в промежуточной зоне

К наиболее интересной части годографа относятся данные станций Каркаралинск и Баян – Аул, в пределах расстояний 180- 250 км, где происходит смена типов волн, вступающих на записи первыми. В Р- волнах наблюдается очень сложная картина. Сначала - малоинтенсивное низкочастотное вступление, затем - высокочастотная P_n - волна. Максимальные колебания в группе Р связаны с P_g – волной. В группе S- волн – сначала вступает волна S_n , отличающаяся в основном спектральным составом от колебаний в коде Р-волн. Самая интенсивная - L_g -волна. На рисунке 6 показан фрагмент годографа для этого диапазона расстояний.

Интересные факты в волновой картине были зафиксированы на некоторых станциях в дальней зоне. Например, станцией Талгар, расположенной примерно в 700 км от места взрывов. Отмечено интенсивное второе вступление после P_n -волны, но до вступления P_g -волны. Для изучения этой фазы дополнительно были собраны архивные записи станцией Талгар ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне в 1964-1975 гг., проведенных на площадках Дегелен, Балапан и Муржик. Удалось установить, что эта волна выделяется на всех записях станции независимо от расположения меставзрыва. На рисунке 7 показан фрагмент годографа по волне P_2 .

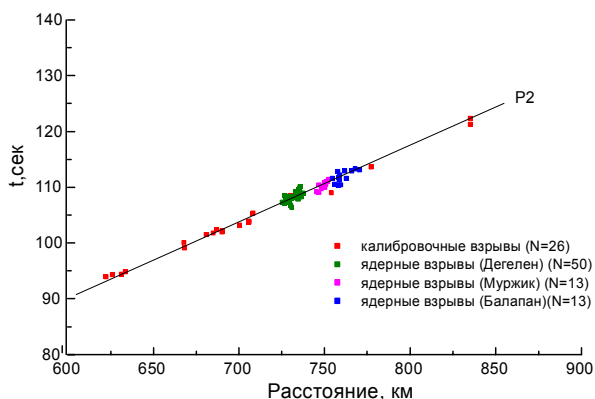


Рисунок 7. Годограф волны P_2 . Дальняя зона

Скорее всего, путь распространения этой волны связан со слоями в нижней части земной коры.

На основе проведенных измерений времен вступлений и их анализа удалось построить годографы всех региональных фаз, в значительной степени уточняющих годограф, построенный ранее по 3 взрывам, проведенным в 1998 г.[1]. В данном случае в дальней зоне регистрировались взрывы серии Омега, в промежуточной – 25-тонные взрывы на

площадке Балапан и взрывы серии Омега, в ближней зоне – все взрывы. Сводный годограф по серии взрывов 1997-2000 гг. на Семипалатинском испытательном полигоне приведен на рисунке 8.

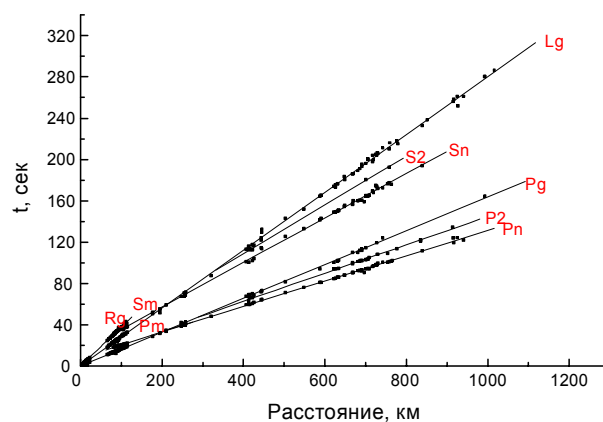


Рисунок 8. Сводный годограф по результатам регистрации калибровочных взрывов

Из рисунка 8 видно, что некоторые расстояния обеспечены информацией о временах пробега недостаточно представительно. Поэтому годографы были дополнены результатами собственных измерений времен пробега по имеющимся архивным записям ядерных и калибровочных взрывов других организаций. Была использована следующая информация:

- записи ядерных взрывов Семипалатинского испытательного полигона специально установленными станциями Комплексной сейсмической экспедиции Института Физики Земли (КСЭ ИФЗ), расположенными на территории Казахстана и Центральной Азии. Использованы записи 33 станций по 65 событиям. Записи были сделаны аналоговой аппаратурой с регистрацией на бумажный носитель (РВЗТ, КСЭ и СКМ);
- записи ядерных взрывов и калибровочных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне станциями Института сейсмологии МОН РК. Использованы записи 27 станций по 44 событиям. Сейсмограммы были зарегистрированы на фотобумагу аппаратурой СКМ.

На рисунке 9 приведены годографы P_n , P_g , S_n , L_g , дополненные результатами обработки этих архивных записей. Как видно из приведенных годографов, отдельные станции находились на расстояниях 1500 км от взрывов.

**ГОДОГРАФ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ
ОТ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

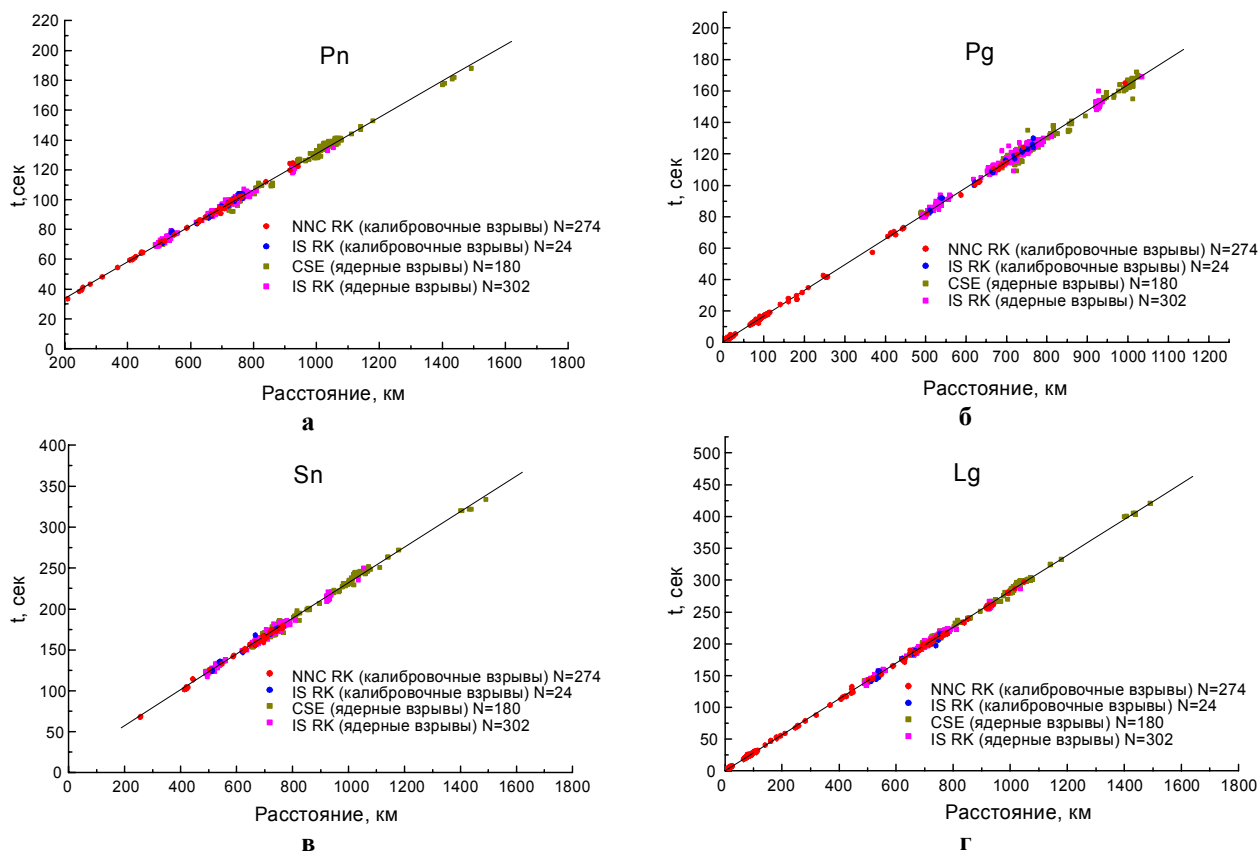


Рисунок 9. Годографы основных типов волн по комплексу данных химических и ядерных взрывов

Годографы всех основных региональных типов волн строились с использованием линейного регрессионного анализа данных и рассчитывались так, чтобы достичь наилучшего приближения оцениваемой прямой линии к наблюдаемым значениям, т.е. получения минимального среднеквадратичного отклонения значений времен пробега от осредняющей линии годографа.

Времена пробега основных региональных сейсмических фаз в зависимости от эпицентрального расстояния могут быть представлены следующими уравнениями, приведенными в нижеследующей таблице 3.

Таблица 3. Уравнения годографов основных типов сейсмических волн

Фаза	Расстояние, км	Уравнение
Pn	200 – 1500	$9,55 + 0,12 \cdot \Delta$
Pg	0-30	$0,12 + 0,18 \cdot \Delta$
	30-1050	$0,57 + 0,16 \Delta$
Sn	200-1500	$14,13 + 0,22 \Delta$
Lg	0-30	$0,09 + 0,31 \cdot \Delta$
	30-1500	$0,31 + 0,28 \Delta$

Проведено сопоставление полученных годографов с другими годографами, используемыми при рутинной обработке землетрясений Казахстана для глубин событий 0 км. К ним относятся:

- во-первых, годограф IASPEI-91, который введен в программные пакеты для обработки данных;
- во-вторых, годограф КСЭ, построенный Нерсесовым И.Л. и Раутиан Т.Г. [2] по так называемому Большому профилю, работы по которому были выполнены КСЭ ИФЗ СССР;
- в-третьих, годографы, полученные Кириченко В.В. и Краевым Ю.А. [3] в работах по использованию подземных ядерных взрывов для сейсмической калибровки центральной части Северной Азии. Авторы данной статьи также участвовали в этих работах, и поэтому результаты по ядерным взрывам частично перекрываются.

В процессе сопоставительного анализа был выявлен факт различия годографов IASPEI-91 для региональных расстояний, заложенных в разные программные пакеты, используемые в Центрах данных. Так, в программных комплексах Geotool и Seatool использован один вариант годографа, в программных комплексах DATASCOPE и Antelope – другой вариант годографа IASPEI-91. Этот факт в результате нашего замечания был специально исследован в Международном центре данных (IDC).

Годограф, описанный в данной работе, удовлетворительно согласуется с одним из вариантов годографа IASPEI-91 (в составе Geotool), тогда как с другим (в составе Antelope) – существенно расходится. Учитывая это, далее проведено сопоставле-

**ГОДОГРАФ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ
ОТ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

ния годографов - полученного и IASPEI-91 по его версии в программном комплексе Geotool. На рисунке 10 приведены результаты этого сопоставления, а на рисунке 11 показано отклонение времен пробега волн по полученному годографу от трех других - Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г., 1964; IASPEI, 1991; Кириченко В.В. и Краев Ю.А., 2002. Сопоставление дало следующие результаты.

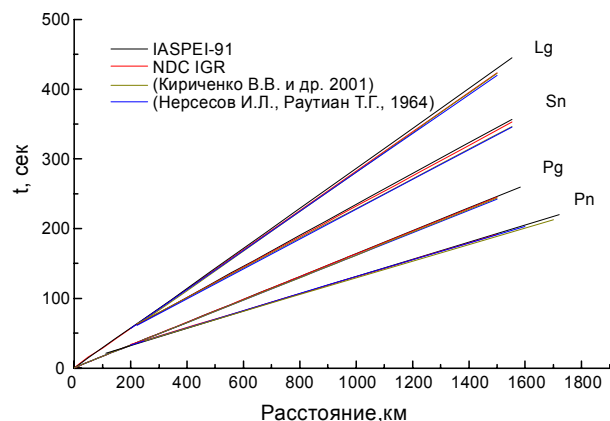


Рисунок 10. Сопоставление различных годографов

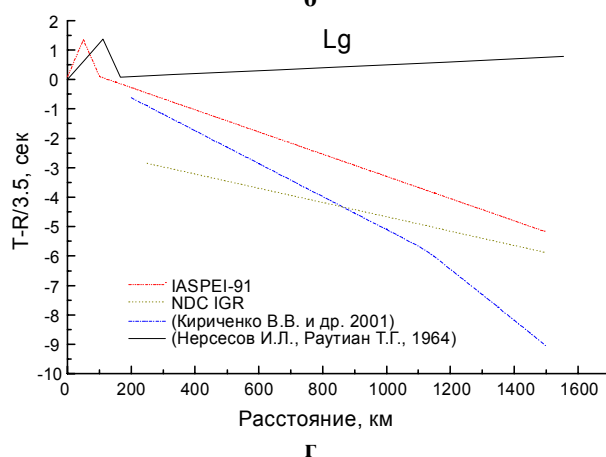
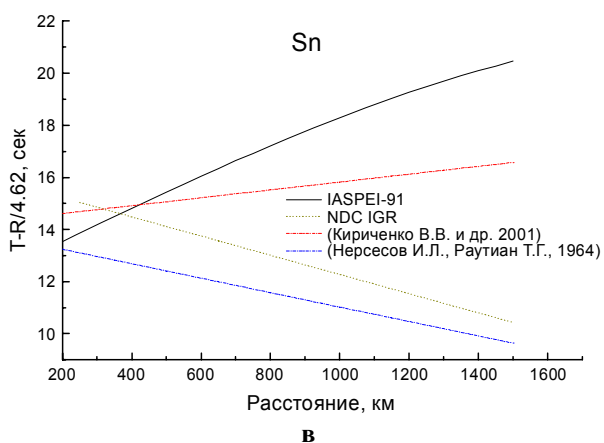
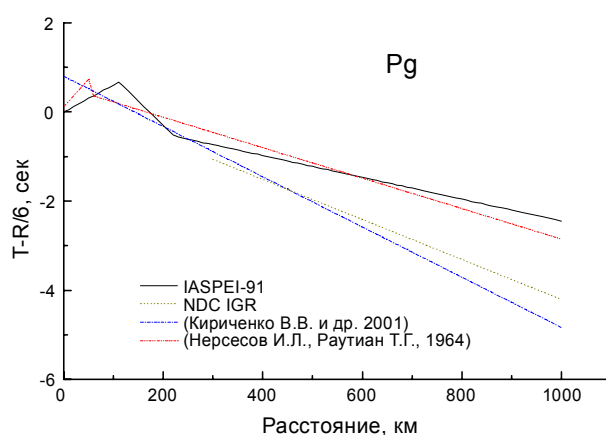
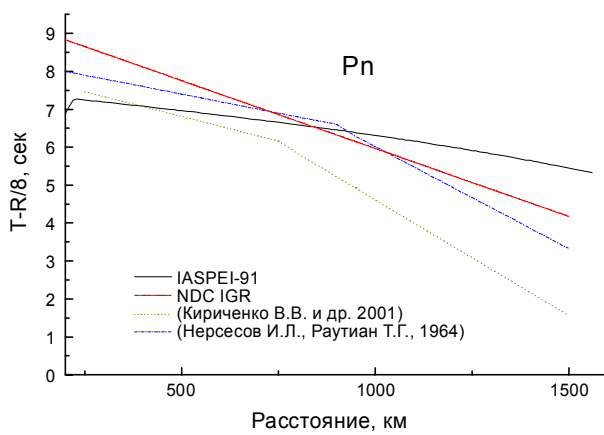


Рисунок 11. Региональные годографы и годограф IASPEI-91

Все годографы Pn – волны (Рис.11 а) на расстояниях до 1200 км различаются незначительно - в пределах 2-3 с. Для Pg – волны (Рис. 11 б), скорость которой характеризует среднюю скорость в земной коре, наблюдаются также небольшие различия, не превышающие 2 с при $\Delta = 1000$ км. Времена пробега Sn и Lg – волн (Рис. 11 в, г) характеризуются большим разбросом и большими отклонениями трех региональных годографов от годографа IASPEI-91.

Для всех региональных годографов характерна скорость большая, чем у годографа IASPEI-91.

Для полученных годографов были вычислены модельные ошибки как среднее квадратичное отклонение экспериментальных значений от оцениваемой прямой, рассчитанные в скользящем 2-градусном окне с 50% перекрытием. Значения модельных ошибок приведены на рисунке 12.

**ГОДОГРАФ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ
ОТ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

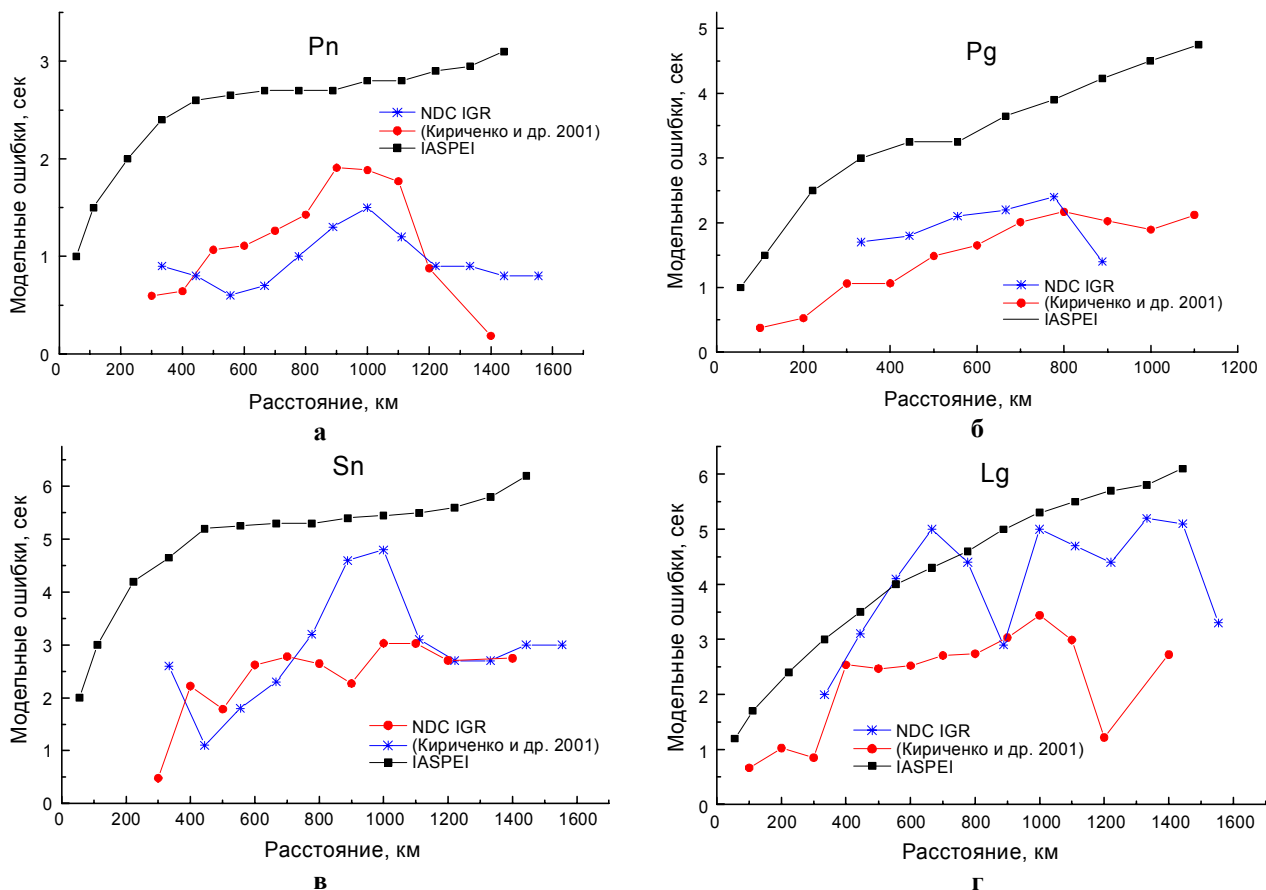


Рисунок 12. Сравнение модельных ошибок различных годографов на региональных расстояниях

Как видно из рисунка 12, во всем исследуемом диапазоне расстояний от 20 до 1500 км модельные ошибки нового годографа оказались значительно меньше, чем годографа IASPEI-91, и аналогичны рассчитанным в [3].

Таким образом, в результате работ, проведенных в Институте геофизических исследований НЯЦ РК

- собран и архивирован большой объем цифровых записей и оцифрованных аналоговых записей калибровочных взрывов 1997-2000 гг. на региональных расстояниях;
- проведена полная обработка всех региональных сейсмических фаз по всем записям. Результаты обработки представлены в формате сейсмологического бюллетеня и базы данных DATASCOPE. Записи и результаты обработки могут быть использованы для дальнейших научных исследований;
- построены сводный годограф региональных сейсмических волн как отдельно по данным химических взрывов, так и совместно с данными по ядерным взрывам, произведенным на Семипалатинском испытательном полигоне;

- установлено различие в годографе IASPEI-91 на региональных расстояниях в разных программных пакетах, используемых в Центре данных при рутинной обработке. Проведено сопоставление построенного годографа с IASPEI-91 в составе программного комплекса Geotool, более близкого к построенному нами региональному годографу;
- путем сопоставления построенного годографа с другими региональными годографами показана их близость между собой в пределах расстояний до 1000 км, особенно в продольных волнах;
- применением годографов для обработки записей известных взрывов установлено, что наш региональный годограф позволяет приблизить расчетный эпицентр к истинному относительно IASPEI-91 в среднем на 12,5 км;
- выделены дополнительные сейсмические фазы, не отраженные в предыдущих версиях регионального годографа (Pm, Sm, P2) и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. N.N.Belyashova, V.I. Shacilov, N.N.Mikhailova et al. On the Use of Calibration Explosions at the Former Semipalatinsk Test Site for Compiling a Travel – Model of the Crust and Upper Mantle // Pure and Applied Geophysics (PAGEOPH). Birkhauser Verlag, Basel, 2001/ P.193 – 209Алексеев А.С., Рябой В.З. Модель строения верхней мантии по объемным сейсмическим волнам/.Строение земной коры и верхней мантии по данным сейсмических исследований – Киев: Наукова думка, 1977 - с. 67-83.
2. Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км. // Труды Института физики Земли АН СССР. №32 .Москва, 1964. С.63-87.
3. Кириченко В.В., Краев Ю.А. Использование подземных ядерных взрывов, проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, для сейсмической калибровки Центральной части Северной Евразии. Вестник НЯЦ РК «Геофизика и проблемы нераспространения», выпуск 2. 2001.С. 64-71.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ ХИМИЯЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДАН БОЛҒАН СИГНАЛДАРЫҢ ТІРКЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ БОЙЫНША СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ГОДОГРАФТАРЫ

Н.Н. Михайлова, И.Л. Аристова, Т.И. Германова

ҚР Ұлттық ядрлық орталығының Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ.

Семей сынау полигонындағы күшті химиялық жарылыстарын өткізүүде, стационарлы және уақытша сейсмикалық санциялармен цифрлы сейсмикалық деректердің үлкен көлемі алынған. Жазбалар жиналған, жүйеге келтірілген және өңделген, деректер базасы жасалған. Pn, Pg, Sn, Lg аймақтық сейсмикалық толқындардың годографтары салынған және олар, жер сілкінулердің жазбаларын ескішіл өңдеу практикасында қолданатын годографтармен салыстырылған.

SEISMIC WAVES TRAVEL-TIME CURVE, BASING ON THE RESULTS OF SIGNAL DETECTION FROM CHEMICAL EXPLOSIONS DETONATED AT SEMIPALATINSK TEST SITE

N.N. Mikhailova, I.L. Aristova, T.I. Germanova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

A large amount of digital seismic data from the permanent and temporary seismic stations was acquired in the result of detonation of large chemical explosions at Semipalatinsk Test Site. All the records were collected, systematized and processed, and databases were created. Travel-time curves for regional Pn, Pg, Sn and Lg waves were created and compared with the ones used in routine earthquake processing practice.

УДК 550.34(574.24/41)

**ВРЕМЯ ПРОБЕГА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ P_n НА ТРАССЕ СЕМИПАЛАТИНСКИЙ
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН – СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ БОРОВОЕ**

Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М.

Институт динамики геосфер Российской Академии Наук, Москва

В данной работе использовано 160 взрывов на площадке Дегелен за 1961-1989 гг. и 89 взрывов на площадке Балапан за 1968-1989 гг. Все времена пробега волны P_n приведены: а) к уровню моря в соответствии со скоростными характеристиками среды в гипоцентре взрыва; б) к среднему эпицентральному расстоянию для каждой площадки по их локальным годографам волны P_n относительно станции “Боровое”.

Максимальная амплитуда вариаций среднегодовых времен пробега составляет 0.3 – 0.5 с, как и на трассах Невадский полигон – Боровое и Мирный (Антарктида). Однако линейный тренд, в отличие от предыдущих трасс, имеет отрицательный знак (порядка 0.08 с для Дегелена и 0.1 с для Балапана). То есть, скорость волны P_n увеличивается с календарным временем.

ВВЕДЕНИЕ

Длительные наблюдения за временами пробега сейсмических волн на неизменной трассе позволяют проследить за динамическими процессами в геосферах Земли. В таких исследованиях наиболее точные результаты можно получить, с одной стороны, при использовании сейсмических источников с хорошо известными параметрами очага и, с другой стороны, при обработке сейсмических волн, зарегистрированных цифровыми сейсмическими станциями.

В настоящей работе использованы данные о временах пробега сейсмических волн P_n , возбужденных подземными ядерными взрывами на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) и зарегистрированных цифровой сейсмической станцией «Боровое» (BRVK). Параметры взрывов на СИП опубликованы с высокой точностью: географические координаты до 0.0003 градуса (до 1 угловой секунды), время в очаге до 0.01 с, глубина заложения заряда и высота над уровнем моря до 1 м, скорость продольной волны до 0.1 км/с [Бочаров и др., 1989; Коновалов, Грязнов, 2000; Thurber et al., 1993, 1994, 1999]. На сейсмической станции “Боровое” цифровая регистрация начата в 1966 году. Она обеспечивала абсолютную погрешность определения времени, не превышающую 0.05 с [Адушкин, Ан, 1990; Adushkin, An, 1993; Адушкин и др., 2000]. Это позволило провести исследования на трассах Балапан – BRVK и Дегелен – BRVK. На испытательных площадках Балапан и Дегелен в период 1961 – 1989 гг. проведено основное количество подземных ядерных испытаний – 106 и 205, соответственно, из общего числа 337 [Ядерные, 1997]. Взрывы, выполненные одновременно в двух и более разных местах, а также очень малой мощности (как правило, меньше 0.001 кт) в данной работе не использовались.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ

Взрывы на площадках Балапан и Дегелен анализируются раздельно, так как эти площадки различаются геолого-геофизическими условиями.

На площадке Балапан испытания проводились в скважинах глубиной 200 – 600 м, т.е. гипоцентр располагался на глубине от -300 до 100 м относительно уровня моря. Скорости продольной волны в гипоцентрах взрывов составляют 4.6 – 6.4 км/с. В обработку принято 89 взрывов с эпицентральными расстояниями 678 – 698 км с 1968 г. по 1989 г.

На площадке Дегелен, расположенной в горном массиве, все взрывы выполнены в штольнях на высоте 400 – 800 м относительно уровня моря. Скорости продольной волны в местах заложения зарядов находятся в пределах 4.7 – 5.9 км/с. В обработку принято 160 взрывов с эпицентральными расстояниями 645 – 659 км с 1961 г. по 1989 г. Отметим, что времена вступления волны P_n от 43 взрывов на площадке Дегелен получены обработкой фотооптических сейсмограмм со скоростью записи 60 мм/мин и погрешностью службы времени порядка 0.3 с [Адушкин, Ан, 1990].

Цифровые сейсмограммы станций КОД и СЦР имеют шаг дискретизации в пределах 0.026 – 0.032 с.

Методика обработки включает ряд последовательных операций:

- расчёт эпицентральных расстояний по геодезическим координатам эпицентров и станции “Боровое”;
- приведение времени взрыва к уровню моря в соответствии с глубиной и скоростью продольной сейсмической волны в гипоцентре;
- определение времени вступления волны P_n на станции BRVK;
- построение локального годографа волны P_n для каждой трассы площадка – станция;
- приведение времён пробега всех взрывов на данной площадке к одному (среднеарифметическому) эпицентральному расстоянию в соответствии с локальным годографом;
- вычисление среднего приведенного времени пробега волны P_n всех взрывов за один календарный год и его стандартного отклонения;

- вычисление линейного тренда и спектра квази-периодических отклонений среднегодовых приведённых времён пробега на интервале исследования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 представлены локальные годографы волны P_n на трассах Дегелен – BRVK и Балапан – BRVK.

Уравнения локальных годографов:

- площадка Дегелен
 $t(c) = (0.12448 \pm 0.00376) \times \Delta(\text{км}) + (7.69 \pm 2.45)$
- площадка Балапан
 $t(c) = (0.12496 \pm 0.00182) \times \Delta(\text{км}) + (6.68 \pm 1.25)$

На рисунке 2 показана схема лучей сейсмических волн P_n, P и PKiKP, использованных для анализа, а на рисунке 3 – изменения среднегодовых значений невязок приведенных времён пробега этих волн.

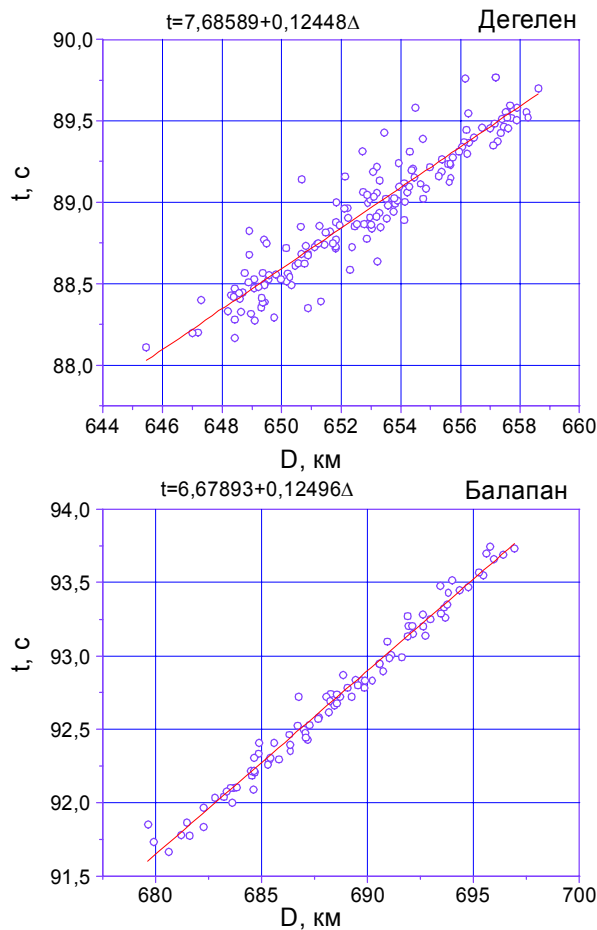


Рисунок 1. Локальные годографы волны P_n при h = 0 км

На трассе СИП – BRVK времена пробега волны P_n, основной путь которой проходит в верхах мантии и коре, имеют отрицательный линейный тренд, составляющий –2.06 мс/год (Дегелен – BRVK, Рис. 3а) и –4.90 мс/год (Балапан – BRVK, Рис. 3б).

На трассе Невада (NTS) – BRVK времена пробега волны P, проникающей почти до границы мантии – внешнее ядро, имеют положительный линейный тренд +6.97 мс/год (Рис. 3в). На трассе Балапан – BRVK времена пробега волны PKiKP, отраженной от границы внутреннего ядра, имеют положительный тренд +8.21 мс/год (Рис. 3г). На линейные тренды наложены вариации времен пробега различных периодов: 4, 6, 7.5 лет и др. [Адушкин и др. 2000, 2001]. Результаты оценок изменений параметров времен пробега сейсмических волн с основными характеристиками использованных данных сведены в таблицу.

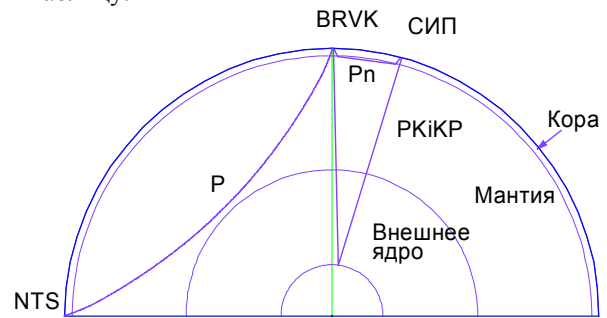
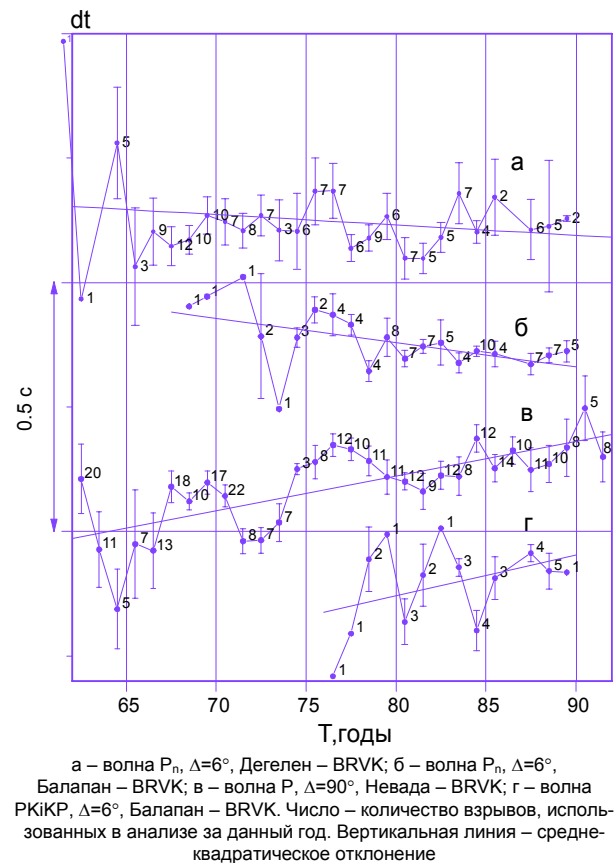


Рисунок 2. Схема сейсмических лучей волн P_n, P и PKiKP



а – волна P_n, Δ=6°, Дегелен – BRVK; б – волна P_n, Δ=6°, Балапан – BRVK; в – волна P, Δ=90°, Невада – BRVK; г – волна PKiKP, Δ=6°, Балапан – BRVK. Число – количество взрывов, использованных в анализе за данный год. Вертикальная линия – средне-квадратическое отклонение

Рисунок 3. Изменения среднегодовых значений невязок приведенных времён пробега сейсмических волн

**ВРЕМЯ ПРОБЕГА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ P_n НА ТРАССЕ СЕМИПАЛАТИНСКИЙ
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН – СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ БОРОВОЕ**

Таблица. Основные характеристики и оценки изменений параметров сейсмических волн

Тип волны Трасса	t, с Δ, градус	T N	δt _{max} , с	Тренд, мс/год
P _n Дегелен-BRVK	88.9 5.9	1961-1989 160	0.51	-2.06±2.21
P _n Балапан-BRVK	92.6 6.1	1968-1989 89	0.27	-4.90±1.90
P Невада- BRVK	782 90	1962-1991 314	0.26	+6.97±1.27
PKiKP Балапан-BRVK	992 6.1	1976-1989 31	0.29	+8.21±5.67

Примечания: t - время пробега, Δ- эпицентральное расстояние, T- интервал наблюдений (годы), N -количество взрывов, δt_{max} - максимальная амплитуда квазипериодических вариаций времени пробега.

Скорость распространения сейсмических волн зависит от поля напряжений, действующих в среде. На трассе СИП – BRVK волна P_n распространяется в литосфере в основном в субгоризонтальном направлении. Отрицательный тренд времени пробега этой волны и наложенные на него более высокочастотные компоненты отражают процессы изменения во времени поля напряжений в среде – сжатия и квазипериодического, но в меньшей степени, растяжения. Вероятнее всего, эти изменения поля напряжений происходят, главным образом, под действием гравитационных сил со стороны Луны, Солнца, Юпитера и других планет. При ослаблении этих сил касательные напряжения ослабевают. Полученный результат согласуется с известным фактом, что возникающие в литосфере избыточные напряжения, называемые тектоническими напряжениями, являются сжимающими и ориентированы в субгоризонтальном направлении [Суворов, 1973]. Релаксация этих напряжений выражена в виде постоянно действующих сейсмогеодинамических проявлений.

Направления распространения волны P на трассе Невада(NTS) – BRVK и волны PKiKP на трассе Балапан – BRVK в основном перпендикулярны поверхности Земли, и они отражают характер динамических процессов в вертикальном направлении. Положительный тренд и наложенные на него высокочастотные вариации свидетельствуют об изменении поля напряжений в виде растяжения вещества

внутри Земли и квазипериодического, но в меньшей степени его сжатия.

Принимая во внимание, что в земной коре все три рассмотренных типа волн распространяются субвертикально, влияние коры на времена пробега должно быть примерно одинаковым. Поэтому из числа факторов, обуславливающих изменение времени пробега сейсмических волн, земную кору можно исключить.

Выводы

Тренды и вариации времен пробега сейсмических волн относятся к особенностям поведения вещества в мантии Земли и на 30-летнем временном интервале анализа свидетельствуют о доминирующих геодинамических процессах сжатия вещества в горизонтальном и растяжения в вертикальном направлении.

Приведенные результаты сейсмических исследований недр Земли с использованием подземного ядерного взрыва в качестве “прецезионного” инструмента указывают на важность учета изменений свойств среды во времени при построении моделей Земли.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 99-05-65464 и 00-05-64420).

СЕМЕЙ – «БУРАБАЙ» СЕЙСМИКАЛЫҚ СТАНЦИЯСЫ ТРАССЫНДА P_n СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОЛҚЫННЫҢ ӨТУ УАҚЫТЫ

В.А. Ан, П.Б. Каазик, В.М. Овчинников

Геосфера динамикасы институты РФА, Москва

Осы жұмыстың орындалуында 1961-1989ж.ж. дегелен алаңында өткізілген 160 жарылыстар және 1968-1989 ж.ж. Балапан алаңында өткізілген 89 жарылстар қолданылған. P_n толқындардың өту уақыты жарылыс ішкіндігіндегі жылдамдық мінездемелірімен сәйкес, теңіз деңгейіне келтірілген; сондай-ақ әрбір алаңның, олардың «Бурабай» станциясы жөнінде P_n толқындардың окшаулап шектелген годографтары бойынша орта ішкіндіктік ғашықтығына келтірілген.

Өту уақыттарының орташа жылдық вариациясының барынша амплитудасы, Невада полигоны – Бурабай және Мирный (Антарктида) трассаларындағыдай 0,3 – 0,5 с. болды. Бірақ ол трассалардан өзгерісіне сызықтық трендісінде теріс белгісі бар (Дегелен үшін шамасы - 0,08 с., Балапн үшін - 0,1с.). Сонымен P_n толқынның жылдамдылығы күнтізбелі уақытымен бірге үлкейіп келеді.

**PN SEISMIC WAVE TRAVEL TIME AT THE SEMIPALATINSK
TEST SITE – BOROVOYE SEISMIC STATION TRACE**

V.A. An, P.B. Kaazik, V.M. Ovchinnikov

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

This paper preparation involved 160 explosions at the Degelen Site conducted in 1961-1989 and 89 explosions at the Balapan Site conducted in 1968-1989. P_n wave travel time was tied to the sea level in accordance with velocity characteristics of the explosion hypocenter medium; and to average epicentral distance for every site basing on their local travel time curves of P_n wave relative to Borovoye station.

Maximum amplitude of mean-year travel times variations is 0.3-0.5 s as at the Nevada Test Site - Borovoye trace and Mirniy (Antarctica). However, the linear trend in contrast to previous traces has negative sign (0.08 s for Degelen and 0.1 s for Balapan). Thus, P_n wave velocity increases with calendar time.

УДК [504.064.36:550.34]:001.83(100)

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР СЕЙСМИЧЕСКИХ ТРАСС В СИБИРИ И КАЗАХСТАНЕ
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАЛИБРОВКИ
МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА**¹Эльтеков А.Ю., ²Солодилов Л.Н., ²Егоркин А.В., ¹Курсенков А.Б.¹ИИИ импульсной техники, Москва²Центр региональных геофизических и геоэкологических исследований им. В.В.Федынского, Москва

В статье излагается содержание нового проекта, направленного на разработку и экспериментальное исследование калибровки сейсмических трасс с использованием химических взрывов различной конфигурации, изучение особенностей геофизических волновых полей с целью повышения точности локализации сейсмического источника и его последующей идентификации.

Для сокращения количества взрывов предлагается использовать сейсмологический принцип взаимности и размещать взрывной источник вблизи сейсмической станции МСМ, а регистрацию осуществлять в сотнях стационарных и временных пунктов, расположенных в региональной зоне.

Глобальный сейсмический мониторинг соблюдения Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний основан как на знании общих законов и механизмов распространения сейсмических сигналов в коре и мантии, так и на знании калиброванных региональных и станционных поправок к осредненным временам пробега сейсмических фаз. Для получения таких поправок используют, так называемые, калибровочные источники, характеризующиеся точным месторасположением (сотни метров) и временем в очаге (десятые-сотые доли секунды). Учет результатов наблюдения калибровочных источников способствует повышению точности локализации сомнительного сейсмического источника и его последующей идентификации. Использование только накопленных ранее данных по землетрясениям и короткозамедленным промышленным взрывам, как правило, не позволяет получить точные оценки координат события ввиду различия механизмов и глубин источников. Известные геофизические методы изучения земной коры с применением сосредоточенных химических взрывов массой до нескольких тонн позволяют определять характеристики сейсмических трасс на расстояниях несколько десятков и сотен километров. Однако при этом остается проблема синтеза данных вдоль больших трасс. В тоже время, сосредоточенные взрывы химических ВВ массой до 30 тонн позволяют зарегистрировать сейсмические сигналы и определять характеристики земной коры и верхней мантии на расстояниях более 1000 км. При этом данные глубинного сейсмического зондирования могут служить опорными точками для уточнения моделей коры, построенных по другим геофизическим методам [1]. Сдерживающим фактором в использовании мощных взрывов является большая стоимость буровых и взрывных работ и необходимость проведения десятков взрывов на разных расстояниях и азимутах для калибровки одной станции (группы станций) мониторинга.

Целью нового проекта является разработка и экспериментальное исследование технологии ка-

либровки сейсмических трасс на основе химических взрывов различной конфигурации, изучение особенностей геофизических волновых полей и оценка эффективности взрывных технологий применительно к проблеме укрепления мер доверия в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Проект направлен на изучение особенностей геофизических волновых полей, возникающих при проведении заглубленных химических взрывов, демонстрации методик их проведения и регистрации, разработку предложений по их использованию для калибровки Международной системы мониторинга ДВЗЯИ, а также сбора данных истины земли об известных источниках. Для сокращения количества взрывов при том же азимутальном охвате района станции предлагается использовать сейсмологический принцип взаимности и размещать взрывной источник вблизи сейсмической станции МСМ, а регистрацию осуществлять в сотнях стационарных и временных пунктов расположенных в региональной зоне.

Для проведения экспериментальных взрывов выбраны две сейсмические станции МСМ на территории России – ZIL (AS-94) в районе Урала, ZAL (PS-33) в районе Алтая. В целях проверки применимости принципа взаимности представляется целесообразным организовать встречные взрывы близ сейсмических станций МСМ на территории Казахстана, в частности, МАК и АКТО. Выбор этих станций определяется возможностью региональной регистрации на расстояниях не менее 1000 км. Одновременно будет проведена калибровка указанных станций по ограниченному числу азимутов. В дальнейшем эти станции МСМ могут быть откалиброваны аналогичным образом. При этом на основе принципа взаимности можно будет оптимально спланировать калибровочные взрывы.

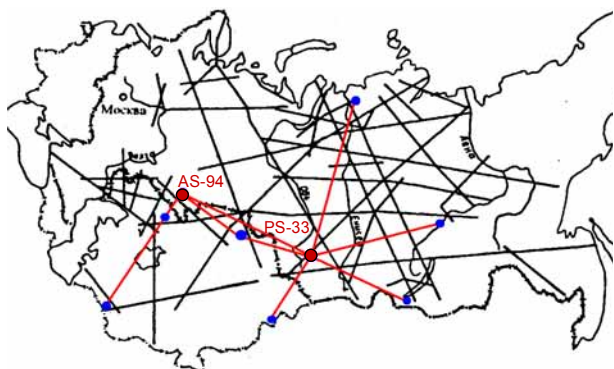
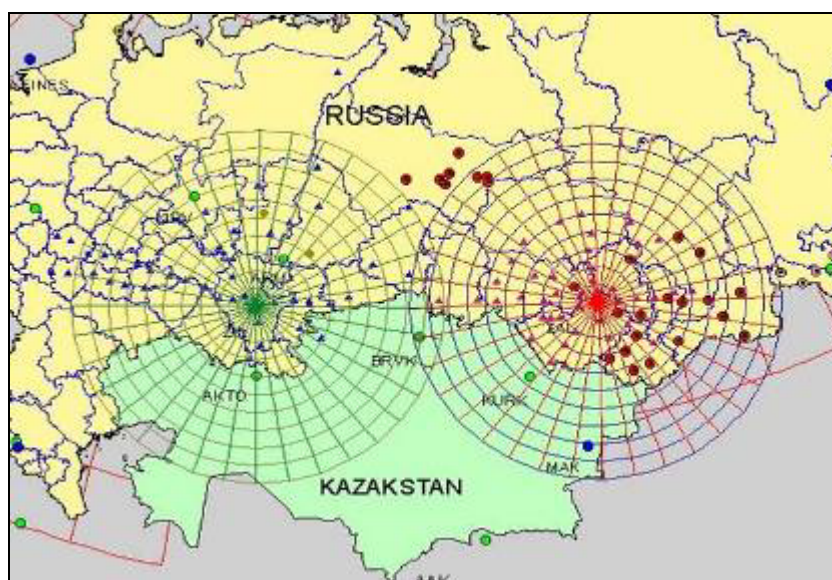


Рисунок 1. Некоторые трассы и профили ГСЗ в региональных зонах сейсмических станций МСМ

Калибровка по методу взаимности предполагает наблюдения сигналов от одного источника во многих точках. При шаге 100 км по азимуту и/или по окружности количество пунктов наблюдений в ре-

гиональной зоне одной станции составит более 1000. В тоже время количество стационарных сейсмических станций в Сибири и Казахстане не превышает 100. Это приводит к тому, что затраты на оснащение дополнительных временных пунктов наблюдений становятся соизмеримыми со стоимостью калибровочного взрыва. Два подхода могут быть предложены для сокращения мест наблюдений. Первый связан с сокращением числа наблюдаемых азимутов в близрегиональной зоне до 8 и в региональной зоне до 16-24. Этот вариант детально рассмотрен в рамках проекта МНТЦ 1221. На рисунках 1,2 приведены рекомендованные места для организации наблюдений. Сейсмические наблюдения будут проводиться в ближней зоне взрыва для обеспечения геоэкологического мониторинга и уточнения структуры земной коры



▲ предполагаемые временные пункты наблюдений ● действующие стационарные пункты наблюдений

Рисунок 2. Предполагаемые и действующие пункты наблюдения для использования в проекте

Наблюдения в локальной зоне будут проводится для сопоставления новых данных с результатами регистрации сигналов от других взрывных и вибрационных источников и проверки принципа взаимности. Наблюдения в региональной зоне будут проводится для получения предварительных данных об особенностях и временах распространения сейсмических волн вдоль различных трасс. Расстояния между пунктами наблюдений должны быть не менее 100 км по азимуту и не менее 100-200 км по окружности с тем, чтобы обеспечить равномерный азимутальный охват с шагом 10 градусов. В качестве обязательных азимутов для наблюдений предлагаются азимуты на станции МСМ, а также в направлениях на хорошо локализованные сейсмические источники, наблюдаемые ранее выбранными станциями МСМ (прототипными станциями).

Второй подход к решению проблемы состоит в учете ранее накопленных геофизических данных. В ходе нового проекта будет выполнен анализ и обобщение новых и ранее полученных экспериментальных материалов по методу взаимности и прямого сейсмического зондирования. В частности, будут сопоставлены данные глубинного сейсмического зондирования вдоль трасс, пересекающих новые трассы. Кроме того, по станции BRVK накоплен обширный сейсмологический материал, который будет использован при сопоставлении новых и исторических данных [3]. На рисунке 1 представлена схема глубинных геотравверсов и профилей ГСЗ, выполненных в 1971-1996 гг. [3]. Там же показаны некоторые профили, которые предлагается исследовать в рамках предлагаемого проекта. Например, в направлении на станцию NRI (Норильск) новая

трасса 11 раз пересечет известные профили ГСЗ (около 50 % точек наблюдений). Однако в направлении на сейсмические станции Казахстана пересечения составят 1-2 на профиль. На рисунке 3 пока-

заны пересечения трассы ZAL-ZIL с тремя трассами ГСЗ, для которых имеются скоростные модели коры и верхней мантии.

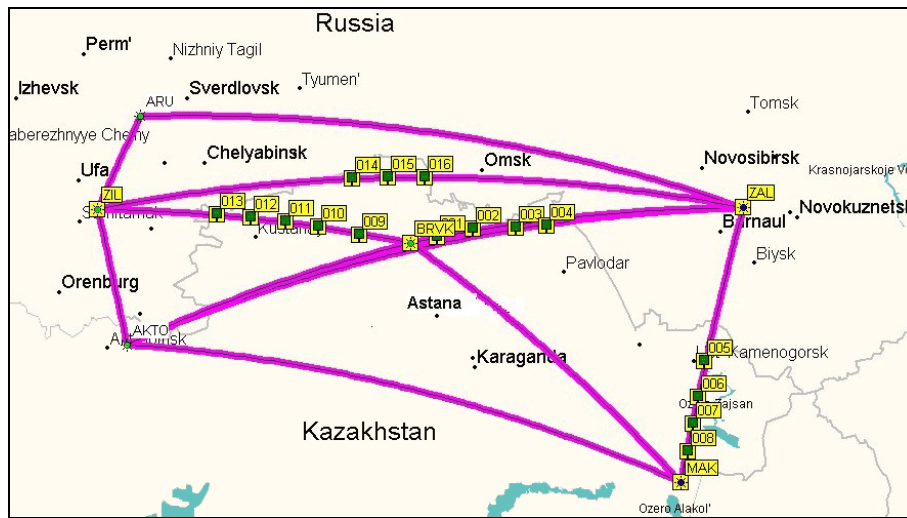


Рисунок 3. Некоторые предлагаемые точки наблюдений в Казахстане для калибровки ZIL и ZAL

Фрагменты разрезов коры в местах пересечений даны на рисунке 4.

Из опыта работ по ГСЗ известно, что разброс оценок скоростной модели в точках пересечения трасс составляет единицы процентов. Использование ранее накопленных данных позволяет сократить количество пунктов наблюдений. Учитывая, что стоимость развертывания временной наблюдательной сети соизмеримо со стоимостью заряда можно получить дополнительную экономию затрат на проведение калибровочного эксперимента. Новые данные от экспериментальных взрывов позволяют уточнить границы блоков и оценить скорости распространения и затухания сейсмических волн на большой, ранее неизученной, территории.

Согласно предлагаемому проекту [4], в первый год планируется провести несколько взрывов химических ВВ небольшой массы в скважинах близ двух российских сейсмических станций, входящих в МСМ. В части сейсмических исследований предлагается организовать проведение наблюдений по нескольким трассам, в том числе, в направлениях на действующие карьеры. Результаты наблюдений будут сопоставлены с данными регистрации карьерных взрывов и невзрывных источников на указанных сейсмических станциях. По результатам наблюдений будут уточнены схемы и параметры более мощных взрывов. Будет выполнен поиск и выбор мест проведения взрывов для калибровки станций Казахстана по принципу взаимности.

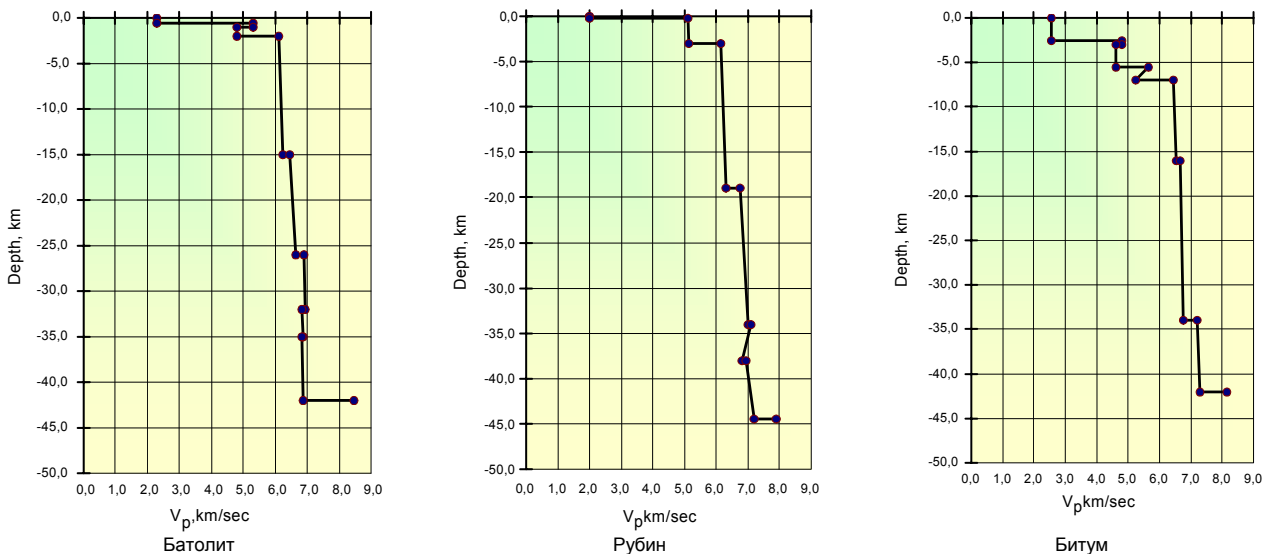


Рисунок 4. Скоростные модели земной коры в местах пересечений трассы ZIL-ZAL и профилей ГСЗ

Во второй год планируется провести 1 взрыв (1-30 тонн) близ одной из станций МСМ и несколько встречных взрывов, в том числе 1-2 взрыва на территории Казахстана и 1-2 взрыва на территории России на базе действующих или заброшенных карьеров. В части сейсмических исследований будет проведен анализ различных схем выполнения сейсмических наблюдений. Будет выполнен поиск и выбор мест проведения встречных взрывов для подтверждения метода взаимности при калибровке выбранной станций МСМ. По результатам анализа данных будут уточнены параметры встречных взрывов. Один из возможных вариантов выбора трасс и организации наблюдений приведен на рисунке 3.

В третий год будут выполнены встречные взрывы близ второй российской станции МСМ и 1-2 встречных взрыва близ казахстанских станций МСМ и проведена их регистрация стационарными и временными пунктами наблюдений. Будет выполнен поиск и выбор мест проведения контрольных взрывов для подтверждения метода взаимности при калибровке группы станций и МСМ в целом. По результатам обработки и анализа данных и сравнения различных технологий будут разработаны рекомендации по оптимальной схеме организации и проведения калибровочных экспериментов в интересах ДВЗЯИ.

В целях повышения эффективности экспериментальных работ, одновременно с сейсмическими на-

блюдениями, будут выполнены, по возможности, наблюдения инфразвуковых и других геофизических полей, генерируемых мощными взрывами. Участие в проекте ученых и специалистов различных геофизических институтов России и Казахстана позволит получить экспериментальные данные по структуре коры и верхней мантии для уточнения региональных скоростных моделей в интересах мониторинга ДВЗЯИ.

Таким образом:

- калибровка станций Международной системы мониторинга по методу взаимности позволит уменьшить количество крупных взрывов и затрат на их проведение при том же территориальном охвате;
- учет ранее полученных данных глубинного сейсмического зондирования позволит сократить количество пунктов наблюдений по отдельным азимутам до 20-40 %;
- проведение совместных (международных) экспериментальных исследований, включая проведение встречных калибровочных и контрольных взрывов, может служить эффективным инструментом сейсмической калибровки.

Работа выполнена при поддержке проекта МНТЦ 1221.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эльтеков А.Ю., Даниленко К.Н., Коваленко В.В. Взрывные технологии калибровки Международной системы мониторинга – новый этап ГСЗ. Тезисы докладов Четвертых геофизических чтений им. В.В.Федынского, 28 февраля-1 марта, ГЕОН, М. 2002.
2. Анализ особенностей сейсмических волн на региональных расстояниях от источника, Проект МНТЦ 1221, НИИИТ 2002.
3. Булин Н.К., Егоркин А.В. Региональный прогноз нефтегазоносности недр по глубинным сейсмическим критериям. Центр ГЕОН, М. 2000г.
4. Эльтеков А.Ю., Даниленко К.Н., Коваленко В.В. Предложения по разработке и исследованию эффективности взрывных технологий калибровки сейсмических трасс Международной системы мониторинга. Доклад на встрече экспертов Международного центра данных по локализации сейсмических событий и обнаружению событий, Осло, Норвегия, 22-26 апреля 2002г.

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІН КАЛИБРЛЕУ ТИІМДІЛІГІН ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫ ЗЕРТТЕУ ҮШІН ҚАЗАҚСТАН МЕН СІБІРДЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТРАССАЛАРЫН АЛДЫНАЛА ТАНДАУ

¹⁾А.Ю. Эльтеков, ²⁾Л.Н. Солодилов, ²⁾А.В. Егоркин, ¹⁾А.Б. Курсенков

¹⁾Импульсная техника *ФЗИ, Москва*

²⁾*В.В. Федынский атындағы геофизикалық және геоэкологиялық аймақтық зерттеулер орталығы, Москва*

Мақалада, химиялық жарылыстарын қолданып, сейсмикалық трассалардың калибрлеуін әзірлеуге және эксперименталды зерттеуіне, сейсмикалық көздерінің оқшаулауын дәлдеуін жоғарлату мақсатымен геофизикалық толқындардың өрісін зерделеуіне бағытталған жаңа жобаның мазмұны келтірілген.

Жарылыстардың санын азайту үшін сейсмикалық өзара принципін пайдалануы және жарылыс көзін ХМЖ сейсмикалық станциясының жанында орналыстыруы, ал тіркеуін аймақтық зонасында орналасқан көп стационарлы және уақытша пункттерінен станцияларымен өткізуі ұсынылады.

**PRELIMINARY CHOICE OF SEISMIC TRACES IN EAST SIBERIA
AND KAZAKHSTAN FOR EXPERIMENTAL RESEARCH
OF THE INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM CALIBRATION EFFICIENCY**

¹⁾A.Yu. Eltekov, ²⁾L.N. Solodilov, ²⁾A.V. Egorokin, ¹⁾A.B. Kursenkov

¹⁾*Research Institute of Pulse Technique, Moscow,*

²⁾*Center of Geophysical and Geoecological Researches by V.V. Fedynskiy, Moscow*

This paper sets out the content of a new project oriented to the development and experimental research of seismic traces calibration using of the chemical explosions of various configurations, study of geophysical wave field peculiarities with the purpose of increase of seismic source localization accuracy and its further identification.

For decreasing of explosions amount, it is proposed to use seismological reciprocity principle and locate the explosive source nearby the IMS seismic stations and to record at hundreds stationary and temporary points situated in the regional zone.

УДК 550.34:681.3

ОБРАБОТКА ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ИЯЦ РК

Михайлова Н.Н., Синева З.И.

Институт геофизических исследований ИЯЦ РК

В 2001 г. в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации ИГИ ИЯЦ разработана и реализована технология обработки сейсмических данных, поступающих в режиме реального времени, в разных режимах оперативности: для службы срочных донесений, для автоматического сейсмологического бюллетеня, для оперативного сейсмологического бюллетеня. Используются и адаптированы как существующие программные пакеты, так и написанные и протестированные новые программы.

Одной из основных задач Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОСИ) является обработка данных сети сейсмических станций. При этом, как правило, требуется обработка в разных режимах оперативности, вследствие чего специфичными являются объемы используемых данных, режимы их поступления, методика и программные средства.

К таким различным по степени оперативности видам обработки данных относится следующее.

Во-первых, это обработка сильных событий незамедлительно после поступления данных в Центр с целью создания сводки срочных донесений и обмена этими данными с другими Центрами и организациями. Во-вторых, это обработка событий в автоматическом режиме для создания сейсмологического бюллетеня непосредственно после поступления данных и завершения работы программ обработки. Приведенные в автоматическом бюллетене решения могут считаться первым приближением в оценке основных параметров землетрясений или взрывов. В третьих, это создание оперативного бюллетеня сейсмических событий с участием аналитика Центра, который производит обработку данных с опозданием на несколько суток. Четвертым видом обработки является обработка для создания окончательного сейсмологического бюллетеня. Она производится с несколько большим запозданием, поскольку требует получения данных от ряда станций, не связанных с Центром какими-либо каналами связи. Данные с них пересылаются по почте за месяц и более, что связано со временем накопления на дисках определенного объема информации. Для окончательного бюллетеня используются также данные некоторых станций других организаций.

Три первых вида обработки производится с данными, которые поступают в Центр данных по каналам спутниковой связи в реальном времени. Именно этим видам обработки посвящена настоящая статья.

В 2001 г. в Центр данных в г. Алматы в реальном времени поступали данные сейсмической группы Маканчи (девять однокомпонентных вертикальных станций и две трехкомпонентные станции), сейсмической группы Каратау (конфигурация аналогична Маканчи), двух трехкомпонентных станций IRIS/IDA Боровое и Курчатова, станций большебазовой сейсмической группы Боровое – Зеренда, Чкалово и Восточное и центрального пункта Боровое (Рис. 1).

Обработка этих данных производится в несколько этапов:

- обнаружение вступлений и определение параметров сигнала;
- автоматическая локализация событий;
- срочная обработка сильных событий;
- оставление оперативного бюллетеня.



Рисунок 1. Региональная система сейсмологических наблюдений ИЯЦ РК

В конце 2000 г. специалистами Норвежского центра НОРСАР в ЦСОСИ было установлено программное обеспечение, позволяющее производить обработку данных сейсмических групп в режиме, близком к реальному времени. В течение 2001 года производилась настройка и адаптация этого программного обеспечения к условиям казахстанской сети. Для обработки были использованы и адаптированы также другие существующие программы (DP/EP, GBF, GEOTOOL, dbrick и др.). Дополнительно специально были написаны и протестированные новые программы (alarm_check, alarm_prock, clin, delay_check и др.). Это программное обеспечение используется в разной степени на всех этапах обработки для решения трех вышеперечисленных задач.

Рассмотрим более подробно методику обработки и технологию реализации каждого этапа.

ОБНАРУЖЕНИЕ ВСТУПЛЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ

В задачу этого этапа входит автоматическое обнаружение (детектирование) сигнала на фоне сейсмического шума и определение параметров сигнала.

Детектирование вступлений для сейсмических групп и отдельных трехкомпонентных станций производится по-разному.

Детектирование вступлений сейсмических групп. Одним из преимуществ сейсмических групп по сравнению с отдельными станциями является возможность повысить способность обнаружения сейсмических сигналов за счет суммирования отдельных трасс сейсмической группы. Например, если известны координаты события и скорость волны, можно рассчитать для каждого элемента сейсмической группы время прихода этой волны. Естественно, оно будет различным для разных элементов группы. После этого, можно сложить все трассы данной сейсмической группы со смещением, равным разности времени прихода этой волны на каждый элемент. Теоретически доказано, что в этом случае достигается значительное усиление отношения сигнал/шум для данного вступления. Конечно, во время рутинной обработки заранее неизвестно, откуда может прийти сигнал, поэтому поступают следующим образом. Рассчитываются смещения трасс для событий, приходящих из самых разных направлений и на самых разных расстояниях, после чего трассы суммируются с вычисленными смещениями по времени, т.е. формируются так называемые «лучи детектирования» (detection beams). Кроме того, как известно, разные сейсмические фазы имеют различную частоту, поэтому они лучше детектируются на различных фильтрах. Поэтому, сформированные «лучи детектирования» предварительно фильтруются.

Всего таким образом постоянно в реальном времени для каждой сейсмической группы, формируются 290 лучей, по которым производится детектирование. В процессе детектирования используются вертикальные компоненты записей всех элементов группы.

Детектирование вступлений трехкомпонентных станций. В случае трехкомпонентных станций детектирование производится как по вертикальной, так и по горизонтальным компонентам.

После того, как произошло детектирование сигнала, производится его обработка, т.е. методом частотно-волнового анализа (f-k analysis) определяются азимут и кажущаяся скорость сигнала, а также амплитуда, ведущая частота и ряд других параметров. Этот анализ выполняется с помощью программы DP/EP [1].

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ СОБЫТИЙ И СОЗДАНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ

Автоматическая локализация осуществляется с помощью программы GBF [2], предоставленной сотрудниками Норвежского центра НОРСАР. Работа программы происходит в три этапа. На первом этапе используются результаты обработки вступлений и производится их идентификация, то есть, определяется тип волны: P, Pn, Sn, Lg, Rg для региональных сигналов или ложное детектирование. Причем, к одному вступлению может быть отнесено несколько типов волн, например, P и Pn, или Sn и Lg. Если друг за другом идет несколько вступлений с близкими азимутами и кажущимися скоростями, то в последующей обработке участвует только первое вступление, а последующие считаются принадлежащими коде этой волны.

На втором этапе производится собственно поиск решения по локализации события, которому принадлежат выделенные и идентифицированные вступления сейсмических фаз. Земная поверхность разбивается равномерной сетью. В Центре данных выбраны следующие параметры сети.

Центр сети: 50° северной широты, 75° восточной долготы.

Расстояние между узлами сети – 1,5°.

Число узлов решетки – 82 по широте и 54 по долготе.

Производится перебор всех вступлений для каждого узла решетки. Если для какого-либо узла решетки найдется более, чем одно подходящее вступление (например две или более P волн от разных станций или Pn и Lg волна от одной станции), то в районе этого узла решетки производится еще один поиск по более частой сети. В нашем случае расстояние между узлами второй решетки составляет 0.1°. В результате выбираются координаты того узла решетки, где получается минимальная невязка по временам прихода и азимутам подхода ассоциированных вступлений. Результаты этого анализа записываются в промежуточный файл.

На третьем этапе производится отбраковка тех решений, у которых невязки получились слишком большими, рассчитываются магнитуды событий и, наконец, производится запись результатов локализации события в базу данных в формате CSS3.0. Тем самым, заканчивается обработка данных для создания автоматического сейсмологического бюллетеня. Этот бюллетень в режиме близком к реальному времени, помещается на веб-сайт ЦСОССИ. Ниже, на рисунке 2, приведен фрагмент сейсмологического бюллетеня, полученного в автоматическом режиме и приведенного на веб-сайте.

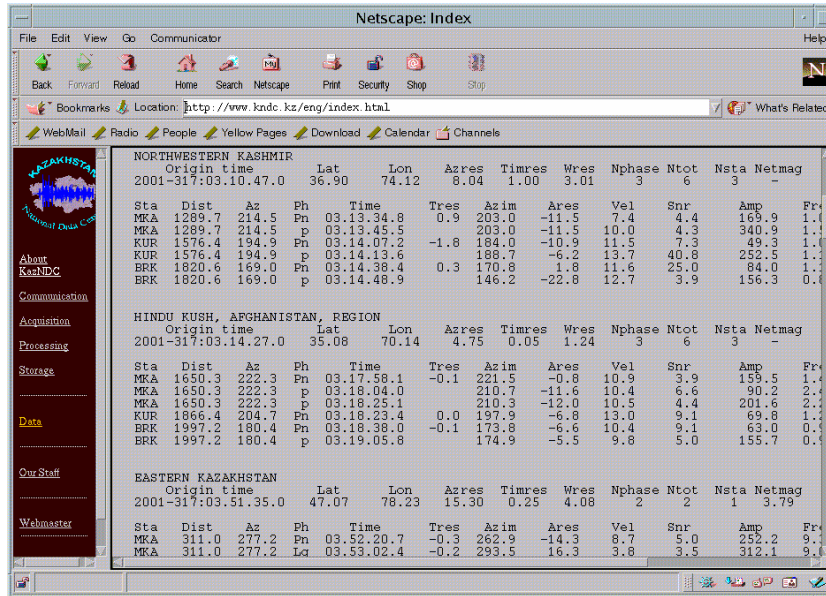


Рисунок 2. Фрагмент страницы веб-сайта ЦСОСЦИ (www.kndc.kz), с результатами автоматической обработки сейсмических данных

СРОЧНАЯ ОБРАБОТКА СИЛЬНЫХ СОБЫТИЙ

Практика работ комплексов автоматической обработки сейсмических данных во всем мире показывает, что автоматическая обработка еще весьма далека от совершенства. Часто происходят ошибки в определении времен вступлений сейсмических фаз, в идентификации фаз, очень часто программы ассоциируют вступления от разных событий в одно. Поэтому результаты автоматической обработки должны проверяться человеком.

В ЦСОСЦИ такая проверка осуществляется двумя способами в целях осуществления:

- срочной обработки сильных событий;
- составления оперативного бюллетеня событий.

Рассмотрим, как организована обработка сильных событий в ЦСОСЦИ.

В 2001 г. здесь был разработан и проходил тестирование программный комплекс, предназначенный для осуществления функций службы срочных донесений. Работа комплекса организована в два этапа.

На первом этапе программным путем происходит постоянный просмотр всех новых автоматически обнаруженных вступлений. У каждого вступления проверяются два параметра: амплитуда вступления и когерентность сигнала по результатам частотно-волнового анализа. Для каждой станции экспериментально были установлены пороговые значения этих параметров. Например, для сейсмической группы Маканчи пороговыми значениями являются 900 отсчетов по амплитуде, и 0,60 – для уровня когерентности сигнала. Если у какого-либо вступления превышены пороговые значения обоих параметров, то срабатывает звуковой сигнал, оповещающий аналитиков Центра о том, что произошло сильное событие.

После получения сигнала оповещения производится срочная обработка данных, в результате которой формируется сводка срочных донесений в коде МСК-85, производится срочная локализация региональных сильных событий аналитиком. В 2001 году было достигнуто соглашение с Геофизической Службой РАН об обмене срочными донесениями. Поэтому производится отправка сводки в службу срочных донесений Сейсмологического информационного центра Геофизической службы РАН в г. Обнинск. Из Обнинска по электронной почте в ЦСОСЦИ поступает результат обработки данных по этому событию, полученный с участием казахстанских, российских и некоторых зарубежных сейсмических станций.

СОСТАВЛЕНИЕ ОПЕРАТИВНОГО БЮЛЛЕТЕНЯ

Наиболее полная и точная информация по результатам обработки данных, поступающих в режиме реального времени, содержится в оперативном сейсмологическом бюллетене. Каждую ночь специальная программа готовит базу данных, в которую включаются все данные, пришедшие за прошедшие сутки, а также результаты их автоматической обработки. Составление оперативного бюллетеня происходит в два этапа.

На первом этапе дежурный аналитик просматривает исходные записи и проверяет правильность автоматически расставленных вступлений. Он корректирует времена вступлений, переименовывает неправильно распознанные фазы, добавляет новые вступления. На следующем этапе, с помощью программы GEOTOOL аналитик производит локализацию событий. На этом этапе аналитик так же определяет азимут и «медленность» для фаз,

расставленных вручную. Результаты локализации хранятся в виде суточных файлов в формате CSS3.0.

Регулярное составление оперативного сейсмологического бюллетеня началось осенью 2001 г. Надо отметить, что в сейсмологический бюллетень включаются как данные по землетрясениям, так и по промышленным взрывам.

На рисунке 3 приведена карта эпицентров землетрясений и промышленных взрывов за последние три месяца 2001 г. За этот период было обработано и локализовано 2459 сейсмических событий, т.е. в среднем около 27 событий в день. Станция ККАР была введена в действие в конце 2001 г., поэтому данные этой станции стали участвовать в составлении бюллетеня только начиная с 17 декабря 2001 года.

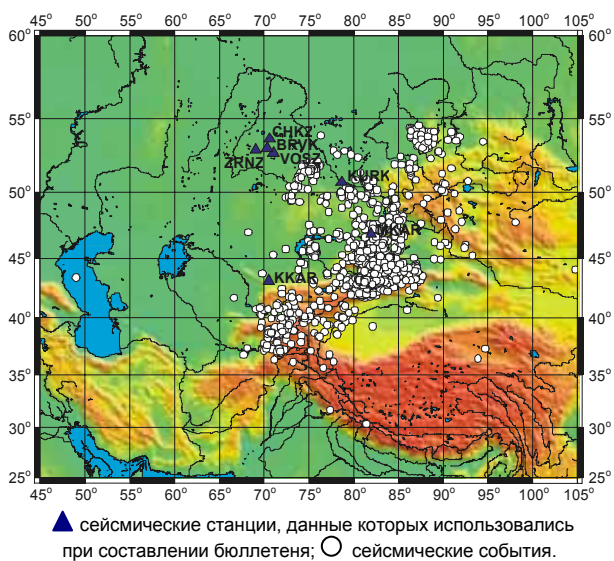


Рисунок 3. Карта эпицентров землетрясений и промышленных взрывов, по данным оперативного бюллетеня ЦСОССИ за октябрь - декабрь 2001г.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ И РУЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Поскольку описанная технология обработки в Центре данных реализована впервые, необходимо было проверить, насколько правильно и полно автоматическая и ручная обработка осуществляют детектирование сейсмических событий на фоне шума, насколько результаты соответствуют реальным эпицентрам.

Для проведения анализа были просмотрены записи по сейсмической группе Маканчи за 9 дней (244 - 252 день) 2001 г. Производилось сравнение полученных в результате автоматической обработки данных с данными каталога REB Международного Центра данных (ИДЦ) и некоторыми местными каталогами за выбранный период времени. Ассоциирование производилось с двумя типами данных: с результатами автоматической обработки по группе Маканчи и с результатами ручной обработки данных. Всего за исследуемый период было проассо-

цированы 164 события. В таблице 1 приводится количество проассоциированных фаз по результатам ручной и автоматической обработки.

Таблица 1. Количество сейсмических фаз, используемых при анализе

Тип волны	Количество вступлений,	
	автоматическая обработка	ручная обработка
Pn	33	36
P	118	128
Sn	11	19
Lg	12	18

Из таблицы видно, что в то время, как для волн P и Pn наблюдается довольно большой процент автоматически обнаруженных вступлений по сравнению с ручным обнаружением, для Lg и, особенно для Sn волн, автоматическая обработка делает много пропусков. Это можно объяснить тем, что в настоящее время при автоматическом детектировании фаз используются только вертикальные короткопериодные компоненты, а при ручной обработке аналитик пользуется также данными широкополосного трехкомпонентного сейсмометра.

Для каждого вступления, проассоциированного с событием из каталога, было рассчитано отклонение экспериментально определенного азимута от «истинного» азимута в градусах.

В таблице 2 приведены основные статистические результаты этого сравнения.

Таблица 2. Статистические параметры невязок определения азимута

Тип волны	Кол-во фаз	Медиана	Процентиль, 15%	Процентиль, 85%
Pn, авто.	33	2,26	-5,532	12,508
Pn, ручное	33	2,79	-4,9958	8,061
P, авто.	118	2,935	-9,4455	8,9845
P, ручное	118	2,80555	-6,71595	8,806045
Sn, авто.	11	1,33	-1,96	28,27
Sn, ручное	11	1,541	-2,295	30,4155
Lg, авто.	12	-1,995	-6,679	4,1205
Lg, ручное	12	-0,9395	-7,40885	3,55635

Из данных, приведенных в таблице 2, видно, что точность оценки азимутов, полученных автоматически и вручную, сравнимы. Для Pn и P волн ручное определение дает немного лучшие результаты, но незначительно. Для Sn волны – ручное определение даже несколько увеличило разброс. По Lg волне – ручное определение не изменило разброс, но привело к сдвигу как среднего, так и границ примерно на 1 градус.

Для трех фаз (Pn, P, Lg) разброс в определении азимута не превышает ± 10 градусов, что является допустимым. Для Sn волны – наблюдается довольно большой разброс как при автоматическом, так и при ручном определении азимута.

На рисунке 4 приведен график зависимости расхождений в определении азимута от расстояния для телесейсмической P волны. На этом графике пока-

зания, находящиеся на одном расстоянии от станции, соответствуют одному и тому же событию. Из рисунка 4 видно, что для станции Маканчи не наблюдается систематических отклонений в определении азимута от разных расстояний.

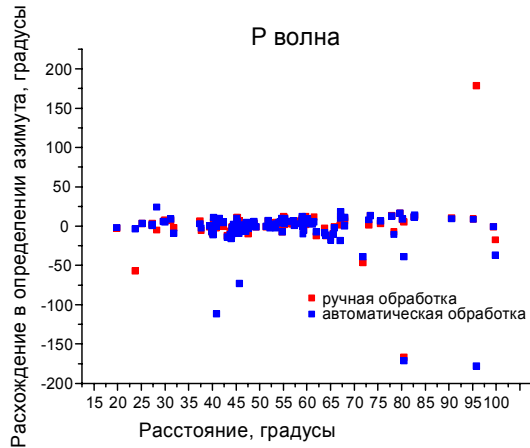


Рисунок 4. Расхождение в определении азимута в зависимости от расстояния. P волна

Тем самым показано, что результаты ручного и автоматического определения азимутов в большинстве случаев достаточно близки. В некоторых случаях ручное определение несколько улучшает данные (преимущественно для P и Pn волн), но иногда отмечаются большие выскоки автоматических определений, которые следует рассматривать специально. В целом, результатам автоматического определения параметров можно доверять и их можно использовать в процессе дальнейшей интерактивной обработки данных.

Таким образом, завершен первый этап создания в Центре данных технологии автоматической и интерактивной обработки данных, поступающих в реальном времени, для организации службы срочных донесений и оперативного бюллетеня. В результате функционирования этой системы будет набрана статистика для всесторонней оценки точности локализации и определений других параметров сейсмических источников, важной как с методической точки зрения для совершенствования системы, так и для повышения эффективности сейсмического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fyen J., Event processor program package. In: NORSAR Semiannual Technical Summary. 1 Oct 1988 – 31 Mar 1989. Scientific Report 2-88/89, Kjeller, Norway).
2. Kvaerna, T., Initial results from global Generalized Beamforming. In: NORSAR Semiannual Technical Summary, 1 Apr – 30 Sep 1992, NORSAR Sci. Rep. 1-92/93, NORSAR, Kjeller, Norway)

ҚР ҰАО СЕЙСМИКАЛЫҚ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІН ӨНДЕУ

Н.Н. Михайлова, З.И. Синева

ҚР ҰАО Геофизикалық зерттеулер институты, Күрчатов қ.

2001 ж. ҰАО ГЗИ Арнаулы сейсмикалық апаратын жинау және өңдеу орталығында, нақты уақытында, жеделдіктің әртүрлі режімінде түсетін сейсмикалық деректерін өңдеу технологиясы әзірленіп іске асырылған: жедел хабарлау қызметі, автоматикалық сейсмологиялық бюллетенінің құру, жеделдік сейсмологиялық бюллетенінің құру үшін. Бұрын болған программалық дестелері, сондай-ақ жазылған және тестіленген жаңа программалар қолданылған және бейімделген.

THE NNC RK SEISMIC STATIONS DATA PROCESSING

N.N. Mikhailova, Z.I. Sinyova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

In 2001, the IGR NNC Center for Special Seismic Information Acquisition and Processing developed and realized the processing technology of the seismic data entering in real time operational mode, in various modes of efficacy: for urgent reports service, for automatic seismological bulletin compiling, and for on-line seismological bulletin. As existing program packages so written and tested new programs are used and adapted.

УДК [534.6+550.388]:629.76

ОСОБЕННОСТИ ИНФРАЗВУКОВЫХ И ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ПРИ ПОЛЕТЕ СВЕРХЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

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

Институт ионосферы Министерства Образования и Науки Республики Казахстан

Представлена модель распространения акустических волн от ракетносителя (РН), движущегося со сверхзвуковой скоростью, и их воздействие на ионосферу. На ее основе показано, что акустические волны вызывают возмущение электронной концентрации, величина которого составляет примерно от 0.04 до 0.7% фона, что не может создать серьезных помех при мониторинге взрывов ионосферным методом. Ударная волна от РН является сильной и может вызвать возмущение электронной концентрации, величина которого в 2.6 раза превышает фон. Однако это сильное возмущение сосредоточено в «шнуре» диаметром порядка 150-250 м при длине радиотрасс сотни и тысячи километров. Длительности ионосферных возмущений от РН на высотах ионосферы изменяются от 0.2 с до 3-5 с. Такие длительности не могут наблюдаться от испытательных взрывов, проведенных на Земле или под Землей.

ВВЕДЕНИЕ

При инфразвуковом мониторинге взрывов возникает проблема их идентификации на фоне инфразвука от сверхзвуковых летательных аппаратов. Исследованию ионосферного отклика на возмущения, возникающие при полетах ракетносителей космических кораблей (РН) со сверхзвуковой скоростью посвящено множество работ [1-6]. При этом значительная доля энергии исходного атмосферного возмущения оказывается сосредоточенной в ударной волне. Ударная волна воздействует на ионосферу и вызывает в ней возмущение электронной концентрации. В настоящее время доказан факт существования возмущения ионосферы во время полетов РН на большом количестве экспериментальных данных методом доплеровского радиозондирования ионосферы при вертикальном и наклонном распространении радиоволн КВ-диапазона [4,7-9]. Так, например, на записях доплеровского сдвига частоты во время полетов Space Shuttle 28 февраля 1990 г. и 28 апреля 1991 г. сначала видны быстрые импульсы с периодом 150-250 с, а затем через 700-800 с после первого импульса, вторая волна, которая представляет собой осцилляции с периодами порядка 200 с [9]. Авторы предполагают, что появление первого импульса связано с распространением акустической волны, так как время его прихода согласуется со скоростью распространения звука на данных высотах. В последнее время для многих ученых представляет большой интерес использование данных глобальной навигационной системы GPS-Global Positioning System для дистанционной диагностики ионосферы. Так например, авторами [10] впервые надежно определены - по данным серии запусков ракет с космодрома Байконур (60 запусков), Космического центра им. Кеннеди (США - 20 запусков), Jiuquan (Китай - 2 запуска) - ряд временных и пространственных характеристик ионосферных возмущений, вызванных полетом РН. В частности, показано, что возмущение полного электронного

содержания носит характер N-волны с периодом 120-360 с и амплитудой, превышающей уровень фоновых флуктуаций в умеренных геомагнитных условиях, как минимум, в 2-5 раз. Фазовая скорость распространения возмущений меняется в пределах 600-1300 м/с и близка к скорости звука на высотах F-области ионосферы. Положение источника ионосферных возмущений соответствует участку траектории ракет-носителей на расстоянии не менее 200-1000 км от стартовой площадки и высоте полета порядка 100-130 км. На этом участке ракета разгоняется и проходит его со сверхзвуковой скоростью за 100-300 с. Авторы [10] также полагают, что возникновение возмущения полного электронного содержания связано с распространением акустических волн в атмосфере. Таким образом, предполагается, что одним из механизмов, вызывающих возмущение электронной концентрации, может быть распространение акустической волны. Однако, как в [9], так и в [10] не представлены достаточные доказательства, подтверждающие данное предположение. Для выяснения реального механизма воздействия полетов РН на ионосферу, объяснения экспериментальных результатов необходимо создание адекватной эксперименту физической модели для описания картины явления. И уже на основе полученных результатов можно делать выводы о механизмах, вызывающих данное явление.

Целью данной работы является создание адекватной эксперименту физической модели, позволяющей провести исследования по распространению ударной и акустической волны от РН и оценить величину ионосферного возмущения, вызванного этими волнами.

Экспериментальные и теоретические результаты показали, что картина движения газа при обтекании тел цилиндрической формы, движущихся со сверхзвуковой скоростью, по существу такая же, как и при распространении взрывной волны от цилиндрического заряда [11,12]. Путем прямого сопоставле-

ния была показана возможность применения результатов исследования ударных волн от цилиндрического взрыва для определения параметров ударных волн, возникающих при движении тел в газе со сверхзвуковой скоростью. На сегодняшний день достаточно хорошо развита теория распространения ударных и акустических волн, как от точечных, так и от цилиндрических взрывов, например, в [11,12,13]. Нами сначала была разработана и проверена на экспериментальных данных модель распространения акустического импульса от точечного источника и его воздействие на ионосферу. Затем на этой основе создана модель распространения акустического импульса от движущегося со сверхзвуковой скоростью цилиндрического источника и его воздействие на ионосферу. Это возможно в связи с тем, что физика распространения акустических волн в атмосфере в основном аналогична. Различаются только формулы для расчета начальных параметров акустического импульса и закон распределения энергии в пространстве в зависимости от расстояния до источника. Так, акустическая волна от точечного взрыва обладает сферической симметрией, т.е. в такой волне распределение плотности, скорости и других параметров, зависит только от расстояния до некоторого центра. В случае акустической волны от цилиндрического источника, распределение всех величин однородно вдоль некоторого одного направления, и волна обладает полной аксиальной симметрией вокруг этой оси. В сферической волне амплитуда падает обратно пропорционально расстоянию до центра. Амплитуда цилиндрической волны падает обратно пропорционально корню квадратному расстояния до оси. В обоих случаях акустический импульс во временной области имеет форму, близкую к треугольной, и состоит из фазы сжатия и фазы разрежения.

МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ОТ РАКЕТОНОСИТЕЛЯ

Модель, описывающая распространение акустического импульса в неоднородной атмосфере от точечного источника, с учетом нелинейных процессов, поглощения и расширения волнового фронта подробно описана в [14]. Частично модель была также представлена в [15]. Модель была создана на основе решения нового уравнения, которое не ограничено приближением геометрической акустики и потому оно справедливо для высот ионосферы, где размеры акустического импульса могут быть сравнимы с вертикальными масштабами неоднородной атмосферы. Модель была протестирована по результатам акустических измерений и измерений доплеровского сдвига частоты во время наземного химического взрыва (Mill Race эксперимент) [16,17] мощностью 500 тонн ТНТ. Одновременное сравнение для восьми точек пространства показало, что ошибка модельных расчетов составляет порядка единиц процентов.

Затем авторами была разработана модель распространения акустического импульса в атмосфере от РН и его воздействие на ионосферу на основе модели для точечного взрыва. Чтобы определить начальное возмущение давления на границе перехода ударной волны в акустическую, мы использовали выражение [12]:

$$\frac{\Delta p_u}{P_0} = \frac{k_2 \sqrt{\cos \theta}}{\sqrt{R_2} \sqrt{\sqrt{R_2} - 0.7}}, \quad (1)$$

где: Δp_u – избыточное давление, $R_2 = r/\Lambda$ – безразмерный радиус ударной волны, $\Lambda = M_a d_r$ – масштаб цилиндрического взрыва для тел с полусферической головкой в воздухе, d_r – диаметр ракеты, $M_a = V_r/c_0$ – число Маха, V_r – скорость ракеты, r – радиус фронта волны, c_0 – скорость звука на высоте нахождения РН, P_0 – окружающее атмосферное давление, $k_2=0.4$ – асимптотический коэффициент для слабых ударных волн цилиндрической симметрии. Индекс u относится к величинам для однородной атмосферы.

Длительность положительной фазы сжатия для $\gamma=1,4$ рассчитывалась по формуле [12]:

$$t_u = \Lambda \left(\frac{\gamma+1}{\gamma} \right) k_2 \sqrt{(\sqrt{R_2} - 0.7)} / 2c_0 \sqrt{\cos \theta}, \quad (2)$$

где: $\theta = \arcsin \frac{c_0}{V_r}$ – угол между фронтом ударной

волны и осью симметрии, γ – отношение теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и объеме.

Таким образом, были определены амплитуда и длительность фазы сжатия начального акустического импульса, которые были рассчитаны для расстояния от места взрыва, где ударная волна становится слабой, а именно, для $R_2=3$. В этом случае, согласно [13], показано, что ударная волна становится слабой - $c_0/D \approx 0,9$, где D – скорость фронта ударной волны, и этому значению c_0/D соответствует избыточное давление $\frac{\Delta p_u}{P_0} = 0.27$.

Время распространения ударной волны от оси РН до R_2 , рассчитывалось по формуле [13]:

$$t_0 = \tau * t^0, \quad (3)$$

где $t^0 = \Lambda * \sqrt{\frac{\rho_0}{P_0}}$ – динамическое время, τ – без-

размерная величина, ρ_0 – плотность окружающей атмосферы. Для $R_2=3$ значение $\tau=1,9$.

Для описания временной формы начального импульса использовалось выражение [18]:

$$\begin{cases} P'(t) = \Delta p_u (1-t/t_u)(1-t/\tau_g) \left(1 - (t/\tau_g)^2\right) \rightarrow 0 \leq t \leq 0.4\tau_g \\ P'(t) = kt + d \rightarrow 0.4\tau_g \leq t \leq \tau_s \\ P'(t) = 0 \rightarrow t > \tau_s \end{cases}, \quad (4)$$

где t_u – длительность фазы сжатия, τ_g – полная длительность импульса, τ_s – время при котором площадь фазы разрежения становится равной площади фазы сжатия $d = P'(0.4\tau_g) - 0.4k\tau_g$, и $k = \partial P' / \partial t$ при $t = 0.4\tau_g$.

Для пересчета давления Δp_u и длительности t_u в неоднородной атмосфере использовалось выражение [19]:

$$\Delta p_f = \Delta p_u \left(\frac{\rho_{0f}}{\rho_{0u}} \right)^{1/2} \frac{c_f}{c_u}, \quad t_f = t_u (c_u / c_f) \quad (5)$$

Индекс f обозначает величину на начальном фронте волны при различных углах прихода акустической волны.

Для расчета характеристик акустических волн при их распространении от начального фронта до высот ионосферы использовалась формула [14]:

$$v = \frac{b}{\varepsilon c \rho_0} \frac{\partial}{\partial t} (\ln U), \quad (6)$$

где

$$U(z, t_p) = \frac{1}{2q\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} U_{in}(0, t') \exp \left\{ -\frac{(t-t')^2}{4q^2} \right\} dt', \quad (7)$$

$$t_p = t + \int \frac{f(z)}{c} dz, \quad (8)$$

где c – скорость звука, z – вертикальная ось; b – поглощение,

$$\varepsilon = \frac{\gamma+1}{2}; \quad b = \left(\zeta + \frac{4}{3}\eta \right) + \left(\frac{1}{c_v} - \frac{1}{c_p} \right) \chi;$$

$\gamma = c_p / c_v$, ζ и η – объемная и сдвиговая вязкость, χ – теплопроводность, c_v – удельная теплоемкость при постоянном объеме, c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении.

Здесь t' – переменная интегрирования по времени, t – текущее время, U_{in} – входной импульс на начальной высоте z_{in} , который может быть получен из

$$(6) \text{ как } \ln U_{in} = \frac{\varepsilon c \rho_0}{b} \int v_{in} dt.$$

Также

$$q^2 = \int \frac{b}{2\rho_0 c^3} dz;$$

$$f(z) = \left(1 - \frac{3a+d}{2\rho_0 c^2} \frac{\partial c}{\partial z} - \frac{3a}{2\rho_0^2 c} \frac{\partial \rho_0}{\partial z} \right),$$

где

$$a = \zeta + \frac{4}{3}\eta; \quad d = \left(\frac{1}{c_v} - \frac{1}{c_p} \right) \chi.$$

Эти формулы были получены для случая, когда акустическая волна распространяется в неоднородной атмосфере вдоль z –оси. Очевидно, что они также справедливы и для однородной атмосферы. Чтобы рассчитать распространение акустических волн при произвольном угле θ по отношению к z –оси, мы полагали, что в пределах высотного диапазона 1 км (ступеньки) атмосфера однородна, и формулы (6)-(8) справедливы для произвольного угла θ в пределах ступеньки. В результате:

$$q^2 = \int \frac{b}{2\rho_0 c^3} dl \quad \text{и} \quad t_p = t + \int \frac{f(z)}{c} dl, \quad \text{где}$$

$dl = dz / \cos \theta$. Для коррекции расчетов на каждый 1 км использовалась формула [18], с учетом модификации для цилиндрического источника:

$$I_v = I_{v*} \left(\frac{\rho_{0*}}{\rho_0} \right)^{1/2} \frac{c_* L_*}{c \sqrt{L}}, \quad (9)$$

где $I_v = \int_{-\infty}^{\infty} v dt$, L_* / \sqrt{L} – коррекционный множи-

тель для цилиндрически расходящейся волны, L – расстояние от оси «цилиндрического источника». Например, сначала рассчитывалась площадь фазы сжатия, как $Pl = \int v(t) dt$. Затем рассчитывалась I_v из (9) и коэффициент коррекции $k_l = I_v / Pl$. Новый профиль $v(t)$ равнялся старому профилю, умноженному на k_l .

Для расчета высотных профилей $p(z)$, $c(z)$, $b(z)$, $u(z)$, $T(z)$, $c_p(z)$, $c_v(z)$ использовалась модель атмосферы MSIS-90 [20]. Для расчета вязкости и удельной проводимости использовались формулы [21]:

$$\chi = k_0 T^{3/2} / M; \quad \eta = \frac{4k_0}{(9\gamma - 5)c_v},$$

где $k_0 = 0.015 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, M – молекулярный вес.

Объемная вязкость определялась как $\zeta = \frac{2}{3}\eta$ [22].

Траектория акустического луча с учетом неоднородности атмосферы по вертикали рассчитывалась на основе метода геометрической акустики [11].

Для расчета воздействия акустического импульса на ионосферу использовалась формула [23] в виде:

$$N(z, t) = \left(-N_0 \frac{\sin^2 \alpha}{L} + \frac{\partial N_0}{\partial z} \cos \varphi \cos \alpha \right) \times \int v dt - \frac{v}{c} \cos^2 \alpha N_0 \quad (10)$$

Эта формула была выведена из уравнения непрерывности при условии, что $|\text{grad}(N)| \ll \frac{\partial N_0}{\partial z}$ и возмущения электронной концентрации много меньше фонового значения.

На основе описанной модели были проведены расчеты распространения акустических волн от РН

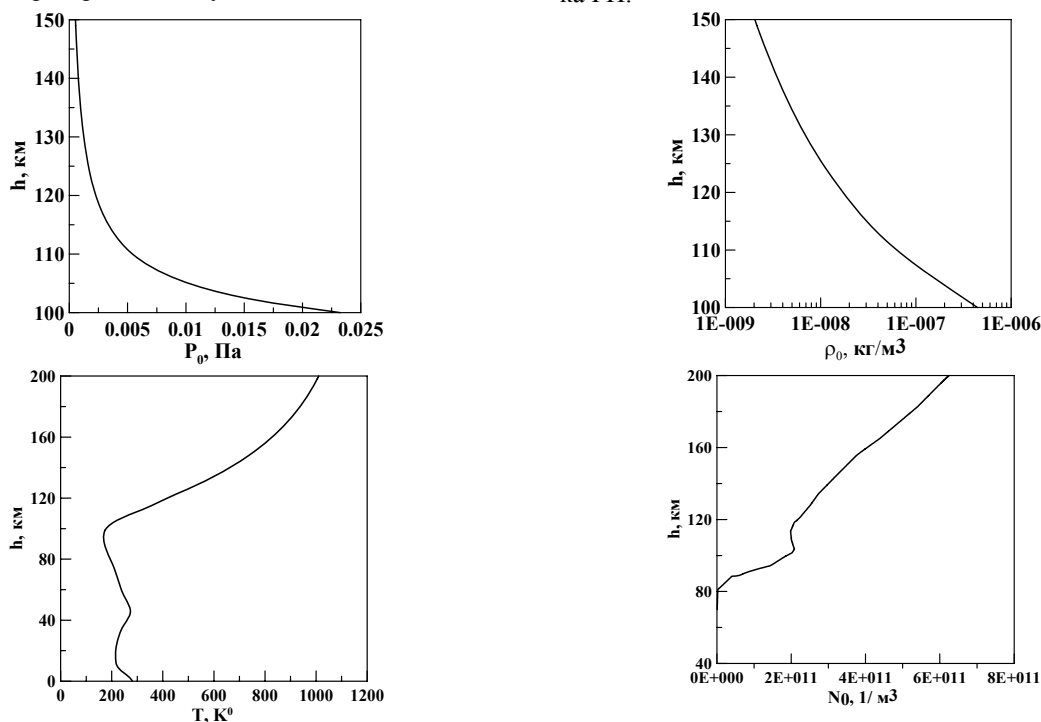


Рисунок 1. Высотные профили давления, плотности, температуры и фоновой электронной концентрации для дня 7 апреля 2001 г. и условий $F_{10.7}=180$, $F_{10.7cp.}=167$, $A_p=16$.

Расчеты акустических и ионосферных возмущений проводились для высот нахождения РН: 102.9, 109.7, 124.9, 150.5 км. На этом участке траектории ракета летит со сверхзвуковой скоростью. Скорость РН рассчитывалась по данным о траектории полета РН. В таблице 1 для каждой высоты (h_r) нахождения РН представлены: скорость ракеты (V_r), число Маха (M_a), масштаб цилиндрического взрыва (Λ) и угол между фронтом ударной волны и осью симметрии (θ).

Таблица 1. Величины скорости ракеты, числа Маха, масштаба цилиндрического взрыва и угла между фронтом ударной волны и осью симметрии.

h_r , км	V_r , км/с	M_a	Λ , м	θ°
102.9	2.816	9.8	72.6	9.8
109.7	3.100	8.9	65.9	8.9
125.0	3.757	7.9	58.3	7.3
150.5	4.486	7.2	53.1	8.0

«Протон», запущенного с космодрома «Байконур», 7 апреля 2001 г. Время запуска - 3.78 UT для условий солнечной активности $F_{10.7}=180$, $F_{10.7cp.}=167$ (среднее значение за три месяца) и геомагнитной активности $A_p=16$. Индекс $F_{10.7}>150$ соответствует повышенному уровню солнечной активности. Длина траектории полета ракеты над территорией Казахстана составила порядка 1300 км.

На рисунке 1 представлены высотные профили давления, плотности, температуры, рассчитанные по модели MSIS-90 и фоновой электронной концентрации, рассчитанные по модели IRI-95 для дня запуска РН.

Для иллюстрации на рисунке 2а,б представлены: рассчитанный начальный акустический импульс для скорости движения гидродинамических частиц V на начальном фронте акустической волны ($R_2=3$), соответствующем расстоянию 220 м вверх от РН (высота 103.12 км) и акустический импульс на расстоянии 1800 м от РН, что соответствует высоте 104.7 км. Видно, что амплитуда гидродинамических частиц акустического импульса очень быстро затухает с расстоянием от РН – 45 м/с на расстоянии $r=220$ м до 3.7 м/с на расстоянии $r=1800$ м. Длительность импульса (расстояние между положительным и отрицательным пиками) увеличивается от ~ 0.2 сек до ~ 0.38 сек, соответственно.

Изменение амплитуды и длительности акустического импульса зависит, в основном, от начальной величины импульса, от высотного изменения плотности атмосферы и поглощающих свойств среды. С одной стороны, экспоненциальное уменьшение

плотности с высотой приводит к увеличению амплитуды импульса, с другой стороны, фактор поглощения среды приводит к уменьшению амплитуды. Чем меньше величина длительности начального импульса, тем сильнее сказывается поглощение, и, следовательно, быстрее происходит затухание импульса. Пространственная форма импульса на расстоянии порядка 2100м вверх от РН (высота 105 км)

представлена на рисунке 2в, а временная форма возмущения электронной концентрации на этом же расстоянии – на рисунке 2г. Из рисунка видно, что форма ионосферного возмущения повторяет форму акустического импульса и величина возмущения $\sim 8 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3$, что составляет $\sim 0.7\%$ от фона.

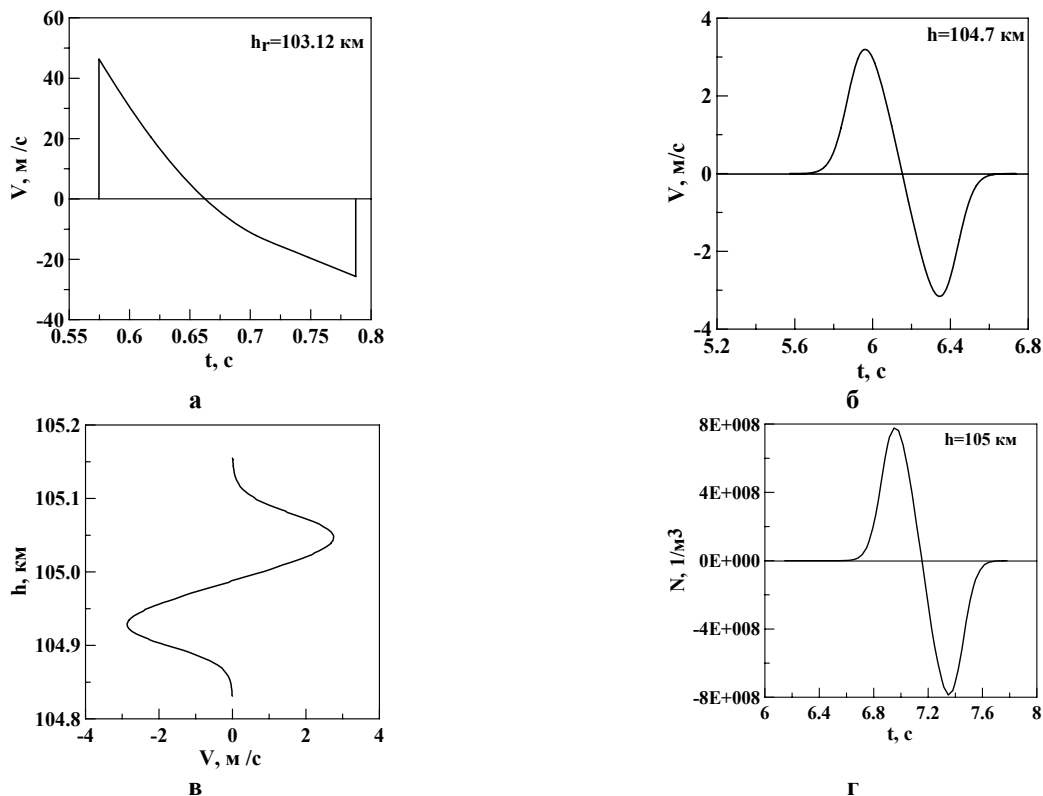


Рисунок 2. Результаты расчета: (а) начальный акустический импульс для скорости движения гидродинамических частиц V на начальном фронте акустической волны ($R_2=3$), соответствующем расстоянию 220 м вверх от РН (высота 103.12 км); (б) акустический импульс на расстоянии 1800 м от РН (высота 104.7 км); (в) пространственная форма импульса на расстоянии порядка 2100м вверх от РН (высота 105 км); (г) временная форма возмущения электронной концентрации на расстоянии 2100м (высота 102.9 км)

На рисунке 3а представлен график затухания скорости движения гидродинамических частиц как функции расстояния вверх от РН для высоты нахождения РН, равной 102.9 км. Видно, что величина амплитуды составляет порядка 0.4 м/с уже на расстоянии $r=37$ км от РН, что соответствует высоте 140 км. Длительность импульса на этом расстоянии ~ 3 с. На рисунке 3б представлен график затухания величины возмущения электронной концентрации для тех же вертикальных расстояний от РН. Видно,

что на расстоянии 37 км от РН величина возмущения электронной концентрации равна примерно $5 \cdot 10^7 \text{ 1/м}^3$, что составляет $\sim 0.04\%$ от фонового значения. Расчеты, проведенные для других высот нахождения РН, показали, что чем больше высота, тем сильнее сказывается поглощение и тем быстрее происходит затухание импульса. И, как следствие, наблюдается меньшая величина возмущения электронной концентрации.

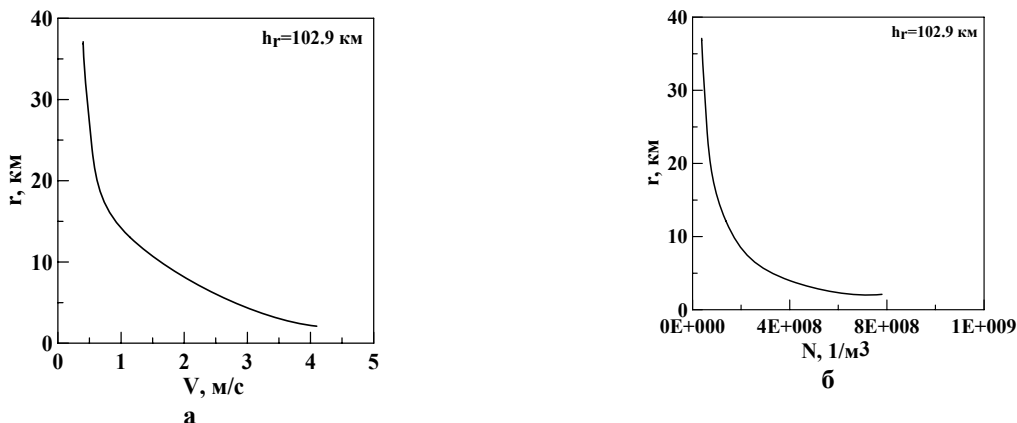


Рисунок 3. Результаты расчета: (а) затухание скорости движения гидродинамических частиц от расстояния вверх от РН; (б) затухание величины возмущения электронной концентрации N для тех же вертикальных расстояний от РН. Высота нахождения РН – 102,9 км

Были проведены также расчеты для распространения акустического импульса в плоскости, параллельной земной поверхности, (в направлении, перпендикулярном движению РН). Как известно, параметры атмосферы слабо меняются по горизонтали и среду можно представить как однородную. Расчеты показали, что для случая однородной атмосферы амплитуда скорости гидродинамических частиц акустического импульса затухает еще быстрее, чем для случая неоднородной атмосферы. Это объясняется отсутствием фактора усиления амплитуды за счет неоднородности плотности атмосферы. Таким образом, расчеты показали, что акустические волны, распространяющиеся вертикально вверх и горизонтально от РН, вызывают возмущение электронной концентрации, величина амплитуды которого составляет десятки доли процента от фонового значения уже на расстоянии 2.1 км от РН и сотые доли процента на расстоянии порядка 37 км от РН, а длительность этих возмущений составляет максимально единицы секунд. Можно предположить, что на больших расстояниях эти возмущения будут еще слабее. В этой связи возникает вопрос о природе ионосферных возмущений большой длительности, наблюдаемых в эксперименте и описанных во введении. Для выявления возможных механизмов, вызывающих эти возмущения, необходимо, прежде всего, изучить главную причину возникновения ионосферных возмущений при полете РН – это распространение ударной волны и ее воздействие на ионосферу.

УДАРНАЯ ВОЛНА ОТ РАКЕТОНОСИТЕЛЯ И ВЫЗВАННОЕ ЕЮ ИОНОСФЕРНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ

Для оценки величины ионосферного возмущения необходимо знать начальные параметры ударной волны, а также законы ее распространения в атмосфере. Как отмечалось выше, ударная волна, возникающая при сверхзвуковом обтекании тел вращения с постоянным поперечным сечением аналогична ударной волне от цилиндрического взрыва. Поэто-

му, для определения избыточного давления Δp_u на фронте ударной волны на различных расстояниях от ракеты справедливо использование соотношения для цилиндрического взрыва [13]:

$$\frac{\Delta p_u}{P_0} = \left(\frac{0.24}{R_2^2} + \frac{0.48}{R_2^{0.75}} \right). \quad (11)$$

Для ударной волны в [13] представлены в виде графиков рассчитанные зависимости $R_2(\tau_+)$ и $R_2(\bar{\tau})$, где τ_+ – длительность фазы сжатия и $\bar{\tau}$ – времени перехода избыточного давления в отрицательную фазу, τ_+ , $\bar{\tau}$, – безразмерные величины. Для пересчета безразмерных величин в размерные даны соотношения: $\tau_+ = \frac{t_u}{t^0}$, $\bar{\tau} = \frac{\bar{t}}{t^0}$. Таким образом,

истинные значения длительности фазы сжатия и времени перехода избыточного давления в отрицательную фазу можно рассчитать из соотношений: $t_u = \tau_+ \cdot t^0$, $\bar{t} = \bar{\tau} \cdot t^0$, а начальное время прихода волны – из соотношения $t_0 = \bar{t} - t_u$. Используя результаты данной работы, были рассчитаны длительность фазы сжатия и начальное время прихода ударной волны для различных R_2 . На основе этих выражений были проведены расчеты параметров ударной волны (амплитуды и длительности фазы сжатия) от РН для $R_2=0.2 \div 1.4$, что соответствует расстояниям примерно 10-90 метров от РН. Величина возмущения электронной концентрации была оценена из следующих соображений. Если степень ионизации есть некоторое постоянное отношение [24]:

$$\frac{dN}{N} = \frac{d\rho}{\rho}, \quad (12)$$

то, зная связь между возмущением давления, вызванного ударной волной, и возмущением плотности от нее можно оценить величину ионосферного воз-

мушения как $\frac{\Delta N}{N_0}$, где ΔN - возмущение электрон-

ной концентрации, N_0 – фоновое значение электронной концентрации. Учитывая, что на ударном фронте, ограничивающем область возмущенного газа, выполняются условия Гюгонио сохранения потока, импульса и энергии, можно записать [12]:

$$\frac{\Delta p}{p_0} = \left[\left(\frac{\gamma+1}{2\gamma} \frac{\Delta p_u}{p_0} + 1 \right) \right] / \left[\left(\frac{\gamma-1}{2\gamma} \frac{\Delta p_u}{p_0} + 1 \right) \right] - 1 \quad (13)$$

С использованием рассчитанного значения Δp_u из (11) и соотношения (13) была оценена величина возмущения электронной концентрации. На рисунке

4 представлены зависимости $\frac{\Delta p_u}{p_0}(R_2)$ и $\frac{\Delta N}{N_0}(R_2)$.

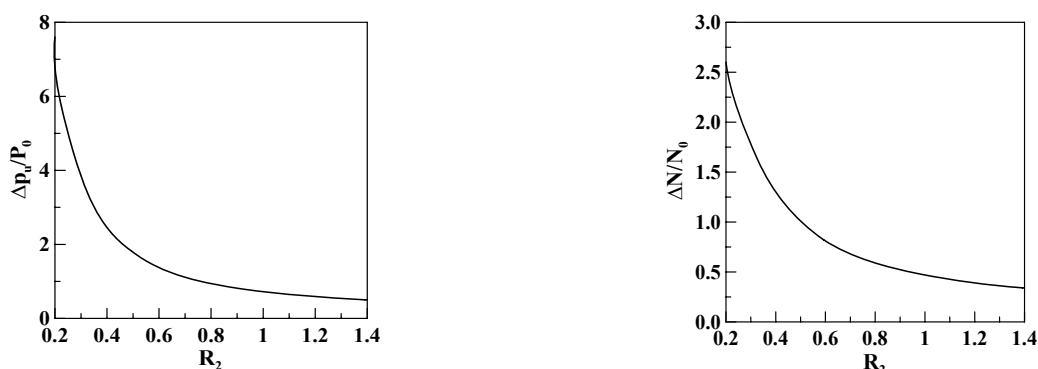


Рисунок 4. Зависимости отношения максимальных избыточных давлений к фоновым значениям от безразмерного радиуса ударной волны и отношения возмущения электронной концентрации к фоновым значениям от безразмерного радиуса ударной волны

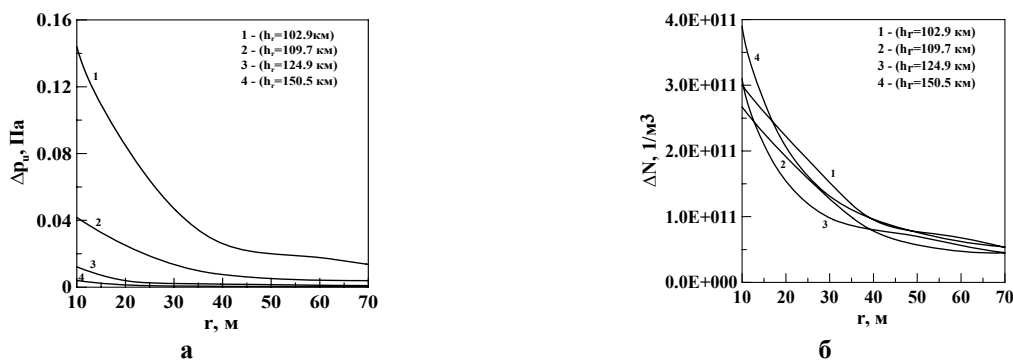


Рис. 5. Изменение величины избыточного давления Δp_u и возмущения электронной концентрации ΔN в зависимости от расстояния (r) от РН для четырех высот нахождения РН

Видно, что величина избыточного давления быстро убывает с расстоянием и, чем выше находится РН, тем меньше величина избыточного давления. Это связано с тем, что с высотой убывает фоновое давление атмосферы. Как следствие, величина возмущения электронной концентрации для различных высот нахождения РН в целом также убывает с расстоянием. Однако ее поведение в зависимости от высоты РН существенно отличается от поведения величины избыточного давления. Дело в том, что возмущение электронной концентрации пропорционально не только величине избыточного давления, но и величине фоновой электронной концентрации.

Видно, что отношение избыточного давления на фронте волны к фону убывает с расстоянием и подобным же образом ведет себя отношение возмущения электронной концентрации к фоновому. Например, величина избыточного давления может превышать фон в 6 раз, а величина возмущения электронной концентрации может превышать фон в 2.6 раза для $R_2=0,2$. Для $R_2=1,4$ величина избыточного давления может превышать фон в 1.7 раз, а величина возмущения электронной концентрации превышает фон в 0.3 раза. На рисунке 5 представлено изменение величин Δp_u и ΔN как функций расстояния (r) от РН для четырех высот нахождения РН.

В основном, фоновая электронная концентрация растет с высотой – рисунок 1. В результате одновременного действия двух факторов: уменьшения с высотой избыточного давления, роста фоновой электронной концентрации, – наблюдается малый разброс значений возмущений электронной концентрации от РН. Из рисунка можно видеть также, что чем дальше мы находимся от РН, тем меньше различия в величинах возмущения электронной концентрации для различных высот нахождения РН. Например, на расстоянии 70 м от РН величина ΔN для всех рассматриваемых высот нахождения РН

составляет величину порядка $0.5 \cdot 10^{11} \text{ 1/м}^3$ (~50% от фонового).

Как видно из полученных результатов, ударная волна может вызвать сильное возмущение электронной концентрации, в отличие от акустической волны. При этом возмущение представляет собой «шнур» диаметром порядка 200-250 м вдоль траектории полета РН со сверхзвуковой скоростью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчеты для четырех высот нахождения РН показали, что акустические волны от РН не могут вызывать ионосферные возмущения, значимой амплитуды и длительности порядка 120-360 сек, как описано, например, в [9,10], так как акустические волны очень быстро затухают с расстоянием. С другой стороны, расчеты, проведенные для ударной волны от РН, показали, что величина избыточного давления на фронте ударной волны может в 6 раз превышать окружающее давление. Это позволяет отнести ее к классу сильных ударных волн [12]. Величина возмущения электронной концентрации, вызванная ударной волной, может превышать фоновое в 2.6 раза. Известно [13], что при распространении сильных ударных волн в газе резко меняются его свойства – сильно возрастают давление, температура, плотность, электропроводность. Следовательно, это должно приводить к возрастанию электропроводности ионосферной плазмы вдоль траектории полета РН. Например, сильное увеличение электропроводности атмосферы было отмечено во время ядерных взрывов [25], значительное увеличение электропроводности атмосферы отмечалось и для взрывных волн, возникающих при детонации химических взрывных зарядов [26]. Когда ударная волна распространяется в пространстве, в котором имеются магнитное и электрическое поля, изменение свойств среды при переходе через фронт ударной волны вызовет возмущения магнитного и электрического полей, которые будут распространяться в виде электромагнитных волн [13]. Одним из типов волн, генерируемых при этом, может быть магнитозвуковая замедленная волна. Она возникает при условии, что $V_a \gg V_s$, где V_a – скорость Альфвеновской волны, V_s – скорость «звука» в плазме без маг-

нитного поля. Это условие выполняется для высот ионосферы. Скорость распространения магнитозвуковой замедленной волны определяется из выражения $V_1 \sim V_s \cos \theta$, где $\text{tg} \theta = \frac{B_y}{B_z}$, B_y, B_z – компонен-

ты вектора магнитного поля по оси y и по оси z . Отсюда видно, что скорость магнитозвуковой замедленной волны близка к звуковой в плазме. Данный механизм должен быть детально количественно рассмотрен для объяснения экспериментальных результатов, описанных ранее. В целом, следует считать, что на сегодняшний день механизм генерации ионосферных возмущений длительностью 120-360с, наблюдаемых во время пусков ракет, не является ясным. Что касается ионосферных возмущений, вызванных распространением акустических волн, то их характерные параметры определились:

- форма ионосферного возмущения повторяет форму акустического. Амплитуда гидродинамических частиц акустического импульса очень быстро затухает: от 45 м/с на расстоянии 220 м до 3.7 м/с на расстоянии 1800 м от РН. Длительность акустического импульса увеличивается, соответственно, от ~0.2 сек до ~0.38 сек. От испытательных взрывов, проведенных на Земле и под Землей, не наблюдаются ионосферные возмущения таких длительностей;
- вызванное акустическим импульсом возмущение электронной концентрации, например, для высоты нахождения РН 102.9 км, составляет ~0.7% от фонового значения на расстоянии 2.1 км от РН и ~0.04% на расстоянии 37 км, при этом длительность составляет от долей до нескольких секунд;
- акустические волны от РН не вызывают серьезных ионосферных возмущений, которые могли бы создавать серьезные помехи при мониторинге взрывов ионосферным методом;
- сильное возмущение от ударной волны сосредоточено в «шнуре» диаметром порядка 200-250 м при длине радиотрасс сотни и тысячи километров, поэтому маловероятно, что точка отражения зондирующей радиоволны может попасть на этот «шнур».

ЛИТЕРАТУРА

1. Карлов В.Д., Козлов С.И., Ткачев Г.Н. Крупномасштабные возмущения в ионосфере, возникающие при полете ракеты с работающим двигателем. Космические исследования. 1980, Т.18, с.266-277.
2. Mendillo M. The effects of rocket launches of the ionosphere. Adv. Space Res., 1981, V.1, p. 275-290.
3. Mendillo M. Modification of the ionosphere by large space vehicles. Adv. Space Res. 1982, V.2, p.150-159.
4. Нагорский П.М. Неоднородная структура F области ионосферы, образованная ракетами. Геомагнетизм и аэронавтика. 1998, Е.38, с. 100-106.
5. Calaise E., Minster J.B. GPS detection of ionospheric perturbations following a Space Shuttle ascent. Geophys.Res.Lett. 1996, V.23, p.1897-1900.
6. Noble S.T. A large-amplitude traveling ionospheric disturbance excited by the Space Shuttle during launch. J. Atmos. And Solar-Terr. Phys. 1997, V.59, p. 829-834.
7. Нагорский П.М. Анализ отклика КВ-радиосигнала на возмущения ионосферной плазмы, вызванные ударно-акустическими волнами. Изв. ВУЗов Радиофизика.1999, XIII, с.36-44.
8. Нагорский П.М. Модификация F области ионосферы мощными импульсными источниками волн в нейтральном газе. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. Томский государственный университет. Томск, 1998, с.31.

9. Abram R. Jacobson and Robert C. Carlos, Observations of acoustic-gravity waves in the thermosphere following Space Shuttle ascents. *J. Atmos. And Solar-Terr. Phys.*, 1994, Vol56, No4, pp.525-528.
10. Плотников А.В. Детектирование с помощью GPS – решеток ударно-акустических волн, генерируемых при запусках ракет, землетрясениях и взрывах. Автореферат на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. Иркутский государственный технический университет, Иркутск, 2001.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.:Изд.Наука, 1986,с.638.
12. Цикулин М.А. Ударные волны при движении в атмосфере крупных метеоритных тел. Изд.Наука, 1969, с.47.
13. Коробейников В.П. Задачи теории точечного взрыва. – М.: Наука, 1985, с.183.
14. Drobzheva Ya.V., Krasnov V.M. The acoustic field in the atmosphere and ionosphere caused by a point explosion on the ground. *J.Atmos.Solar-Terr. Phys.*, 2002, in press.
15. Drobzheva Ya.V., Krasnov V.M. The model of acoustic disturbances in atmosphere and ionosphere for Mill Race explosion. *Phys.Chem.Earth (B)*, V.24, №8, pp.963-967, 1999.
16. Banister J.R. and Hereford W.V. (1991) Observed high altitude pressure waves from an underground and surface explosion. *J. Geophys. Res.*, 96, No.D3, p.5185-5193.
17. Warshaw S. I., Dubois P. F. (1981) Preliminary theoretical acoustic and RF sounding calculation for Mill Race. Report Lawrence Livermore National Laboratory, UCID-19231, USA, 20p.
18. Drobzheva Ya.V., Krasnov V.M. The spatial structure of the acoustic wave field generated in the atmosphere by a point explosion. *Acoustical Physics*, Vol.47, №5, pp. 556-564,2001.
19. Drobzheva Ya.V., Krasnov V.M. Initial shape and model of vertical-oblique propagation of acoustic pulse in the atmosphere (on the base of Mill Race experiment). *Acoustical Journal (in Russian)*, 45, №2, pp.223-228, 1999.
20. A.E. Hedin, Extension of the MSIS thermospheric model into the middle and lower atmosphere. *J. Geophys. Res.*, A96, p. 1159-1172, 1991.
21. Forbes J.M., Garrett H.B. (1979) Theoretical studies of atmospheric tides. *Rev. Geophys. Space Phys.* 17, 1951-1981.
22. Ivanovskii A, Repnev A, Shvidkovskii E. (1967) Kinetic theory of higher atmosphere. Hydrometeoizdat, Leningrad.
23. Krasnov V.M., Pelenitein G.M., Ryaskov O.E., Salikhov N.M. (1991). Model of ionospheric response on surface industrial explosions. *Vestnik of Academy of Science of Kazakh SSR*, No.8, 44-49, in Russian.
24. R.M. Gallet. *Proc.IRE*, 43, pp.1240-1252,1955.
25. Ядерный взрыв в космосе, на земле и под землей. Сб. статей/Перев. С английского. М.: Воениздат, 1974.
26. Бриш А.А., Тарасов М.С., Цукерман В.А. Электропроводность диэлектриков в сильных ударных волнах. 1959, ЖЭТФ, т.37, вып. 6, с.22-25.

ДЫБЫСТАН АСҚЫН ЖЫЛДАМДЫҚТЫ ҰШАТЫН АППАРАТТАРДЫҢ ҰШУЫНДА ИОНОСФЕРЛІК ЖӘНЕ ИНФРАДЫБЫСТЫҚ ҰЙЫТҚУЫНЫҢ ӨЗГЕШЛІКТЕРІ.

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

Қазақстан республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ионосфера институты, Алматы

Дыбыстан асқын жылдамдықпен жүріп келе жатқан ракетатасқыштан акустикалық толқындардың өрістеуінің және олардың ионосфераға әсерінің моделі ұсынылған. Акустикалық толқындар, аядан шамасы 0,04-0,7% болатын электрондық шоғырлануының өзгеруін тудыратыны көрсетілген, бұл жарылыстардың ионосферлік мониторингін құруға маңызды бөгеуілін тудырмайды. Ионосферлік ұйытқуының ұзақтығы ионосферлік жоғарлықта 0,2 - 3,5 с.

FEATURES OF INFRASONIC AND IONOSPHERIC DISTURBANCES GENERATED BY LAUNCH VEHICLE

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

Institute of Ionosphere, Ministry of Science and Education, Almaty

In this paper we present a model, which describe the propagation of acoustic pulses through a model terrestrial atmosphere produced by launch vehicle, and effects of these pulses on the ionosphere above the launch vehicle. We show that acoustic pulses generate disturbances of electron density. The value of these disturbances is about 0.04-0.7% of background electron density. So such disturbances can not create serious noise-free during monitoring of explosions by ionospheric method. We calculated parameters of the blast wave generated at the ionospheric heights by launch vehicle. It was shown that the blast wave is intense and it can generates disturbance of electron density which 2.6 times as much then background electron density. This disturbance is “cord” with diameter about 150-250 m whereas length of radio line is hundreds and thousand km. Duration of ionospheric disturbances are from 0.2 s to 3-5 s. Such values of duration can not be observed during underground and surface explosions.

УДК 550.341(574.3)

ШАЛГИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ЦЕНТРАЛЬНОМ КАЗАХСТАНЕ 22.08.2001 Г

Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н., Казаков Е.Н., Беляшов А.В.

Институт геофизических исследований ИЯЦ РК

Приведены результаты изучения землетрясения, происшедшего 22.08.2001 г в Центральном Казахстане – в районе, традиционно считавшемся несейсмичным. Получены инструментальные и макросейсмические характеристики гипоцентра, каталог афтершоков. Представлено геолого-тектоническое описание эпицентральной области землетрясения. Сделаны выводы о реальной точности оценок координат эпицентра события различными Центрами данных.

22 августа 2001 г. в 22 часа 58 минут местного времени в Центральном Казахстане, в 198 км юго-восточнее г. Жезказган вблизи поселка Шалгинский, произошло землетрясение интенсивностью в эпицентре порядка 6 баллов по шкале MSK-64. Землетрясение было зафиксировано сетью сейсмических станций ИЯЦ РК, Института сейсмологии МОН РК, российскими сейсмическими станциями, станциями Международной сети мониторинга (ISC). Основные параметры главного толчка по данным из этих источников приведены в таблице 1.

Событие вызвало большой резонанс у специалистов-сейсмологов, поскольку оно произошло в районе, необычном в сейсмическом отношении, где, согласно сейсмическому районированию территории Казахстана [1,2], проявление землетрясений не ожидалось. На современной карте сейсмического районирования, входящей составной частью в Сейсмические нормы и правила для Республики Казахстан [1], очаговая область происшедшего землетрясения находится в так называемой асейсмичной зоне.

Таблица 1. Основные параметры главного толчка

№ п/п	Дата	Время в очаге, Т ₀	Широта, N	Долгота, E	Глубина, км	Магнитуда, Ms	Энергетический класс	Автор определения
1.	22.08.01	15 58 01.82	47.16	70.20	З/К	5.0	-	NEIC
2	22.08.01	15 57 59.24	47.112	69.950	0 (фикс)	4.7	-	REB
3	22.08.01	15 57 58.8	47.20	70.14	З/К	5.0	-	OBNINSK
4	22.08.01	15 57 57.70	47.20	70.20	19	5.0 (M _{gv} =5.4)	13.2	KNDC
5	22.08.01	15.57.59.0	47.13	70.33	15	5,4 (M _{gv} =5,8)	14,2	ИС МОН

Событие представляет также большой методический интерес для технологий сейсмического мониторинга ядерных испытаний. Во-первых, оно важно для отработки методики инспекции на месте, целью которой является выяснение природы регистрируемого события и уточнение его локализации. Во-вторых, это событие дает возможность оценить реальную точность локализации эпицентра события при использовании методик обработки данных различной степени оперативности применительно к району, который ранее не исследовался в данном аспекте.

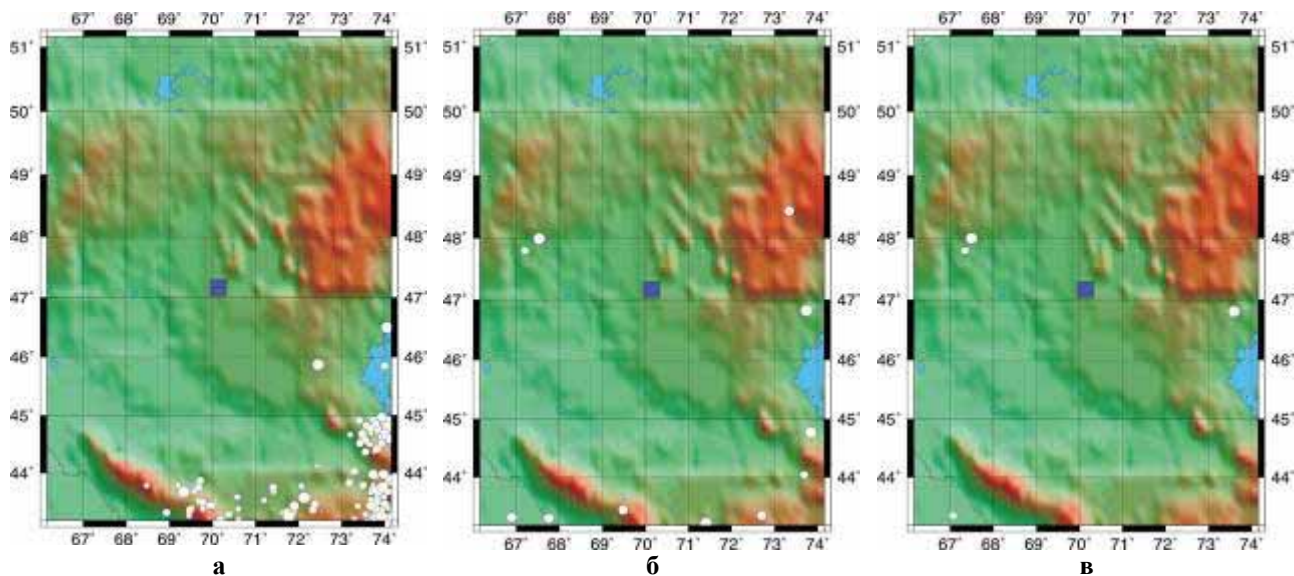
В связи с этим Институт геофизических исследований ИЯЦ РК организовал и провел экспедицию в эпицентральный район Шалгинского землетрясения. Её основными задачами были макросейсмическое

обследование и регистрация афтершоков сетью полевых станций. Результаты полевых и камеральных работ по изучению этого землетрясения приведены в настоящей статье.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

Исторические сведения о сильных местных землетрясениях в изучаемом районе отсутствуют, в течение долгого времени регион не привлекал внимания сейсмологов Казахстана. На рисунке 1а приведена карта эпицентров землетрясений по каталогу, составленному в Институте сейсмологии МОН РК за период с 250 г. до н.э. и до 2000 г. Согласно карте в районе эпицентра Шалгинского землетрясения эпицентров других землетрясений не отмечено.

ШАЛГИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ЦЕНТРАЛЬНОМ КАЗАХСТАНЕ 22.08.2001 г.



Синий квадрат – эпицентральная зона Шалгинского землетрясения

Рисунок 1. Историческая сейсмичность Центрального Казахстана по каталогам:

а – Института сейсмологии МОН РК (период с 250 г. до н.э. и до 2000 г.); б – по каталогу ISC - Международного Центра данных (1964-1998 гг.); в – по каталогу Геологической службы США - NEIC (1638-2000 гг.)

Таблица 2. Землетрясения в районе г. Жезказгана по данным станций сети НЯЦ РК

№	Дата и время в очаге	Координаты		Глубина	m _{РВА}	Энергетический класс, К
		Широта, φ°	Долгота, λ°			
1	8/01/1994 04:15:39.7	47.83	67.45	20	4.6	12.2
2	7/17/1995 19:08:33.6	47.94	67.55	22	3.9	9.9
3	6/23/1996 18:28:26.7	47.91	67.57	0-5	4.2	11.0
4	8/01/1996 00:06:04.5	47.90	67.54	0-5	4.3	10.2

Анализ каталогов Международного сейсмологического центра ISC (Рис.1б) и Геологической службы США NEIC (Рис. 1 в), показал, что в районе г. Жезказган в 1994 г. и 1996 г. близко друг к другу произошло два землетрясения на расстояниях порядка 2.5 градуса от эпицентра Шалгинского землетрясения. По записям цифровых станций НЯЦ РК, сделанным, начиная с 1994 г., в районе г. Жезказган также удалось обнаружить четыре события, данные о которых приведены в таблице 2. Таким образом, удалось установить, что в исследуемом районе существует естественная сейсмичность, не отраженная в каталогах землетрясений Казахстана.

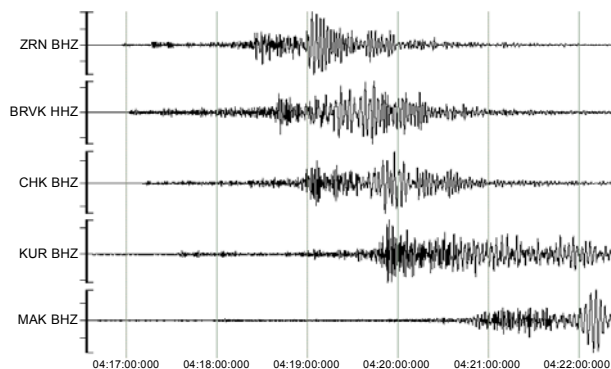


Рисунок 2. Запись землетрясения в районе г. Жезказган станциями НЯЦ РК. 01.08. 1994 г., 04-15-39.7

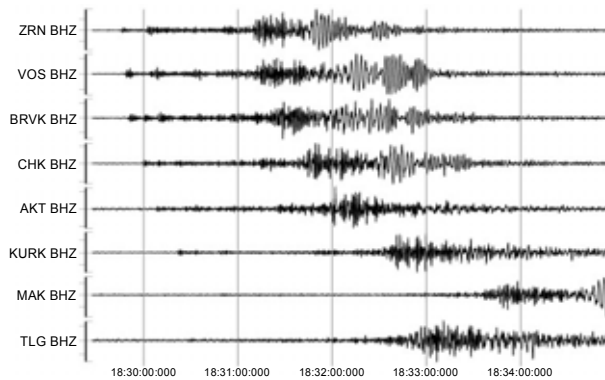


Рисунок 3. Запись землетрясения в районе г. Жезказган станциями НЯЦ РК. 23.06.1996г, 18-28-26.7

В подтверждение сказанного, на рисунках 2 и 3 приведены фрагменты записей двух жезказганских землетрясений - 1994 и 1996 гг.

Первые сведения о местоположении эпицентра главного толчка Шалгинского землетрясения в ЦСОССИ получены через несколько минут после землетрясения благодаря данным, поступившим в режиме реального времени от двух станций НЯЦ РК – «Курчатов» (сейсмическая группа KURK) и «Маканчи» (сейсмическая группа MKAR). Результаты автоматической локализации события по этим данным приведены в таблице 3 (вариант 1) - эпицентр

землетрясения получился в Центральном Казахстане примерно в 130 км на юг от г. Жезказган, что сразу же вызвало интерес к событию. В соответствии с технологией, принятой в ЦСОССИ, данные станций, полученные в режиме реального времени («Курчатов», «Маканчи» и «Боровое») пересмотрены оператором в интерактивном режиме. Было установлено, что при автоматической обработке сигналов не очень точно выделены вступления волны Pn и определены времена вступлений этой фазы, а фазы Sn и Lg выделены с ошибкой приблизительно в 20 с. После введения соответствующих корректировок в тот же день была проведена перелокализация эпицентра события.

Для этой цели были использованы два программных пакета, имеющихся в ЦСОССИ, – DATASCOPE (dbloc_2) и Geotool. Новые полученные результаты - вариант 2, приведены в таблице 3 и на рисунке 6. По результатам применения обеих программ положение эпицентра сместилось почти на 150 км на северо-восток. Однако разница между двумя решениями двух использованных программ оказалась значительной и составила примерно 20 км. Расхождение обусловлено использованием разных вариантов годографов IASPEI, заложенных в каждую из программ, разной детальностью задания этих годографов и различием алгоритмов определений.

Таблица 3. Координаты эпицентра Шалгинского землетрясения

№ варианта	Способ определения или источник	φ	λ	h
1	Автоматическое определение ЦСОССИ (по данным 2 станций НЯЦ РК)	46.46	68.21	
2	Интерактивное определение ЦСОССИ (по данным 3 станций НЯЦ РК). Программа DATASCOPE	47.18	70.36	0 (фикс.)
3	Оперативное определение. Информационный сейсмологический центр «Обнинск»	47.11	69.93	з/к
4	Международный Центр Данных. Бюллетень REB	47.11	69.95	28
5	Определение ЦСОССИ по сети НЯЦ РК	47.22	70.38	26
6	Определение ЦСОССИ по сетям НЯЦ РК и KNET	47.22	70.41	19
7	Информационный сейсмологический центр «Обнинск». Сейсмологический бюллетень	47.20	70.14	10
8	Геологическая служба США. Бюллетень NEIS	47.16	70.20	33
9	Макросейсмическое определение эпицентра	47.22	70.30	
10	Окончательные координаты эпицентра	47.20	70.20	19

Срочная обработка данных двух казахстанских станций, проведенная Информационным сейсмологическим Центром Российской геофизической службы (г. Обнинск), дала результаты, приведенные как вариант 3: эпицентр разместился примерно в 20 км от варианта, полученного по программе DATASCOPE и по другую сторону от варианта, полученного по программе Geotool. Большой разброс определений обусловлен, помимо указанных ранее причин, отсутствием в районе эпицентра события сейсмических станций. Ближайшей, на расстоянии около 700 км от очага, была станция «Боровое». В таких условиях хорошее решение может быть получено при достаточном азимутальном окружении эпицентра станциями наблюдения.

В последующие дни были собраны данные других станций НЯЦ РК и по Internet - станций киргизской сети KNET [3]. Была повторена обработка данных этого события с интерпретацией всех записей оператором. Результаты новой локализации события приведены в таблице 3 как варианты 5 и 6. В новых определениях участвовали данные 9 трехкомпонентных станций и одной сейсмической группы сети НЯЦ РК, а также 10 станций сети KNET. Результаты получились довольно близкими между собой и практически совпадающими с оперативным определением в ЦСОССИ по программе DATASCOPE.

Примерно через две недели был получен вариант решения Международного центра данных в Вене – бюллетень REB, в котором участвовали данные 36 станций Международной сети сейсмического мони-

торинга. Решение Международного центра данных (Табл. 3, вариант 4) практически совпало с оперативным определением Информационного сейсмологического Центра Российской геофизической службы (г. Обнинск), но существенно (на 30 км) отличалось от решений ЦСОССИ.

В более поздний период, спустя несколько месяцев, были получены уточненные данные Российской геофизической службы (каталог и сейсмологический бюллетень) и Геологической службы США. В получении результатов участвовали данные около 100 станций мира. Результаты приведены в таблице 3 как варианты 7 и 8. Они достаточно близки между собой и отличаются примерно на 15 км от решения, полученного в ЦСОССИ. Именно эти результаты оказались наиболее близкими к истинному эпицентру, положение которого было уточнено путем полевой регистрации афтершоков.

Таким образом, применительно к обсуждаемому событию, все определения с участием человека по разным службам лежат в области с апертурой 30 км (± 15 км от истинного эпицентра), что, по всей видимости, является реальной точностью определения эпицентра события для этого района.

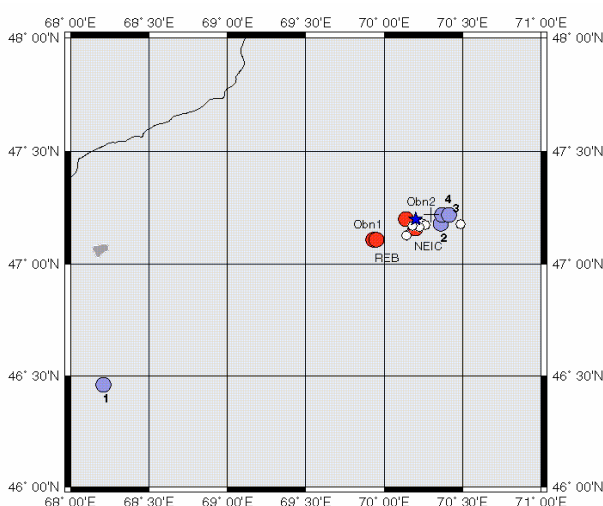
Магнитуда события по разным источникам определена в следующих диапазонах: $m_b = 4.6 - 5.8$, $M_s = 4.7 - 5.4$, $K=13.6 - 14.2$. Полные данные об использованных временах вступлений региональных фаз на станциях НЯЦ РК и KNET для Шалгинского землетрясения приведены в таблице 4.

ШАЛГИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ЦЕНТРАЛЬНОМ КАЗАХСТАНЕ 22.08.2001 г.

Таблица 4. Времена вступления основных региональных фаз на записях Шалгинского землетрясения

Станция	Δ, км	Времена вступления основных сейсмических фаз						
		Pn	P2	Pg	Sn	Lg1	Lg	Rg
USP	552	15:59:14.523	15:59:26.619		16:00:11.795		16:00:31.967	
EKS2	577	15:59:18.351			16:00:18.548	16:00:38.341	16:00:43.752	
CHM	588	15:59:19.112		15:59:33.133			16:00:42.108	
AAK	610	15:59:22.225		15:59:40.061	16:00:24.760		16:00:46.932	
VOS	621	15:59:23.382	15:59:27.075	15:59:44.622	16:00:25.783		16:00:57.924	
AML	626	15:59:25.006	15:59:29.953		16:00:31.814		16:00:52.819	
KBK	628	15:59:24.689		15:59:43.734		16:00:50.782	16:00:58.446	
TKM2	638	15:59:24.707		15:59:39.206		16:00:49.227	16:00:58.782	
UCH	649	15:59:27.877			16:00:34.717		16:01:01.534	
ZRNK	649	15:59:27.032	15:59:30.686	15:59:47.372	16:00:32.984		16:01:02.062	16:01:27.321
BRVK	656	15:59:27.913			16:00:33.672		16:01:03.803	16:01:37.216
KZA	695	15:59:34.627			16:00:47.585			
TLG	706	15:59:33.428			16:00:43.067		16:01:17.981	
CHKZ	725	15:59:36.282		15:59:58.789	16:00:49.246		16:01:21.224	16:01:58.955
ULHL	729	15:59:38.292		16:00:00.057		16:01:22.793	16:01:26.139	
KURK	735	15:59:36.784	15:59:40.210	16:00:01.636	16:00:47.940		16:01:24.108	16:01:52.704
PDG	848	15:59:50.450					16:01:55.954	
MAKZ	900	15:59:55.996			16:01:26.354		16:02:09.595	
MK05	924	15:59:59.138						
MK06	924	15:59:59.157						
MK31	924	15:59:59.163			16:01:30.304		16:02:18.122	16:03:27.654
MK01	925	15:59:59.176						
MK04	925	15:59:59.100						
MK02	926	15:59:59.270						
MK07	927	15:59:59.270						
AKTK	964	16:00:05.106			16:01:40.734		16:02:32.591	16:03:17.619

Эллипсы ошибок, рассчитанные по данным станций IMS в Международном центре данных (REB), а также по данным станций НЯЦ РК и KNET в ЦСОСЦИ, приведены на рисунке 5. Звездочкой показано положение реального эпицентра землетрясения.



Крест – макросейсмический эпицентр землетрясения. Незалитые кружки – афтершоки. Определения в ЦСОСЦИ: 1 - автоматическое; 2 - оператором по данным, поступившим в режиме реального времени; 3 - по сети станций НЯЦ РК; 4 - по сетям станций НЯЦ РК и KNET. Определения в ИСЦ «Обнинск»: Obn1 – срочная обработка Obn2 – окончательная обработка; REB – данные Международного сейсмологического Центра (IDC); NEIC – данные Геологической службы США

Рисунок 4. Результаты различных определений эпицентров главного толчка и афтершоков

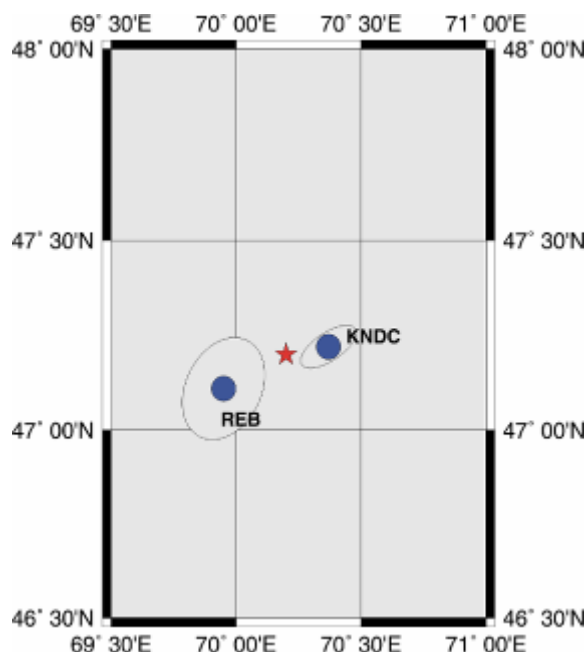


Рисунок 5. Эллипсы ошибок определения эпицентра Шалгинского землетрясения по данным IDC (REB) и WJCCB (KNDC)

ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ЭПИЦЕНТРА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Геолого-тектоническая характеристика района эпицентра землетрясения рассмотрена по материалам исследований Чу-Илийского региона, проведенным под руководством А. А. Абдулина, В. М. Волкова и Г. Н. Щербы [4-10].

Пространственно эпицентр события располагается в северо-западной части Бурунтауского антиклинория, входящего в северо-восточное Прибалхашское

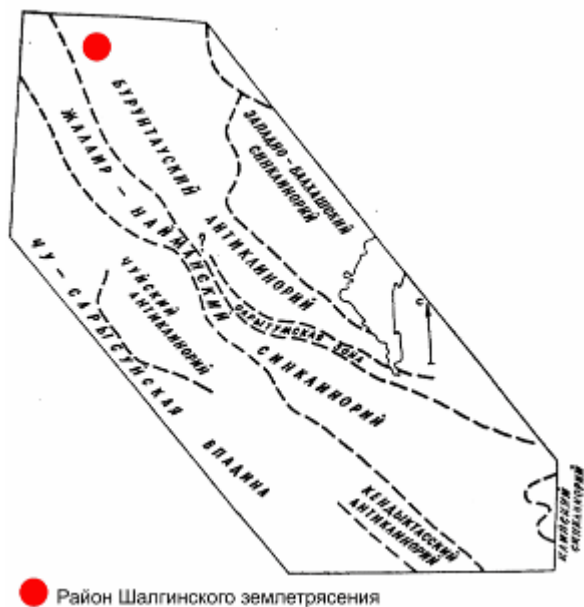


Рисунок 6. Схема районирования Чу-Илийского региона (геологические структуры I порядка)

Глубинное строение земной коры Прибалхашского крыла сложное и включает юго-западные склоны двух региональных структур – Центрально-Казахстанского минимума и Балхашского выступа (переходная Моинтинская седловина). Мощность земной коры колеблется от 40 до 52 км, а в районе эпицентра Шалгинского землетрясения составляет примерно 50 км. Системой продольных, поперечных и диагональных разломов, составляющих ортогональную систему, Прибалхашское крыло расчленено на отдельные блоки. Многие разломы являются естественными границами между геологическими структурами разного порядка.

Бурунтауский антиклинорий на западе граничит с Жалаир-Найманским синклинорием по крупному региональному Сарытумскому разлому (северная ветвь Жалаир-Найманского разлома). На северо-востоке он граничит с Атасу-Моинтинским антиклинорием по Атасуйскому (Атасу-Балхашскому) разлому. В строении Бурунтауского антиклинория принимают участие смятые в складки различной ориентировки метаморфические сланцы, кварциты, мраморы и яшмы, а также основные вулканиты допалеозоя и кембро-ордовика, относящиеся к ранним

ское крыло Чу-Илийского мегантиклинория (Рис. 6). Прибалхашское крыло протягивается на 750 км от южного края Жайлыминской синклинали до Заилийского Алатау. Оно ограничено на юге - системой глубинных региональных разломов, на западе – Сарытумским разломом, переходящим в северную ветвь Жалаир-Найманского разлома, а на востоке – Атасу-Балхашским (Атасуйским) разломом. Простираение разломов северо-западное, падение северо-восточное.



1 – разломы: достоверные (сплошная линия), по геофизическим данным (пунктир); 2- контуры основных структур. Разломы: 1, 2 – Жалаир-Найманский (1-южная, 2-северная ветви), 3-Сарытумский, 4 - Анархайский, 5 - Бектаутинский, 6 - Атасуйский, 7-Чуйский, 8-Костарыкский, 9 - Шалгинский, 10 - Западно-Балхашский, 11-Балхашский, 12 - Мунлинский, 13 - Пстанский

Рисунок 7. Схема основных разломов Чу-Илийского региона (Паталаха Е.И., Абдулин А. А. и др.)

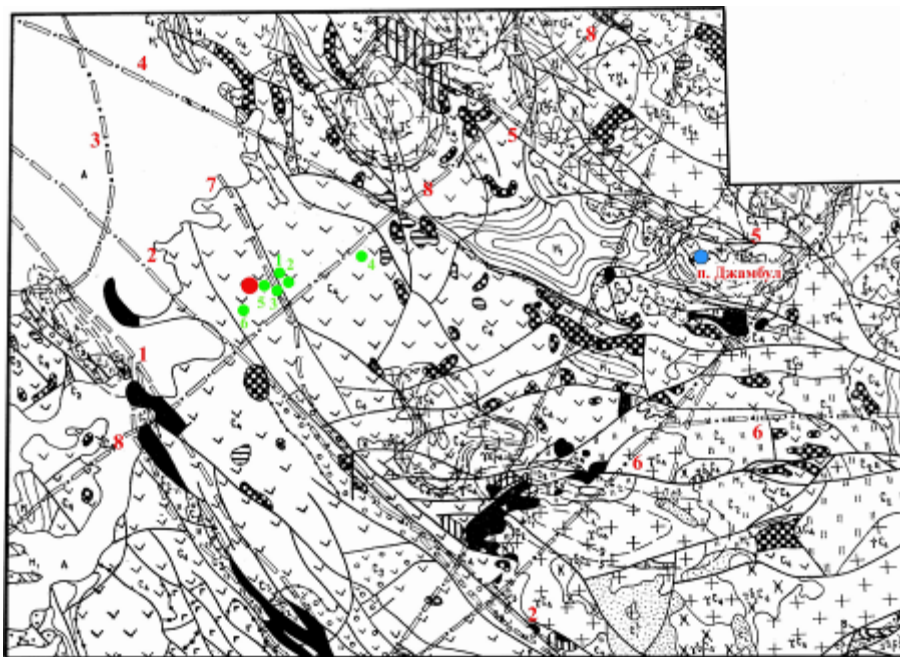
каледонидам, и вулканогенные образования нижнего, среднего и первой половины верхнего девона, на которых несогласно залегают карбонатные отложения фаменского яруса и нижнего карбона. Вулканогенные образования создают систему крупных линейных и куполовидных поднятий и пологих прогибов. Эти отложения прорывают гранитоидные интрузии девона и нижней перми. Бурунтауский антиклинорий делится на две более мелкие тектонические структуры, Приатасуйский прогиб, который занимает северную часть антиклинория, и Каиб-Жалгызский антиклинорий, занимающий его южную часть. Эти две структуры граничат между собой по Бектаутинскому региональному разлому северо-восточного простираения.

Структура Бурунтауского антиклинория разбита разрывными нарушениями различной ориентировки, как это показано на рисунке 7. Выделяется несколько систем разломов. Первая – генеральная система северо-западного простираения (Жалаир-Найманский (Сарытумский), Атасу-Балхашский, Шалгия-Караобинский, Мунлинский и другие параллельные им разломы). Вторая - поперечная система разломов северо-восточного простираения (Пстанский надвиг,

Бектаутинский и ряд других, параллельных им разломов). Эти разломы создают ортогональную систему. Встречаются также диагональные субширотные и запад-северо-западные разломы, которые оперяют Жалаир-Найманскую зону разломов.

Непосредственно в районе эпицентра Шалгинского землетрясения (Рис. 8) проходят следующие крупные разломы: Сарытумский (2), являющийся северной ветвью Жалаир-Найманского разлома, Мунглинский (4), Шалгия-Караобинский или Шал-

гинский (5) - разломы северо-западного генерального направления, поперечный разлом северо-восточного направления (8), параллельный Пстанскому (6) и Бектаутинскому разломам, разломы близмеридианального направления - Костакырский (3), Ушкольский и другие (7). Краткая характеристика наиболее крупных разломов этого района приводится по данным Т. А. Акишева, С. Б. Абулгзина и А. Ф. Метленкова [8].



Цифрами на схеме обозначены следующие разломы: 1 - Жалаир-Найманский, 2 - Сарытумский (северная ветвь Жалаир-Найманского разлома), 3 - Костакырский (Ушкольский), 4 - Мунглинский, 5 - Шалгия-Караобинский (Шалгинский), 6 - Пстанский, 7 - Близмеридианальное ответвление Сарытумского разлома, 8 - Региональный глубокий разлом северо-восточного направления.
 ● Эпицентр Шалгинского землетрясения, определенный по данным сейсмических станций ИГиН ЯЦ РК.
 ● Эпицентры гиперформов Шалгинского землетрясения ● Населенный пункт Джамбул

Рисунок 8. Геолого-структурная схема северо-восточной части Чу-Илийского региона

Жалаир-Найманский глубинный (мантийный) разлом (1) северо-западного направления протяженностью более 500 км простирается от гор Койжарылган на юго-востоке через весь Чу-Илийский регион, примыкая на северо-западе к Чуйскому разлому. Жалаир-Найманский разлом был заложен в байкальскую эпоху тектогенеза и неоднократно подновлялся. В отношении направления падения Жалаир-Найманского разлома существует несколько точек зрения, наиболее вероятным признано крутое юго-западное падение с возможным изменением на северо-восточное в пределах глубины 1-5 км.

Сарытумский глубинный разлом (2) протягивается в северо-западном направлении более чем на 500 км от южного окончания озера Балхаш до гор Шибанды (район эпицентра Шалгинского землетрясения), где он примыкает к Жалаир-Найманскому разлому и отделяет Приатасуйский прогиб от Жалаир-Найманского синклиория. Сарытумский разлом имеет крутое падение, близкое к вертикальному.

Вертикальная амплитуда перемещения пород по разлому составляет около 3 км.

Шалгия-Караобинский глубинный разлом (5) прослеживается в северо-западном направлении на 170 км от гранитного массива Матуртубек через Шалгинский массив габброидов, затухая в районе крупного гранитного массива, не выходящего на дневную поверхность за пределы описываемого района. Имеет крутое юго-западное падение плоскости сместителя. Вертикальная амплитуда перемещения пород по разлому составляет около 3 км. Разлом затухает в базальтовом слое.

Все эти разломы имеют надвиговый характер [9].

Как видно из рисунка 8, область эпицентра Шалгинского землетрясения приурочена к пересечению поперечного разлома (8) северо-восточного направления и разлома (7), имеющего близмеридианальное направление. Южнее, в 20-25 км, разлом близмеридианального направления сочленяется с Сарытумским разломом (2) и, скорее всего, является одним из ответвлений Сарытумского глубинного разлома,

относясь к генеральной системе разломов северо-западного направления. Поперечный разлом (8) северо-восточного направления параллелен Пстанскому (6) и Бектаутинскому глубинным разломам и относится к другой главной системе разломов региона. Поперечный разлом пересекается с крупными глубинными разломами: Жалаир-Найманским (1) и Сарытумским (2) - юго-западнее эпицентра землетрясения, Мунлинским (4) и Шалгинским (5) - северо-восточнее эпицентра землетрясения.

Эпицентр главного толчка землетрясения располагается с северной стороны поперечного разлома (8), что может указывать на то, что этот разлом имеет северо-западное направление падения плоскости сместителя. Предполагаемый угол падения разлома, приблизительно 50 градусов, рассчитан по координатам и глубине толчков (главного и афтершоков). Близмеридианальный разлом имеет, скорее всего, более крутое юго-западное падение (примерно

70 градусов), что согласуется с направлением падения разломов генерального направления (Жалаир-Найманского, Сарытумского и других).

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ

Макросейсмическое обследование проведено спустя 6 суток после землетрясения. Обследовано более 10 населенных пунктов по маршруту: г. Алматы – г. Сарышаган – г. Балхаш – п. Акчатау – п. Агадырь – п. Кызылтау – п. Атасу – г. Каражал – п. Шалгинский – место расположения эпицентра – г. Жайрем. Наиболее близко от эпицентра - в 43 км, расположен поселок Шалгинский. Однако эпицентр события находится в малонаселенном районе Казахстана, что сказалось на объеме обследования. Документировались последствия землетрясения и интенсивность сотрясений определялась по шкале MS-64. Результаты макросейсмических определений сведены в таблицу 5.

Таблица 5. Макросейсмические данные о землетрясении 22.08.2001 г.

№ п/п	Баллы по шкале MSK-64	Пункт	Δ, км	№ п/п	Баллы по шкале MSK-64	Пункт	Δ, км
1	6	Шалгинский	43.244	7	4	Жайрем	122.417
2	5	Агадырь	238.126	8	3	Балхаш	367.379
3		Кызылтау	165.879	9		Жезказган	198.078
4		Каражал	107.742	10		Алматы	685.519
5	4	Акчатау	302.604	11	2	Тараз	483.640
6		Атасу	202.016	12		Астана	458.095

В поселке Шалгинский 6 - балльные толчки ощутило большинство жителей, находившихся как в помещениях, так и вне них. Основная часть поселковых построек представлена деревянными сборно-щитовыми, рубленными, шлакоблочными одноэтажными домами. В помещениях ощущалась сильная вибрация, качалась мебель, звенела посуда, качались люстры, в некоторых домах качались стены и полы, на крышах некоторых домов стучал шифер. В части построек образовались трещины, как правило, на стыке двух стен. Вибрация была сильной, сопоставимой с работой тяжелого грузовика, толкающего дом. Длительность вибраций 5-15 секунд. Люди слышали подземный гул, сопровождавший вибрацию и прекратившийся с окончанием колебаний. Гул и колебания, по словам очевидцев, пришли в поселок с юго-запада. Люди, находившиеся во дворах домов, видели волну высотой 5-6 см, распространяющуюся по земле, также с юго-запада.

В ряде населенных пунктов (Агадырь, Кызылтау, Каражал) землетрясение вызвало 5 балльные колебания. Землетрясение ощутили многие жители поселков. В помещениях ощущалась вибрация. Качались люстры, вибрировала мебель и оконные стекла, звенела посуда. Вибрация была сопоставима с движением тяжелого транспорта. Вибрация длилась от нескольких секунд до минуты. В поселках имеются постройки различных конструкций. В большей степени колебания ощущались на верхних этажах 5-этажных домов. В постройках повреждений не на-

блюдалось. Многие очевидцы перед колебаниями слышали гул, в г. Каражал они указывали, что колебания и гул пришли с южного, юго-западного направления. В п. Агадырь в магазинах с полок падали заполненные полные пластиковые бутылки.

В населенных пунктах Акчатау, Атасу, Жайрем землетрясение вызвало 4-х балльные колебания. В этих населенных пунктах преобладают одно-двухэтажные каменные постройки. В п. Жайрем колебания особенно ощущали люди, находившиеся в 5-ти этажных домах. В п. Акчатау колебания ощущали люди, находившиеся на 2-3 этажах. Вибрация длилась меньше минуты, качались люстры, позвякивала посуда. В п. Атасу вибрацию ощутили многие люди, находившиеся в помещении (качались люстры, в некоторых случаях покачивались предметы мебели, звенела посуда). Повреждения в домах и хозяйственных постройках отсутствуют.

В г. Балхаш землетрясение вызвало 3 - балльные колебания. В городе преобладают пятиэтажные дома. Землетрясение ощутили многие люди, живущие выше 2-3 этажа как слабую вибрацию, длившуюся короткое время. Люстры, посуда, мебель оставались в покое. Люди, находившиеся на улице, вибрации и колебаний не ощутили.

Хотя число обследованных пунктов было относительно небольшим, по полученным данным построена карта изосейст землетрясения, которая приведена на рисунке 9. Отмечается четкая вытянутость изосейст в северо-восточном направлении, что согласу-

ется с направлением разлома северо-восточного простирания (Рис. 8), ортогональным к разломам главного северо-западного направления в Чу-Илийском регионе, да и для всей Казахстанской складчатости. По результатам макросейсмического обследования положение макросейсмического эпицентра может быть описано следующими координатами: 47.17° северной широты и 70.30° восточной долготы.



○ изосейсты 3 – 6 - Баллы по шкале MSK – 64

Рисунок 9. Карта изосейст Шалгинского землетрясения 22.08.2001 г.

АФТЕРШОКИ ШАЛГИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Через три часа после основного толчка автоматическим детектированием в ЦСОССИ по данным сейсмической группы «Маканчи» было обнаружено ещё одно сейсмическое событие из района эпицентра Шалгинского землетрясения. Это был первый афтершок. Его основные параметры приведены в таблице 6. Наличие афтершока позволило, во-первых, надеяться на регистрацию полевыми станциями других последующих толчков, а, во-вторых, утверждать с большей уверенностью, что произошедшее сейсмическое событие является землетрясением.

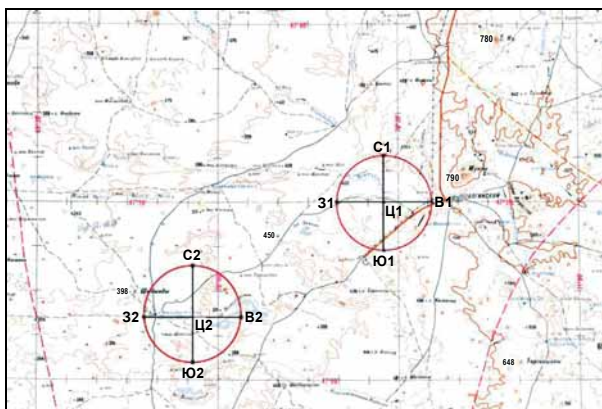
Для уточнения основных параметров главного толчка и регистрации других возможных афтершочков в район эпицентра выехала экспедиция с полевой сейсмической аппаратурой. Пять сейсмических станций «КАРС» с трехкомпонентными сейсмоприемниками были установлены по ортогональной сети с расстоянием 10 км между станциями – центральной и радиальными. Координаты мест установки полевых сейсмических станций приведены в таблице 7. Положение площадок и мест размещения сейсмических станций показано на рисунке 10. Продолжительность цикла наблюдений составила 5 суток. Всего было проведено два цикла измерений – с 30.08.01 по 03.09.01 и с 04.09.01 по 09.09.01.

Таблица 6. Основные параметры афтершоков Шалгинского землетрясения

№	Месяц, дата, год	Время в очаге	Широта, φ° с.ш.	Долгота, λ° в.д.	Глубина, км	m _{рв}	К
1	8/22/2001	18-37-01.0	47.18	70.24	15	3.0	6.8
2	8/31/2001	05-18-21.4	47.1754	70.2631	11.5		
3	8/31/2001	22-53-59.8	47.1648	70.2264	5		
4	9/01/2001	19-53-47.6	47.1782	70.4873	15		
5	9/04/2001	22-35-56.4	47.1711	70.1780	7		
6	9/07/2001	08-53-24.8	47.1273	70.1393	10		

Таблица 7. Координаты полевых сейсмических станций

№ пункта	№ станции	Название пункта	Северная широта	Восточная долгота
1	91	С1	47°25'12"	70°27'36"
2	28	Ю1	47°14'24"	70°27'36"
3	95	З1	47°19'48"	70°19'15"
4	32	В1	47°19'48"	70°35'57"
5	77	Ц1	47°19'48"	70°27'36"
6	77	С2	47°12'00"	69°55'48"
7	91	Ю2	47°01'12"	69°55'48"
8	32	З2	47°06'36"	69°47'27"
9	28	В2	47°06'36"	70°04'09"
10	95	Ц2	47°06'36"	69°55'48"



Номера сейсмических станций соответствуют таблице 7.

Рисунок 10. Положение площадок наблюдения и мест установки сейсмических станций.

Всего за это время было зарегистрировано 5 афтершоков. Их очаги находились в непосредственной близости от станций регистрации. Координаты гипоцентров афтершоков приведены в таблице 6, а расположение показано на рисунке 4 (незалитые кружки). Эпицентр афтершока № 4 расположен отдельно от группы эпицентров других афтершоков. В целом же направление облака афтершоков совпадает с направлением от инструментального эпицентра к макросейсмическому и с направлением разлома, с которым

связывается разрыв в очаге землетрясения. Диапазон глубин афтершоков составляет 5 - 15 км.

Энергетические характеристики афтершоков определить не удалось. Можно лишь сказать, что энергетический класс самого сильного из афтершоков, единственного, зарегистрированного станцией стационарной сейсмической группы «Маканчи», составил 6.8. Остальные афтершоки не были записаны станциями стационарной сети, следовательно, их энергетические классы <6.8.

Координаты афтершоков определены достаточно точно, поскольку сеть станций расположена в непосредственной близости от их очагов. Времена первых вступлений S-P волн на некоторых станциях составляет 1.65 – 2.5 с, т.е. станции практически находились над гипоцентрами афтершоков. Это позволяет предположить, что гипоцентр Шалгинского землетрясения расположен именно в области концентрации афтершоков. Полученные координаты эпицентра события близки к определенным в окончательных каталогах NEIC и ISC «Обнинск», несколько дальше находятся эпицентры по данным ЦСОССИ и REB.

Таким образом, с помощью полевых наблюдений удалось более точно определить координаты эпицентра, сопоставить с ними решения разных центров и служб, сделать вывод о реальной точности оценок.

Таблица 7. Основные параметры афтершоков Шалгинского землетрясения

#	Дата, мес., дата, год	Время в очаге	Широта, φ° с.ш.	Долгота, λ° в.д.	Глубина, км	mpva	К
1	8/22/2001	18-37-01.0	47.18	70.24	15	3.0	6.8
2	8/31/2001	05-18-21.4	47.1754	70.2631	11.5		
3	8/31/2001	22-53-59.8	47.1648	70.2264	5		
4	9/01/2001	19-53-47.6	47.1782	70.4873	15		
5	9/04/2001	22-35-56.4	47.1711	70.1780	7		
6	9/07/2001	08-53-24.8	47.1273	70.1393	10		

Выводы

1. Шалгинское землетрясение 22 августа 2001 года является исключительно интересным событием. Оно показало, что, несмотря на довольно длительный период инструментальных наблюдений в Казахстане и многочисленные исследования в области сейсмической опасности различных регионов Республики, представление об активности всей территории далеко неполное. Так, оставшийся долгое время «белым пятном» на карте сейсмической активности район Центрального Казахстана, по всей вероятности, таковым не является. Можно предположить, что и в ряде других районов полное отсутствие землетрясений – явление кажущееся, результат отсутствия полноценных инструментальных наблюдений.
2. Кроме того, это событие свидетельствует о недостатках современных методов оценки сейсмической опасности. На карте сейсмического районирования Казахстана и карте сейсмогенерирующих зон [2] в районе Шалгинского землетрясения не было показано никаких структур, свидетельствующих о возможном происхождении здесь зем-

летрясений. По-видимому, пока только детальные инструментальные наблюдения могут дать информацию о сейсмической активности исследуемого района. Без них любые заключения на основе только лишь геолого- тектонических данных не могут считаться достаточными.

3. Для целей ядерного мониторинга изучение Шалгинского землетрясения позволило оценить реальную точность оценок локализации событий в этом районе, как по данным ЦСОССИ, так и Международного центра данных (Вена). Отмечено, что эллипсы ошибок с 90 % уровнем доверия не всегда адекватно характеризуют точность локализации. Как по оценкам REB, так и по решению ЦСОССИ эпицентр находится вне этих эллипсов. Однако требуемая точность для проведения работ по инспекции на местах (покрытие эпицентра площадью в 1000 км²) все-таки было обеспечено, хотя и на пределе. Повышение точности локализации событий в данном районе может быть достигнуто усовершенствованием скоростных моделей и внедрением их в практику обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительство в сейсмических районах (СНиП РК В. 1.2-4.48). Комитет по жилищной и строительной политике Министерства энергетики, индустрии и торговли РК. Алматы, 1998, 39 с.
2. Сейсмическое районирование Республики Казахстан. Изд-во «Эверо». Алматы., 2000. 219 с.
3. Vernon F. Kyrgyzstan seismic telemetry network. IRIS Newsllett. 1992, Vol. 11, № 1, p. 7-9.
4. Чу-Илийский рудный пояс. Научные руководители и редакторы: А. А. Абдулин, В. М. Волков, Г. Н. Щерба (главный редактор), в 3-х томах, Алма-Ата, 1980, «Наука».
5. Абдулин А. А. Геология Казахстана, Алма-Ата, 1981.
6. Абдулин А. А., Шлыгин А. Е., Жуков П. К. «Важнейшие черты геологии и металлогении Урало-Монгольского складчатого пояса», Алма-Ата, 1987.
7. Абдулин А. А., Паталаха Е. И. «Геодинамика земной коры Казахстана», Алма-Ата, 1980.
8. «Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых» в 10 томах Главный редактор Е. А. Козловский, Том 6 «Казахстан и Средняя Азия» под редакцией Н. П. Лаверова, С. П. Максимова, Н. П. Михайлова, Ленинград, «Недра», 1989. 3 книги: Книга 1 «Казахстанская складчатая область» под ред. Н. П. Михайлова, ВСЕГЕИ, Ленинград, Недра, 1989; Книга 2 «Складчатые системы Средней Азии» отв. Ред. Лаверов Н. П., САИГИМС, Ташкент, 1989. Книга 3 «Геологическое строение и закономерности размещения полезных ископаемых Средней Азии и Казахстана» отв. Ред. Максимов С. П., ВНИГНИ, Москва, 1989.
9. Щерба Г. Н. И другие. «Геотектоногены и рудные пояса», Алма-Ата, Наука, КазССР, 1970.
10. Геология СССР том XX, кн. 1,2 Москва, Недра, 1972.

2001 Ж. 08. 22-ГІ ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАНДА ШАЛҒЫДАҒЫ ЖЕР СІЛКІНУІ

Н.Н. Михайлова, А.И. Неделков, И.Н. Соколова, Е.Н. Казаков, А.В. Беляшов

ҚР Ұлттық ядрлық орталығының Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ.

Орталық Қазақстанда – сейсмкалық емес болып саналатын ауданда, 2001 ж. 08.22-гі болған жер сілкінудің зерделеу нәтижелері келтірілген. Ішкіндіктің құрал-сайманды және макросейсмикалық сипаттамалары, кейінгі дүмп каталогі келтірілген. Жер сілкінудің эпицентрлі облысының геоло-гия-тектоникалық саралама сипаттауы көрсетілген. Әр бір Деректер орталықтарымен бағаланған эпицентр координаттарының нақтылы дәлдігі туралы тұжырымдар жасалған.

SHALGINSK EARTHQUAKE IN CENTRAL KAZAKHSTAN OF AUGUST 22, 2001

N. N. Mikhailova, A.I. Nedelkov, I.N. Sokolova, E. N. Kazakov, A.V. Belyashov

Institute of Geophysical Research, Kurchatov

The results of study of earthquake, which occurred in Central Kazakhstan on August 22 2001 in the region which traditionally was considered to be aseismic, are presented in the paper. Instrumental and macroseismic hypocenter parameters and a catalog of aftershocks are given. Geological and tectonic description of the earthquake epicentral region is shown. The conclusions were made about the actual accuracy of epicenter coordinates estimates by different data processing centers.

УДК [550.83:551.24]:[504.054:539.16.04]

К ОЦЕНКЕ ТРЕЩИННОЙ ТЕКТониКИ, СОПРЯЖЕННОЙ С ПОДЗЕМНОЙ ЯДЕРНОЙ ПОЛОСТЬЮ СКВ. 5РТК НА КАРАЧАГАНАКСКОМ СОЛЯНОМ КУПОЛЕ

Мелентьев М.И., Кислый Б.И., Политиков М.И., Шайторов В.Н., Гринштейн Ю.А., Попов В.Б., Жолдыбаев А.К.

Институт геофизических исследований ИЯЦ РК

С использованием архивных материалов, а также результатов площадной ртутотметрии, сейсморазведки, нейтронного гамма-каротажа боевых и контрольно-наблюдательных скважин на объекте «Ли́ра» проведена оценка морфологии трещинно-проницаемых зон, сопряженных с подземной полостью, образованной после проведения мирного ядерного взрыва в скв.5РТК. Составлена предварительная объемная модель зон трещиноватости, обусловленных взрывом, в блоке пород, вмещающем изученную подземную полость

Ядерная полость в скв. 5РТК является одной из 6 ядерных полостей на глубинах 850-950 м, сооруженных в 1983-1984 гг. в пределах Карачаганакского соляного купола, с целью их промышленного использования в качестве резервуаров газового конденсата, добываемого на Карачаганакском НГКМ.

Контрольное вскрытие полости скв.5РТК, осуществленное с помощью дублирующей скважины 5РТК-бис через полтора года после проведения ПЯВ, обнаружило факт заводнения полости рассолом, плотность которого (1.016-1.195 г/см³) оказалась значительно меньше плотности рапы (1.24 г/см³), вскрываемой в отдельных линзах в соляной толще, что свидетельствует о заполнении аварийной полости водой из надсолевых водоносных горизонтов [1]. Заполнение могло произойти либо по заколонному пространству скв.5РТК, либо по зонам трещиноватости, приуроченным к крутопадающим прослоям хрупких пород в соляной толще (ангидритам, ангидрит-карбонатным породам и др.), активизированным ПЯВ. Эти проницаемые зоны могут служить путями миграции радионуклидов от аварийной полости в вертикальном направлении в случае ее деформации в результате пластического течения соли и возможного последующего схлопывания, что вызывает необходимость их изучения.

Подземный резервуар скв. 5РТК создан в сводовой части Карачаганакского соляного купола, перекрытого терригенно-осадочными образованиями нижнего триаса мощностью до 180 м, представленными переслаиванием глин, песчаников, песков и конгломератов, и неоген-четвертичными галечно-песчано-глинистыми отложениями мощностью до 70 м. В кровле соляного купола выделяется переходная зона кепрока, представленная переслаиванием ангидритов, гипса, солей, карбонатов с включением терригенных пород, формирование которой

связывается с процессами растворения соляного купола при достижении им зоны интенсивного водообмена и появления горизонта из нерастворимых компонентов соленосной толщи. Породы верхней части разреза характеризуются типичным для осадочного чехла пологим залеганием, которое осложняется развитием разрывной тектоники, проявленной в отложениях чехла и в кепроке с переходом в соляной купол, обусловленной процессами растяжения надкупольных образований с формированием в них грабенообразных структур проседания [2]. По данным аэромагниторазведки [3] развитие структур проседания устанавливается преимущественно вдоль осевой части купола, где они отмечаются характерными положительными полосовыми аномалиями поля ΔT , ориентированными в субширотном направлении. По характеру смещения и ограничения этих аномалий в плане фиксируется также большое количество поперечных разрывных нарушений, часть которых, наиболее крупных, проникает и в соляной массив. Из числа этих крупных нарушений для района полости 5РТК (Рис. 1.) определяющим является наличие регионального разлома субмеридионального простирания, проходящего в 80-100 м западнее скважины 5РТК. Разлом четко фиксируется по характерным изгибам и сгущениям изолиний наблюдаемого поля ΔT , а на карте графиков остаточных аномалий – резкими изгибами и ступенеобразными смещениями положительных аномалий поля ΔT по обрамлению купола, а также по ступенеобразным смещениям положительных полосовых аномалий поля ΔT внутри контуров купола (Рис. 1а,б). Учитывая принадлежность фрагмента этой региональной разрывной структуры к участку Ли́ра, разлому присвоено название Ли́ра-Меридиан.

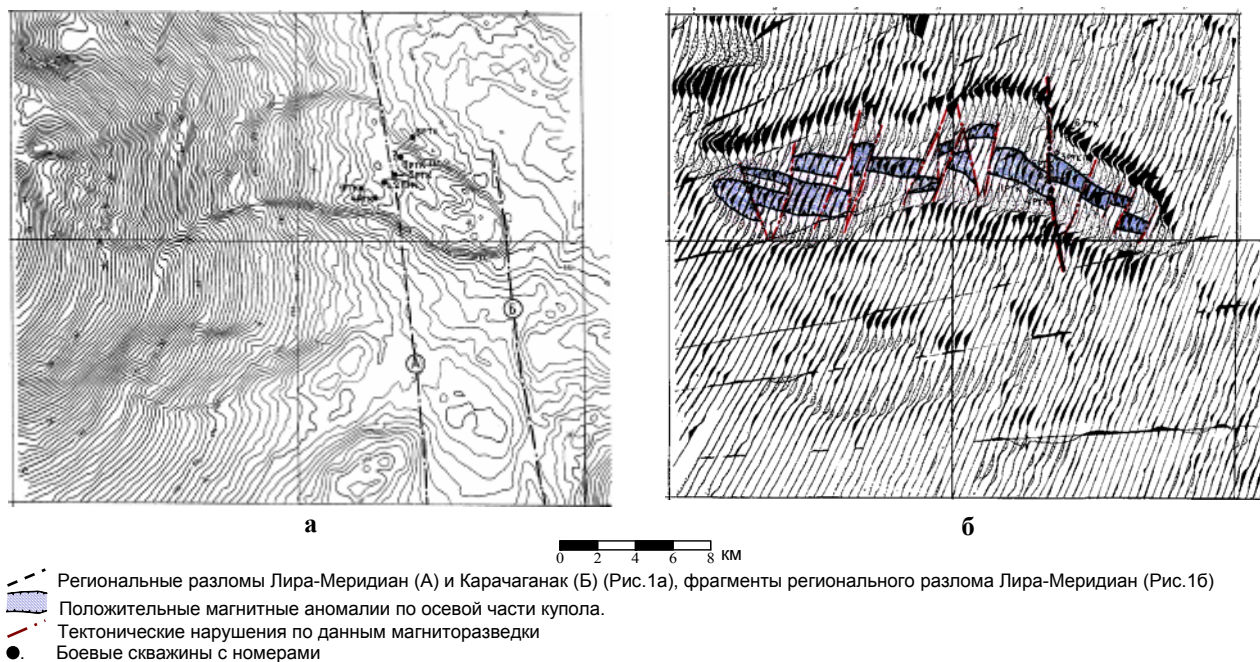


Рисунок 1. Изолинии (а) и карта графиков (б) магнитного поля (ΔT) с элементами интерпретации

Собственно, соленосная толща, вмещающая полость скважины 5РТК, по имеющимся описаниям керна (скв.5РТК-бис – инт. 750-950 м [4], скв.12КН – инт. 310-650 м [5]) и данным ГИС характеризуется наличием прослоев и горизонтов ангидритового, карбонатно-ангидритового и глинисто-ангидритового состава, пористость которых варьирует от 1-1.5 до 5% (по данным НГК). Углы залегания прослоев варьируют от 5° до субвертикального. По скв.12КН на всем интервале отбора керна углы залегания составляют $45^\circ - 80^\circ$. Прослои нерастворимых пород, как правило, будинированы и представлены в виде отдельных фрагментов. Содержание нерастворимых пород в соли на отдельных интервалах достигает 10%, мощность включений обычно не превышает 1 см. Наряду с этим, в соляном массиве встречаются прослои пород ангидритового и ангидрит-карбонатного состава, мощность которых по стволу скважин измеряется метрами и первыми десятками метров. Прослои такой мощности по данным ГИС отмечаются по всему стволу скв.5РТК, в том числе в районе полости ($h=821-850$ м), где их наличие подтверждается в интервале, пройденном с отбором керна в скв.5РТК-бис (767.5-791.5 м – ангидрит доломитизированный, 795-798 м – ангидрит). Естественно, что наличие этих прослоев, отличающихся повышенной хрупкостью, особенно в случаях крутого залегания, может способствовать формированию обширной зоны деструкции, ориентированной по восстанию, и созданию условий для связи полости с водоносными горизонтами верхних частей геологического разреза. Существование такой зоны над полостью (протяженностью по вертикали до 120-150 м) подтвержда-

ется условиями проходки скв.5РТК-бис, где сопро с глубины 711 м отмечено поглощение промывочной жидкости до 80%, с глубины 805 м – провал инструмента на 1.0-1.5 м [4], а также по плотностному гамма-гамма-каротажу резкое понижение плотности пород до $1.6-2.0 \text{ г/см}^3$ против $2.3-2.6 \text{ г/см}^3$ в других интервалах скважин [6].

Аварийное состояние полости скв.5РТК и наличие признаков существования обширной зоны деструкции, обрамляющей полость, обуславливают необходимость изучения трещинной тектоники, сопряженной с полостью как в соляном массиве, так и в перекрывающей его толще пород. Это может быть достигнуто применением геофизических и геохимических методов в наземном и скважинном вариантах: ртутометрии, нейтронного гамма-каротажа, сейсморазведки МРВ, ВСП, МДРВ (метод дефрагированно-рассеянных волн).

Возможности *ртутометрии* при картировании трещинной тектоники, сопряженной с подземными ядерными полостями, авторы связывают с повышенной миграционной способностью ртути, которая в условиях резко возрастающих температур при ПЯВ десорбируется из горных пород и выносится из трещинно-проницаемых зон в составе высокотемпературных газорадиоактивных флюидов. В результате этого такие зоны на поверхности картируются ореолами относительно пониженных концентраций ртути линейной или линейно-прерывистой формы, группирующихся вблизи полостей ПЯВ [7]. Выявляемые с поверхности аномалии пониженных содержаний ртути имеют продолжение на глубину, что подтверждается специальными исследованиями, проведенными по шурфам, пройденным в районе боевых скв.2РТК и 5РТК и подвергнутых опробова-

нию с 10-см интервалом отбора проб по стенкам выработок на глубину 130-160 см. При этом установлено, что аномалии пониженных концентраций ртути характеризуются увеличением контрастности с глубиной.

Площадные ртутOMETрические исследования на участке Ли́ра проведены по сети 50×50 м на площади 2.3 км², включающей 3 боевые скважины (2, 5 и 3РТК). Мощность взорванных зарядов 15 кг каждый, глубина взрывов 917, 844 и 841 м, соответственно.

В [7] приведена карта распределения ртути по горизонту 0-20 см, построенная относительно уровня геохимического фона, на которой пониженным содержанием ртути четко обособляются контуры воздействия каждого из взрывов на геологическую среду. Выделены зоны пониженных содержаний ртути, характеризующие проницаемость геологической среды на площади до 1 км² вблизи каждой из скважин.

Сформировавшаяся зона выноса ртути в районе скв. 5РТК имеет в целом подковообразную форму, распадаясь на два фрагмента – южный и северный, примыкающие к зоне разлома Ли́ра-Меридиан своими краевыми окончаниями на расстояниях соответственно 600 и 300 м к югу и к северу от скважины 5 РТК. Южный фрагмент характеризуется протяженностью более 1км, прослеживаясь сначала узкой зоной северо-западного простирания через район скв. 12 КН, затем, резко расширяясь, образует дугообразную структуру с разворотом на север и северо-восток. От района боевой скважины в сторону дугообразной структуры прослеживаются два веерообразно расходящихся узких канала прорыва линейной формы, отражающих наличие связи полости с описанным внешним контуром зоны выноса ртути.

Северный фрагмент зоны прорыва характеризуется в целом неправильной изометричной формой и непосредственно примыкает к зоне разлома Ли́ра-Меридиан. По характеру этого сочленения было сделано заключение, что зоны выноса ртути связаны с полостью на глубине по лежачему боку разлома с прорывом флюидов в вертикальном направлении на удалении 100-300м от полости. Максимальное удаление внешней части зоны прорыва от полости не превышает 450м. Из этого сделано заключение, что описываемый северный фрагмент зоны прорыва характеризуется более крутым залеганием, чем южный.

Восточный блок в пределах изученной площади характеризуется одним-единственным узким каналом прорыва, прослеживающимся на расстоянии 250 м к северо-востоку от боевой скважины и практически

примыкающим к зоне разлома Ли́ра-Меридиан на уровне сочленения с этим разломом северного фрагмента зоны прорыва противоположного блока, продолжением которого на глубине он, по-видимому, является. Особенностью этого блока является в целом повышенный фон содержаний ртути, существенно превышающий общий геохимический фон, характерный для соседних участков. Изучение распределения содержаний ртути на глубину, выполненное по линии шурфов, пройденных вблизи скв.5РТК, показало наличие под почвенным слоем, концентрирующим в себе повышенные содержания ртути, аномальных пониженных ее содержаний. Формирование таких зон может быть объяснено влиянием разлома Ли́ра-Меридиан, сыгравшего роль преломляющей границы для ударной волны, приведшей к формированию пологой зоны отрыва в приповерхностной части разреза, воспрепятствовавшей выносу ртути в атмосферу и способствовавшей ее накоплению в приповерхностном слое.

Возможности сейсморазведки МРВ при картировании трещинно-разрывных структур в верхней части разреза на участке Ли́ра обусловлены различием упругих характеристик этих зон и вмещающей среды, которые наиболее контрастно проявляются в параметре отношения скорости продольных и поперечных волн (V_p/V_s). Контрастность параметра существенно увеличивается в случае обводнения трещинно-проницаемых зон, что является характерным для той части геологического разреза (интервал глубин 15-80 м), которая оказалась реально доступной для изучения сейсморазведкой МРВ.

Работы на участке Ли́ра (Рис. 2) проведены по 4 профилям общей протяженностью 12 км, три из которых проложены в районе блока пород, вмещающего полость 5РТК. По всем профилям получены идентичные результаты, которые сводятся к выявлению на глубинах от 15-20 м до 50-70 м обводненного горизонта, идентифицируемого с горизонтом грунтовых вод, от нижней границы которого в подстилающих породах прослеживаются многочисленные локальные углубления зоны водонасыщения, фиксируемые по понижению отношений V_p/V_s , природа которых связывается с трещинно-проницаемыми зонами разуплотнения в терригенно-осадочной толще пород [8]. В плане такие зоны увязываются между собой, в определенной мере согласуясь с системами трещинно-проницаемых зон, выделяемых по ртутOMETрическим данным (Рис. 2).

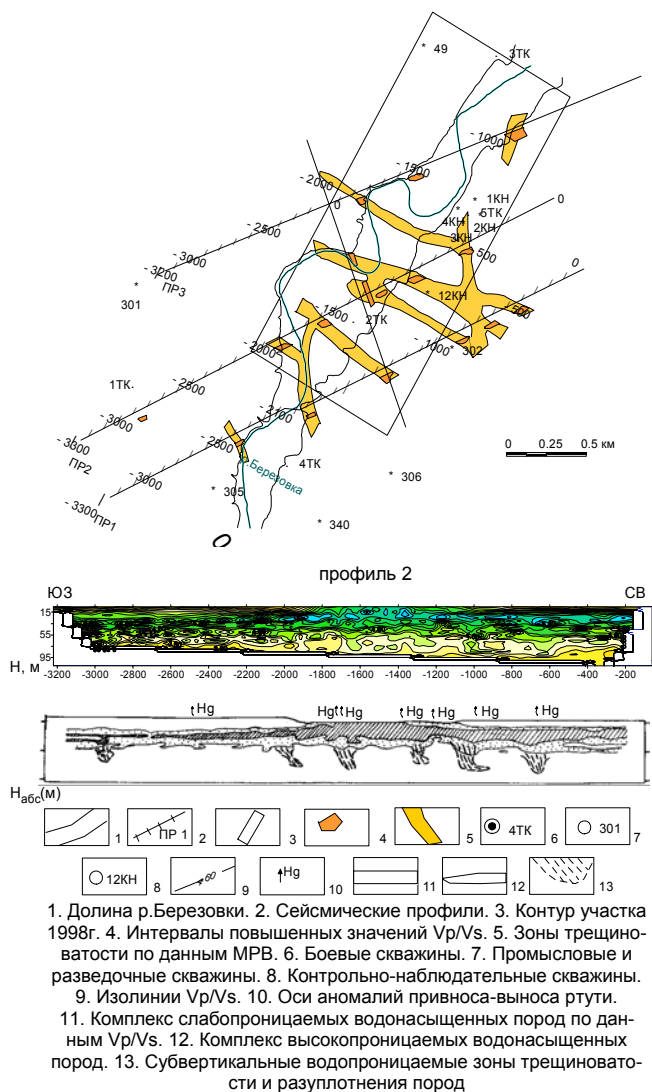


Рисунок 2. Картирование зон трещиноватости и разуплотнения пород в образованиях чехла сейсмозаведкой МРВ

Зоны деструкции, возникшие в результате ядерных взрывов, четко отмечаются на диаграммах нейтронного гамма-каротажа (НГК) в виде положительных аномалий (Рис. 3).

Основными источниками гамма-квантов при проведении НГК, основанного на использовании реакции (n, γ), являются железо обсадных труб, каменная соль (NaCl) и водород, входящий в состав воды, в порах и трещинах горных пород. В соответствии с химическим составом изучаемых пород соляная толща на диаграммах НГК выделяется относительно повышенным уровнем гамма-фона практически по всем скважинам, вне зависимости от наличия или отсутствия обсадки. На уровне, где начинает сказываться влияние ядерного взрыва, отмечается дополнительное резкое возрастание регистрируемого параметра, которое, скорее всего, связано с возникшей в результате взрыва субгоризонтальной (латеральной) зоной деструкции,

в определенной мере насыщенной водой. Интенсивность аномалий колеблется от скважины к скважине в пределах от 2 до 7 условных единиц, что свидетельствует о разной степени дробления и, соответственно разной степени водонасыщенности этой зоны. Учитывая, что большинство полостей вдоль этой зоны остаются неводозаполненными, можно предположить, что выявляемая глубинная латеральная зона деструкции (ГЛЗД), в целом, характеризуется низкими фильтрационными свойствами и что в ее пределах флюидопроводящими могут быть лишь отдельные каналы, которые могут быть расположены гипсометрически как выше, так и ниже созданных ядерных полостей.

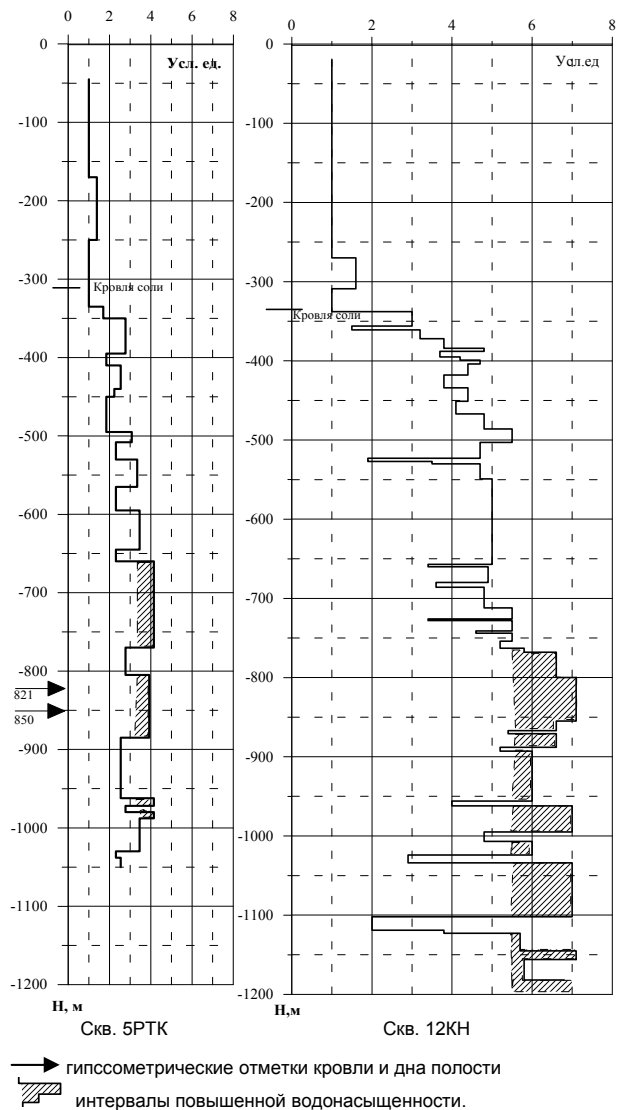
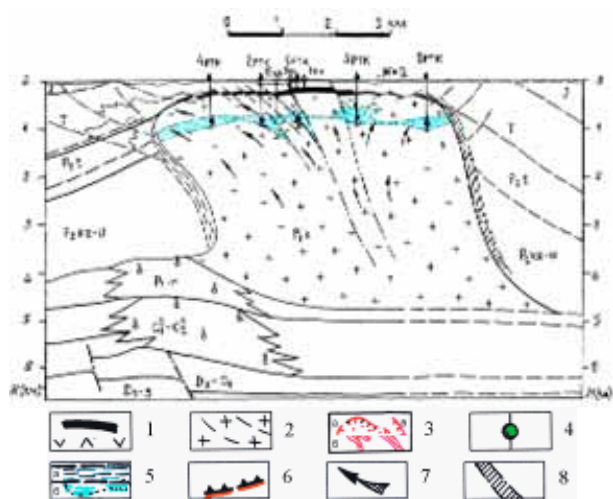


Рисунок 3. Выделение глубинной водонасыщенной зоны в толще каменной соли по данным НГК (скв. 5РТК и 12КН)

Аналогичная зона повышенной интенсивности гамма-поля радиационного захвата наблюдается в промышленной скважине № 301, расположенной в 0,55 км от боевой скважины 1РТК, что подтверждает наличие на глубинах 850-950 м (область распо-

ложения ядерных зарядов) латеральной зоны дробления, возникшей в результате ядерных взрывов, которая может являться одним из возможных каналов миграции подземных вод (Рис. 4). Контуры ее распространения, по-видимому, захватывают всю площадь участка Ли́ра и некоторую часть прилегающей территории.



1 – кепок, 2 – соли, 3 – зоны (а,б) и контуры (в) прорыва газожидов 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 «Ли́ра-Меридиан»

Рисунок 4. Возможная модель глубинной латеральной зоны деструкции в массиве каменной соли Карачаганакского соляного купола, сформировавшейся под влиянием ПЯВ, по данным НГК

Для оценки тектонической обстановки в разрезе, прилегающем к ядерной полости 5РТК, использованы данные вертикального сейсмического профилирования (ВСП), выполненного в наблюдательной скважине 12КН, расположенной в 560 м к юго-западу от скв. 5РТК.

Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) проведено в интервале глубин 20-1190 м из трех пунктов возбуждения (ПВ), одного - на расстоянии порядка 20 м от скв.12КН, и двух - на расстоянии 300 м от нее. Первый из ПВ был отнесен в сторону полости 5РТК (продольный профиль), другие - в северо-западном направлении - непродольный профиль (Рис. 1). Такое расположение пунктов возбуждения принято для улучшения условий прослеживания возможных отражающих границ, имеющих отношение к полости 5РТК. Упругие колебания возбуждались установкой типа "падающий груз" с освобождаемой энергией порядка 15-20 Кдж. Прием упругих колебаний осуществлен трехкомпонентной симметричной скважинной установкой, с шагом по продольному профилю - 5 м, по непродольным профилям - 10 м. Обработка данных проведена с использованием пакета программ VISTA, а также специализированного ПМО для ВСП. Основные результаты

обработки и интерпретации данных ВСП по скважине 12КН представлены в виде скоростных колонок продольных и поперечных волн (Рис. 5), а также сейсмических разрезов околоскважинного пространства, построенных по отраженным волнам.

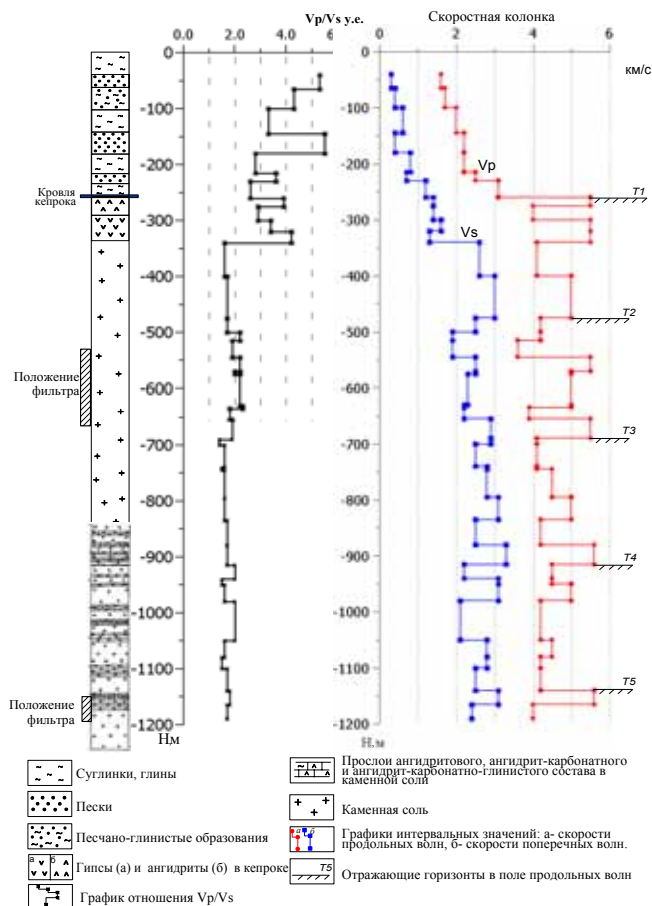


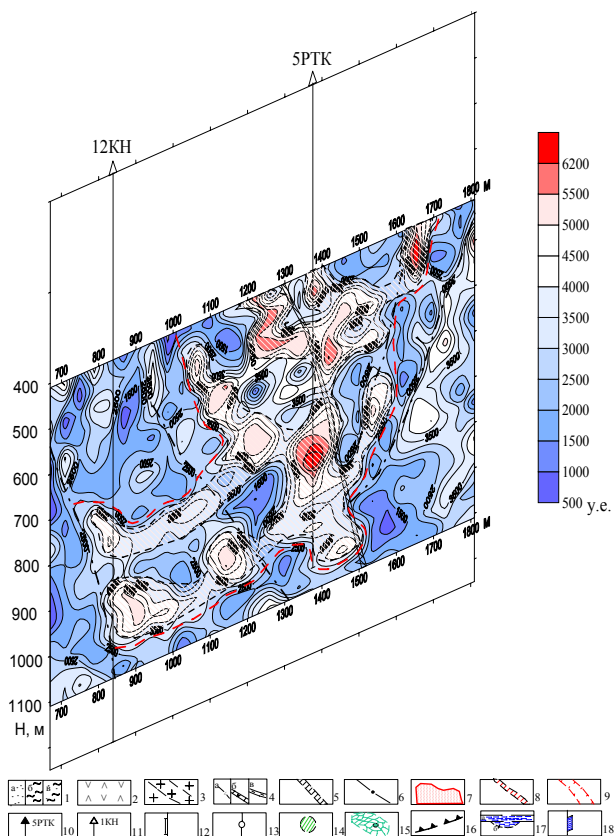
Рисунок 5. Результаты исследования скважины 12КН методом ВСП

По результатам интерпретации данных ВСП (Рис. 5) наиболее контрастной границей в волновом поле является верхняя граница кепока, по которой наблюдается скачкообразное увеличение скорости продольных волн относительно перекрывающего терригенного комплекса - с 2.5 км/с до 4-5.5 км/с. Отложения кепока характеризуются и наибольшей водопроницаемостью в хемогенном комплексе пород ($V_p/V_s = 3.5-5.5$ на фоне 1.6-2.0), что подтверждается наличием проницаемых интервалов мощностью до 40-50 метров, расположенных вблизи его подошвы и кровли.

Собственно, соляная толща - в целом слабопроницаемая, за исключением интервалов 570-640 и 925-1050 метров, где выявлены устойчивые повышения V_p/V_s до 2.2 относительно уровня 1.6. Верхний из этих интервалов соответствует водоносной линзе, выявленной при бурении скв. 12КН, относительно которой был оборудован интервал перфорации для проведения опробования подземных вод по

контролю за миграцией радионуклидов из полости 5РТК. По данным термокаротажа [9], предполагается, что в заколонном пространстве скв. 12КН на этом интервале в каменной соли сформировалась полость размыва, кровля и подошва которой в поле скоростей фиксируются четкими отражающими границами. Нижний интервал соответствует части геологического разреза, обогащенной прослоями ангидрит-карбонатно-глинистого состава, наличие которых устанавливается по радиометрическим данным. Кровля и подошва этого интервала также характеризуются наличием отражающих площадок, которые ориентированы в пространстве в направлении полости 5РТК. Четкая отражающая граница большой протяженности установлена также на глубине 1300 м, т.е. ниже забоя скважины, которая также в целом ориентирована в направлении зоны деструкции полости скв.5РТК, характеризуясь при этом несколько более крутым залеганием, чем вышележащие отражающие границы.

Применение метода *дифрагированных рассеянных волн (МДРВ)* основано на использовании рассеивающих (дифрагирующих) свойств изучаемых ослабленных структур. Результаты исследований, приведенные в [10, 11] свидетельствуют о том, что зоны трещиноватости характеризуются повышенной энергией рассеянных упругих волн и могут диагностироваться и изучаться по этому признаку. Метод может применяться с использованием систем наблюдений как в скважинном, так и в наземном вариантах. В районе полости 5РТК наблюдения выполнены методом обращенного годографа (МОГ) с приемом упругих колебаний в наблюдательных скважинах. Исследования проведены по 4 разноориентированным профилям, пересекающимся в районе скв. 5РТК, на которых полость и обрамляющая ее зона дробления отметились полями максимальных значений энергии рассеянных волн (ЭРВ), рисунок 6. Распределение изолиний ЭРВ в этой части разреза отражает особенности морфологии основной зоны дробления, проявленной вблизи полости, а также системы линейно- вытянутых ослабленных зон, связанных с горизонтами хрупких пород в соляной толще, сопрягающихся с полостью и согласующихся с зонами выноса ртути на поверхности. Тесное сочетание таких зон образует над полостью чащеобразную структуру, обращенную раструбом кверху (Рис. 6). Воздействие произведенного взрыва распространяется также и в направлении скважины 12КН по латеральной зоне деструкции, выявляемой по данным НГК в скв. 12КН.



1. Пески (а), глины (б), песчано-глинистые отложения (в) терригенно-осадочного комплекса (Q+N+T).
2. Кепок.
3. Соль со спорадическими прослоями и пропластками сульфатно-карбонатных и глинистых пород (P₁k).
4. Прослои ангидритов (а), ангидрит-карбонатных пород (б) и алевролитов (в).
5. Разлом Лира-Меридиан.
6. Второстепенные разрывные нарушения.
7. Зоны прорыва, проявленные на дневной поверхности.
8. Осевые части зон прорыва ртути на дневной поверхности.
9. Предполагаемые контуры зон прорыва ртути, прослеживаемые на глубину.
10. Боевая скважина 5РТК.
11. Контрольно-наблюдательные скважины и их номера.
12. Интервалы скважин, пройденные с отбором керна.
13. Ядерная полость.
14. Зона интенсивной трещиноватости, развитая вблизи полости 5РТК по данным МДРВ.
15. Предполагаемые зоны трещиноватости, обусловленные ПЯВ в районе полости 5РТК по данным МДРВ.
16. Отражающие площадки по данным ВСП.
17. Водонасыщенный горизонт (а) и участки увлажнения (частичного обводнения) подстилающего горизонта (б), предположительно связанные с тектоническими нарушениями по данным сейсморазведки.
18. Интервалы обводненных частей разреза по данным ГИС

Рисунок 6. Вертикальный разрез поля энергии рассеянных (дифрагированных) волн по профилю 1 (скв.12КН – 5РТК) с элементами интерпретации

Проведенный анализ волнового поля, основанный на фокусирующем преобразовании полей рассеянных (дифрагированных) волн от искомым неоднородностей, сочетает в себе высокую точность расчета пространственного положения (не хуже $\pm 7-10\%$) и не критичность к форме искомым неоднородностей.

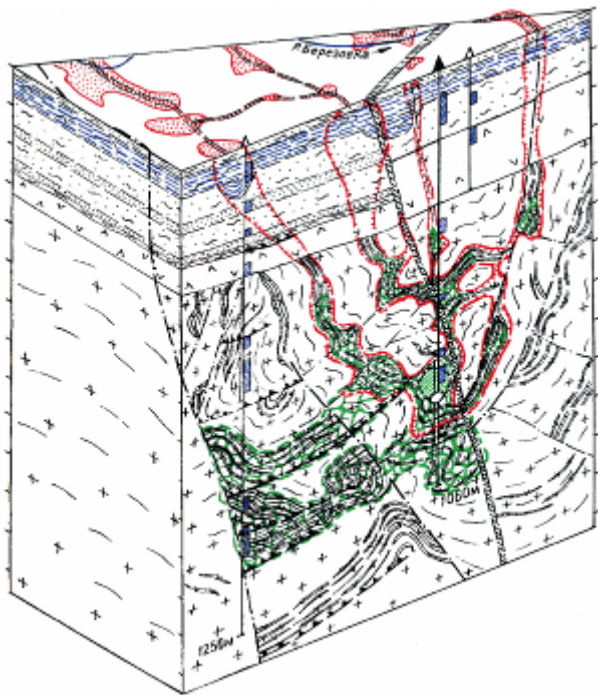


Рисунок 7. Возможная модель зон трещиноватости, обусловленных ПЯВ, в блоке пород, вмещающем полость 5РТК. (условные обозначения на рисунке б)

Выводы

Данные, полученные комплексом геофизических методов, позволяют построить объемную геолого-геофизическую модель района полости 5РТК, отражающую особенности пространственного положения выявленных трещинно-проницаемых обводненных зон, которая представлена на рисунке 7. Модель будет уточняться по мере поступления дополнительной информации в процессе проведения на участке Лира дальнейших геолого-геофизических исследований.

По выполненным построениям возможными направлениями миграции радионуклидов от полости 5РТК в случае ее коллапсирования будут:

- крутопадающие зоны трещиноватости, связанные с горизонтами пород карбонатного и ангидрит-карбонатного состава, ориентированные по восстанию соленосной толщи в направлении выявленных на поверхности ореолов выноса ртути;
- обводненная субгоризонтальная зона дробления в соляном куполе, выявляемая по данным ВСП скв.12КН и НГК;
- проницаемые участки разлома Лира-Меридиан, активизированные ПЯВ;
- заколонное пространство технологических скважин 5РТК и 5РТК-бис.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол технического совещания по обследованию подземного резервуара скв.5РТК (ВПО «Оренбурггазпром», ВНПО «Союзпромгаз», Предприятие п/я №5703): Дополнительные мероприятия по определению и ликвидации притока воды в подземный резервуар скв.5РТК. Москва, Аксай, 1985. Фонды ИГИ.
2. Кюррей Дж.Б. Образование грабенов на соляных куполах в условиях современного проявления процессов осадконакопления и деформации. В кн. Вопросы экспериментальной тектоники. М., 1957.
3. Баронаев В.А., Серков В.И. и др. Отчет о результатах опытно-методических работ по переинтерпретации и обобщению геофизических материалов с применением ЭВМ по северному и северо-восточному бортам Прикаспийской впадины в 1982-86гг. 1986г. Фонды ИГИ.
4. История проводки и техническое состояние скважин 5РТК и 5РТК-бис КНГКМ. Пасп-е данные. Аксай, 1986. Фонды ИГИ.
5. Протокол технического совещания по дальнейшим работам на наблюдательных скважинах в районе скв.5РТК (КазГПУ, КУБР, ВНПО «Союзпромгаз», ВНИИпромтехнологии, НПО Радиевый институт). Аксай, 1991. Фонды ИГИ.
6. Протокол результатов ПГИ на объекте 5РТК-бис, полученных при обследовании наблюдательных скважин во II - ом квартале 1992 г. (ВНИИпромтехнологии). Москва, 1993. Фонды ИГИ.
7. Политиков М.И. и др. О дестабилизирующем влиянии теплового потока на геологическую среду при подземных ядерных взрывах // Вестник НЯЦ РК. Геофизика и проблемы нераспространения, вып.2, 2001 с.130-134..
8. Шайторов В.Н. (отв. исполнитель). Выявление на территории объектов "Лира" сейсморазведкой современных зон трещиноватости и разуплотнения в осадочном чехле, как возможных путей миграции в атмосферу газообразных углеводородов, сероводорода, меркаптанов. Отчет по заданию 3.3.6 ИЯФ), Алматы, 1999. Фонды ИГИ.
9. Попов В.Б. (отв. исполнитель). Оценка методами ГИС технического состояния стволов контрольно-наблюдательных скважин и их гидрогеологических характеристик. Отчет по контракту (Лира-Н-01- 00/1 с ИЯФ), Алматы, 2000.
10. Файзуллин А.А., Шапиро С.А. Особенности затухания сейсмических волн в горных породах как в дискретных рассеивающих средах // Изв. АН СССР. Физика Земли, №9, 1986. С.56-63.
11. Файзуллин А.А., Чиркин И.А. Сейсмоакустические методы изучения трещиноватости горных пород // ВНИИ Геосистем. Журн. "Геоинформатика". 1998, №3. С.24-27.

**ҚАРАШАҒАНАҚ ТҰЗДЫ КҮМБЕЗІНІҢ 5РТК ҰҢҒЫМАСЫНЫҢ ЖЕРАСТЫНДАҒЫ
ЯДРОЛЫҚ ҚУЫСЫМЕН ІЛЕСЕТІН ЖАРЫҚШАҚТЫ ТЕКТОНИКАНЫҢ БАҒАЛАУЫНА**

М.И. Мелентьев, Б.И. Кислый, М.И. Политиков, В.Н. Шайторов, Ю.А. Гринштейн, В.Б. Попов, А.К. Жолдыбаев

Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық орталығының Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ.

«Лира» нысанында өжеттік және бақылау-байқау ұңғымаларының алаңды снапметрияның, сейсмосбарлауының, нейтрондық гамма-каротажының нәтижелерінің мұрағатты материалдарын қолданып, 5РТК ұңғымасында ядролық жарылыстан кейін пайда болған жер астындағы қуысымен ілесетін жарықшақты-өтімді зоналарының морфологиясының бағалауы өткізілген. Жарықшақты зоналардың алдыналылық көлемді моделі құрастырылған.

**TO EVALUATION OF FRACTURED TECTONICS ASSOCIATED WITH
UNDERGROUND NUCLEAR CAVITY OF 5РТК BOREHOLE AT KARACHAGANAK SALT DOME**

M.I. Melentev, B.I. Kisly, M.I. Politikov, V.N. Shaitorov, Yu.A. Grinstein, V.B. Popov, A.K. Zholdybaev

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

Using of archive material, results of mercury measurements, seismic survey, neutron gamma-logging of the used and control-observation boreholes at Lira object, the morphology evaluation of fractured-permeable zones connected with the underground cavity formed after a peaceful nuclear test conducted in the 5РТК borehole was carried out. Preliminary solid model of fractured zones resulted from explosion in the rock block enclosing the studied underground cavity was made.

УДК [504.054:556.3]:550.822

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД УЧАСТКА БАЛАПАН ПО ДАННЫМ ТЕКУЩЕГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Коновалов В.Е., Пестов Е.Ю., Распопов Н.Я.

Институт геофизических исследований ИЯЦ РК

В 1997 г. на участке Балапан Семипалатинского испытательного полигона обследованы скважины большого диаметра глубиной до 600 м, ранее неиспользованные для ядерных испытаний, с целью выработки экологически безопасных методов их ликвидации. Значительное внимание уделено изучению состояния подземных вод как одному из основных факторов переноса радиоактивного загрязнения. Установлено засоление нижней части водного столба скважин. В отдельных случаях минерализация воды в этой части скважин достигает состояния рассолов, что свидетельствует об отсутствии циркуляции подземных вод на глубоких горизонтах.

Изучение современного состояния подземных вод на участке Балапан непосредственно по скважинам, в которых производились ядерные взрывы, затруднено недоступностью этих скважин. Поэтому большое значение имеют результаты гидрогеологических исследований, выполненных в аналогичных, но ранее неиспользованных для этих целей скважинах. Указанные исследования были проведены в рамках крупной программы ликвидации инфраструктуры ядерных испытаний Семипалатинского испытательного полигона [1]. На участке Балапан ликвидации подлежало 13 скважин, расположенных практически в пределах всей его территории (Рис. 1), для большей представительности получаемых данных.

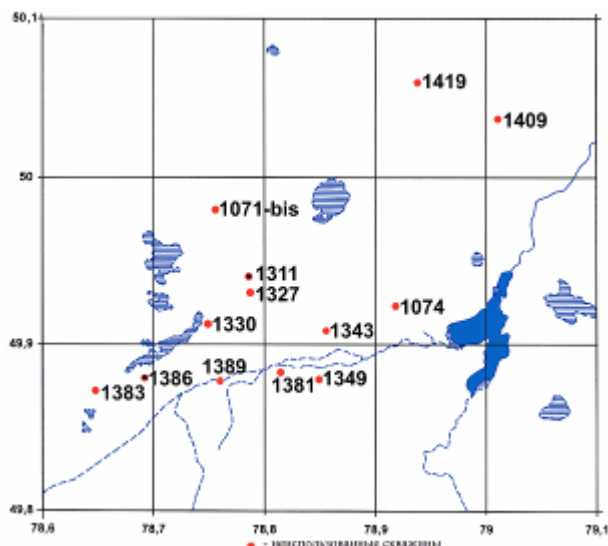


Рисунок 1. Размещение скважин, подлежащих ликвидации на участке Балапан

Региональная система подземных вод в пределах участка Балапан связана с зоной экзогенной трещиноватости палеозойских и мезозойских пород. Спорадически на площади отмечаются глинисто-щебенистые коры выветривания и маломощный горизонт песков (1-2 м, реже до 7-8 м). Совместно с зоной экзогенной трещиноватости они составляют

единый водоносный горизонт. В случае присутствия горизонта песков водообильность резко возрастает.

Особенностью геологического строения участка является широкое развитие водоупорных глин неогена, которые перекрывают неровную поверхность палеозойского фундамента и имеют переменную мощность. Поэтому глубина залегания кровли водоносного горизонта варьирует в широких пределах от первых метров до 70-80 м. Погружение водоносного горизонта на такие глубины и перекрытие его водоупорными глинами привело к появлению напорных вод, которые представлены системой небольших по размерам артезианских бассейнов. В областях воздымания фундамента сокращается мощность глин, уменьшается величина напора подземных вод, а при отсутствии глин воды становятся безнапорными.

Мощность водоносного горизонта варьирует в широких пределах и зависит от интенсивности проявления экзогенной трещиноватости, наличия прослоев и линз песков. Обычно мощность горизонта не превышает 100 м, а вдоль проницаемых зон разломов подземные воды проникают на глубину 200 и более метров.

Во всех скважинах, за исключением двух недоступных для исследований (скв. 1074 и 1343), был проведен электрический каротаж методом резистивиметрии (Рис. 2). Электрическое сопротивление воды, заполняющей сволы скважин оказалось в диапазоне 0,08-1,5 Ом. Во многих случаях отмечается значительное, часто ступенчатое уменьшение электрического сопротивления водного столба с глубиной - от 1,0 -1,6 Ом до 0,13-0,30 Ом. Наиболее четко это проявлено в скважинах, пройденных в интрузивных образованиях (граниты, сиениты, плагиограниты и диориты), обладающих высокими прочностными свойствами и не пересеченными крупными разломами. Для характеристики химического состава подземных вод в условиях интенсивной изменчивости минерализации в 5 скважинах участка были отобраны водные пробы на различных глубинах (таблица). Наиболее интенсивное увеличение минерализации установлено в скважинах 1330 и 1383 (Рис. 2). В скважине 1330 до глубины 222 м вода характеризует-

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД УЧАСТКА БАЛАПАН
ПО ДАННЫМ ТЕКУЩЕГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН**

ся сопротивлением 1,5-1,6 Ом. Отобранная на глубине 52 м проба воды показала относительно невысокую общую минерализацию – 5,7 г/л.

В интервале 222-270 м, т.е. в столбе жидкости высотой 45 м, происходит постепенное уменьшение электрического сопротивления до 0,2 Ом. Проба

воды, отобранная на глубине 280 м, показала крайне высокую минерализацию – 128 г/л. Химический состав воды при этом изменился незначительно. Как показал анализ, произошло относительное увеличение аниона хлора и катионов натрия и калия.

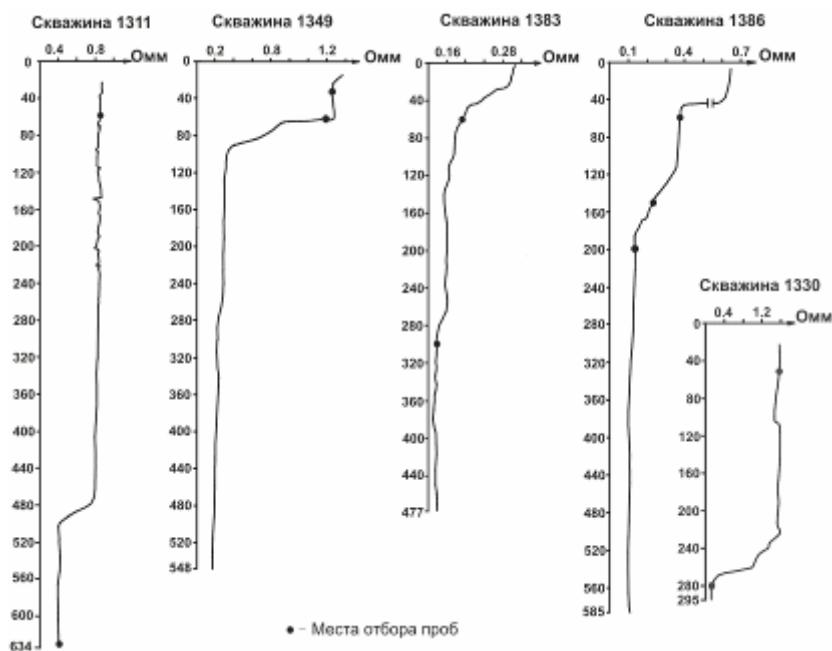


Рисунок 2. Характер изменения электрического сопротивления воды в скважинах по данным резистивиметрии

Таблица Химический состав подземных вод в ликвидированных скважинах участка Балапан

№ скв	Гл. отбора пробы, м	Общая минерализация мг/л		Содержание анионов, Мг/л % мг-экв			Содержание катионов, Мг/л % мг-экв			РН
		Вычисленная	Экспериментальная	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Na ⁺ +K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	
1311	60	8133	8280	2553 55.8	2690 43.4	60 0.8	2594 87.4	172 6.7	92 5.9	7.6
	630	21573	22000	8226 66	5764 33.6	85 0.4	6012 74	1042 15	486 11	7.6
1330	52	5571	5720	1702 53.2	1921 44.4	134 2.4	1403 67.6	313 17.3	165 15.1	6.6
	280	126476	128180	48931 66.3	33622 33.6	73 0.1	34068 71.2	6413 15.4	3405 13.4	5.8
1349	30	7407	7460	2198 52.1	2594 45.4	183 2.5	1983 72.5	361 15.1	180 12.4	7.4
	65	11601	11720	3900 58.5	3602 39.9	183 1.6	3082 71.3	681 18.1	243 10.6	7.2
1383	60	62270	65250	33684 87.1	6724 12.8 28.8	73 0.1	13138 52.3	6012 27.5	2675 20.2	7.0
	300	116208	119000	48222 71.1	26417 28.8	73 0.1	35678 81.2	4008 10.4	1946 8.4	6.8
1386	60	8316	8540	2588 54.6 14183	2834 44.1	110 1.3	2235 72.6	401 15.0	202 12.4	6.8
	150	32364	33098	73.7 19856	6724 25.8	159 0.5	8570 68.7	1994 17.3	924 14.0	6.6
	200	43757	44414	76.4 19856	8165 23.2	159 0.4	12480 74.1	2204 15.0	973 10.9	6.6

Примечание: анализы выполнены в лаборатории Института геофизических исследований НЯЦ РК (химик-аналитик Л.К. Каратаева)

Более сложно характеризуется вода в скважине 1383. Стабильное значение электрического сопротивления (0,29-0,30 Ом) прослеживается только до глубины 20 м. В интервале 20 - 45 м электрическое сопротивление понижается до 0,16 Ом. В пробе

воды, отобранной на глубине 60 м, общая минерализация составила 65,2 г/л. Высота столба наиболее засоленной воды здесь гораздо больше, чем в скважине 1330, и составляет 337 м (интервал 140-477 м). Строение его неоднородное. Верхняя часть этого

интервала от 140 м до 270 м имеет электрическое сопротивление порядка 0,15-0,16 Ом, а нижняя – от 270 до 477 м электрическое сопротивление 0,13 Ом. Выполнено контрольное опробование воды на глубине 300 м, которое показало крайне высокую ее минерализацию – до 119 г/л. Таким образом, в скважине 1383 отмечено максимальное засоление воды, которое прослеживается практически по всей скважине. При этом плотность раствора достигла 1,062 г/см³. Химический состав воды по мере повышения общей минерализации изменяется в направлении уменьшения относительного содержания аниона хлора и увеличения содержания катионов калия и натрия.

Постепенное увеличение минерализации воды с глубиной можно проследить и по скважине 1386. В верхней части скважины удельное электрическое сопротивление воды составляет 1,0-1,2 Ом. На глубине 46 м отмечается скачок электрического сопротивления до 0,37-0,38 Ом. Вода с таким сопротивлением прослеживается до глубины 115 м. Общая минерализация ее на этом интервале составляет 8,54 г/л. В интервале 115-180 м прослеживается постепенное уменьшение электрического сопротивления от 0,38 до 0,15 Ом, чему соответствует увеличение концентрации солей. Контрольное опробование на глубине 150 м показало, что общая минерализация воды составляет здесь 33,1 г/л. Начиная с глубины 180 м и до забоя скважины (585 м) электрическое сопротивление воды относительно стабильно – порядка 0,25 Ом. Концентрация солей определена на глубине 200 м и составляет 44,4 г/л. Изменение химического состава характеризуется

наиболее интенсивным накоплением аниона хлора при стабильном количестве гидрокарбонатного аниона (110-159 г/л).

Вывод

Можно полагать, что аналогичные характеристики относятся к скважинам, в которых были осуществлены испытания ядерных устройств. Поэтому имеет смысл проанализировать возможное влияние этого явления на особенности распространения радиоактивного загрязнения. Необходимо учитывать то обстоятельство, что глубже 100-150 м скважинами вскрывается среда, находящаяся ниже водоносного горизонта. Эти интервалы характеризуются закрытостью трещинных систем и высоким литостатическим давлением, где циркуляция затруднена. При отсутствии на глубоких горизонтах проницаемых зон разломов, внутрискважинное пространство является относительно изолированным. В процессе увеличения минерализации увеличивается плотность воды, и она накапливается в нижних частях скважины. Известно [2], что такие радионуклиды, как ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr находятся в растворе преимущественно в катионном состоянии. Поэтому можно ожидать их накопление в нижних частях скважины совместно с анионами и катионами растворенных солей. Отмеченное явление требует самого тщательного изучения, т.к. предполагаемое погружение радионуклидов в зону затрудненной циркуляции способствует их удержанию, препятствуя широкому распространению. В этих условиях сам природный процесс будет работать в пользу экологического оздоровления окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Токаев К.К., Школьник В.С. Деятельность Республики Казахстан в области нераспространения и конверсии/ II Международная конференция по проблемам нераспространения ядерного оружия. Тезисы докладов. 14-17 сентября 1998 г. Курчатов. с. 3-8
2. Израэль Ю.А., Петров В.Н., Прессман А.Я. и др. Радиоактивное загрязнение природных сред при подземных ядерных взрывах и методы его прогнозирования. Гидрометеорологическое из-во, Ленинград, 1970, 67с.

ТЕРЕҢ ҰҢҒЫМАЛАРДЫ АҒЫМДАҒЫ ЗЕРДЕЛЕУДЕРДІҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША БАЛАПАН УЧАСКЕСІНДЕГІ ЖЕР АСТЫНДАҒЫ СУЛАРДЫҢ КЕЙБІР ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

В.Е. Коновалов, Е.Ю. Пестов, Н.Я. Распопов

ҚР Ұлттық ядрлық орталығының Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов қ.

1997 жылы, Семей сынау полигонының Балапан учаскесінде, жоюының экологиялық қауіпсіз әдістерін тудыру мақсатымен, бұрын, ядролық жарылыстарға пайдаланбаған, тереңдігі 600 м. дейін ұлкен диаметрлі ұңғымалары зерделенген. Радиоактивті ластауының тасуының негізгі факторларының бірі болатын, жер астындағы сулардың күйін зерттеуіне едәуір назар бөлінген. Ұңғымалардағы судың астыңғы бөлшегінің сортаңдануы анықталған. Кей бір жерде ұңғымалардың сол бөлшегіндегі судың минералдануы тұздық күйіне жетеді, бұл, терең горизонттарда жер астындағы сулардың циркуляциясы жоқ болуын куәландырады.

**SOME UNDERGROUND WATER PECULIARITIES OF BALAPAN
SITE ON DATA OF DEEP WELLS CURRENT INVESTIGATIONS**

V.E. Konovalov, E.Yu. Pestov N.Ya. Raspopov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov

In 1997 the investigation of the large-diameter unused wells was carried out with the goal of elaboration of the ecologically safety elimination techniques. The condition of the underground water was considerably studied as it is the main agent of radioactive pollutants transport. The salinization of the lower water of the well was established. In some cases the salinity of water reaches the brine degree that witnesses about a circulation absence at deep water- horizon.

УДК 553.3/4.078(574.41)

МЕТАЛЛОГЕНИЯ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Жаутиков Т.М., Фомичев В.И.

Институт геологических наук им К.И. Сатпаев. Национальной Академии Наук РК, Алматы

Проанализировано структурно-металлогеническое строение Семипалатинского испытательного полигона с учетом его геодинамического, геологического и тектонофациального развития. Рассмотрены металлогеническая специализация и рудноформационный состав оруденения слагающих регион зон, подзон, блоков и рудных узлов. Обосновано широкое развитие и разнотипность профилирующего на полигоне золотого оруденения. Отмечено, что медно- и молибденово-порфировое, скарново-железорудное и кварцевожилльно-золото-серебряное оруденения Жынгылды-Кельмембетской вулканоплутонической дуги (D1-2) являются звеньями единой рудоносной системы андийского типа. Показана сложность, полихронность и полигенность формирования представителей метаморфогенно-скарново-апокарбонатно-грейзеновой (Каражал) и метаморфогенно-скарновой (Байтемир) формаций.

ВВЕДЕНИЕ

Поиски промышленных руд на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) были начаты ещё в позапрошлом столетии. Одним из первых найденных объектов были месторождения Кокок-Тобе (Юбилейное), Шахта, Каражал, Шакпак-Северный и др., которые обрабатывались горнопомышленниками, начиная со второй половины XIX века. В 1894 г. было открыто угольное месторождение Кумколь.

О богатстве недр Семипалатинского Прииртышья стало известно в Европе в 1857 г. после демонстрации на международной выставке, а затем в ведущих минералогических музеях трех уникальных гигантов-самородков меди весом 52,5, 49 и 39,5 пудов из Калмактасского рудника в отрогах Дегеленских гор (В.А. Пазухин, 1926 г.).

В послереволюционные годы эпизодическими исследованиями угленосности региона, занимался А.А. Гапеев (1917 г.) и Н.И. Данилин (1919-1920 гг.), никеленосностью серпентитов Н.Н. Горностаев (1920-24 гг.) и В.А. Афанасьев (1932-33 гг.), а изучением месторождений Юбилейное и Каражал Б.В. Колокольников (1931 г.), Б.В. Кагуров и В.И. Сулоева (1937 г.). В 1936-1937 гг. поиски бокситов проводил И.И. Бок.

Систематические поисковые работы сороковых годов были начаты в Дегеленском районе М.В. Студенечким, который открыл молибденово-вольфрамовое месторождение Дегелен. В 1944 г. поисковые работы на марганец в Муржик-Дегеленском регионе завершились выявлением 19 рудопроявлений (А.В. Бирибин, Н.П. Михайлов), оценкой которых занимались В.Ф. Беспалов, и района в целом – Н.Н. Ошкуров. Разведочные работы на месторождении Юбилейное проводились в 1946-1950 гг. Л.А. Козьминой и В.И. Станиной при участии М.П. Русакова, а на Каражале – в 1950-54 гг. В.И. Станиной. В 1957-59 гг. Майкаинская ГРЭ проводила поисково-разведочные работы на золото на участке Муржик. В 1947 г. К.А. Рачковская в центре СИП откартировала крупную кварцевожилльную

систему, фрагмент которой был переоткрыт Д.Б. Бекмагамбетовым и Т.М. Жаутиковым в 1998 г. как кварцево-золоторудное месторождение Балтемир. В 1949 г. В.С. Малых выявил ряд рудных точек вблизи п. Известковый и указал на повышенную золотоносность региона. Многолетние поиски никелевой минерализации в серпентитах (М.Л. Дорохов, 1954 г., Н.В. Суспицин, 1958-59 гг., Г.А. Семенов и В.С. Цыганков, 1959 г., Б.В. Александров и Т.Н. Багишева, 1959-1964 гг., К.С. Ахметов, 1965-68 гг.) завершились открытием Горностаевского месторождения силикатных кобальтово-никелевых руд.

Большой вклад в исследовании золотоносности полигона внесли работы Б.В. Александрова и др. (1962-76 гг.). Ими в 1967 г. выявлено месторождение Жанан, проявления Кемпир, Восточное, Сурьяное, а в 1975 г. - месторождение Балдыколь и рудопроявления Балдыколь II, Дайковое. Поисково-разведочные работы на этих объектах осуществили М.В. Санаров (1965-67 гг.), А.В. Денисенко, А.М. Мысник (выявивший в 1968 г. месторождение Алимбет) и В.П. Казазаев (1975-78 гг.). На юге полигона работы на золото и полиметаллы проводили в 1972-77 гг. С.С. Кузьмин и П.А. Валитов [7]. Ими были установлены и предварительно оценены рудопроявления Сосновое, Каражырык, Коскудук Западный и Южный, Жусалы, Жусалы Восточный, а В.П. Желковым – Карабас. На западном фланге СИП в 1977-1987 гг. большой комплекс поисковых исследований осуществил В.П. Пахолук, выявивший 12 рудопроявлений, в том числе месторождения Найманжал II и Первомайское. В 1981-1986 гг. крупномасштабные поисково-оценочные исследования здесь провел Н.И. Погоров, а в 1985-1991 гг. – Ю.А. Васюков, который установил целую серию новых золото-полиметаллических, сурьмяных и редкометалльных объектов. На противоположном фланге региона в 1987 г. И.Г. Тверянкин в процессе проведения глубинных поисков открыл золоторудное месторождение Мираж.

Всплеск интенсивности проводимых геологических, поисково-разведочных и металлогенических

исследований отмечается в последнее десятилетие под влиянием деятельности НЯЦ РК [1, 4, 5]. Именно в этот период был проведен дополнительный комплекс разведочных работ на Кемпирской группе рудопоявлений (АО «Алтайский геолог», 1994 г.), открыты новые месторождения Балтемир (ИГН им. К.И. Сатпаева), Кишкен и Шорское (ГГАО «Азимут»), начата планомерная кондиционная геологическая съемка территории полигона, завершена разведка кор выветривания на объектах Найманжал II (Frontier Mining Ltd.), Коскудук (ТОО «Семгео», ТОО «ФМЛ Казахстан») и Мираж, составлены в масштабе 1:200 000 с использованием космической спектральной съемки первые геологическая, тектонофациальная и структурно-металлогеническая карты СИП (ИГН им. К.И. Сатпаева). Результаты анализа последних и излагаются в статье.

Семипалатинский испытательный полигон охватывает разрозненный ансамбль северо-западных каледонских и герцинских структурно-формационных зон, прошедших сложный геодинамический и тектонический путь становления. В докембрии и раннем кембрии здесь формировалась океаническая кора вблизи зоны спрединга, а в ордовике островодужные вулканические системы. В раннегерцинскую эпоху на территории полигона происходило поддвижение по Калба-Чингизкому глубинному разлому Жарма-Саурского фрагмента палеоокеанической плиты под Чингиз-Тарбагатайский палеомикроконтинент с образованием субдукционного желоба и окраинно-континентальной магматической дуги андийского типа. Воздействие надвигающейся Горноалтайской плиты привело к сжатию и развитию по выполняющим желоб и впадины верхнедевонским-среднекаменноугольным углеродисто-кремнисто-терригенным отложениям позднегерцинской линейной складчатости мезозонально-шовного типа. Коллизионное столкновение двух разнотипных блоков коры на северо-востоке полигона вызвало обдукционное надвижение на Жарма-Саурский террейн и покровно-чешуйчатых аллохтонных офиолитовых пластин Западно-Калбинской зоны по Горностаевскому и Байгузин-Булакскому разломам. Другим следствием более позднего коллизионного процесса явилось проявление пермской тектономагматической активации в виде протяженной зоны, секущей господствующие в регионе северо-западные структуры. С раннекембрийской стадией внутриплитного начального рифтогенеза связано формирование тафрогенных угленосных впадин и развитие семейтауского вулканоплутонического комплекса.

Столь сложное геодинамическое и тектоническое развитие региона предопределило повышенную его рудоносность и разнотипность проявления рудных формаций. Недра полигона обогащены золотом и серебром, свинцом и цинком, медью и молибденом, кобальтом и никелем, вольфрамом и оловом,

бериллием и редкими землями, железом и марганцем, хромом и титаном, мышьяком и сурьмой, бором и фтором, цирконием и ртутью различных генетических типов, а также каменным и бурым углями, каменной солью и самоцветами, графитом и асбестом, баритом и волластонитом. В настоящее время на территории полигона выявлено 15 месторождений, более 80 проявлений и многочисленное количество точек минерализации. Потенциальные ресурсы региона достаточно велики, что подтверждается все новыми и новыми открытиями. Только в последние годы, вслед за выявлением таких значительных по размерам объектов как Найманжал II, Мираж, Айгыр и Сарымсактобе, были обнаружены перспективные золотые проявления Балтемир (ИГН им. К.И. Сатпаева) и Кишкен, а также крупное медно-молибденово-порфирировое месторождение Шорское (ГГАО «Азимут»).

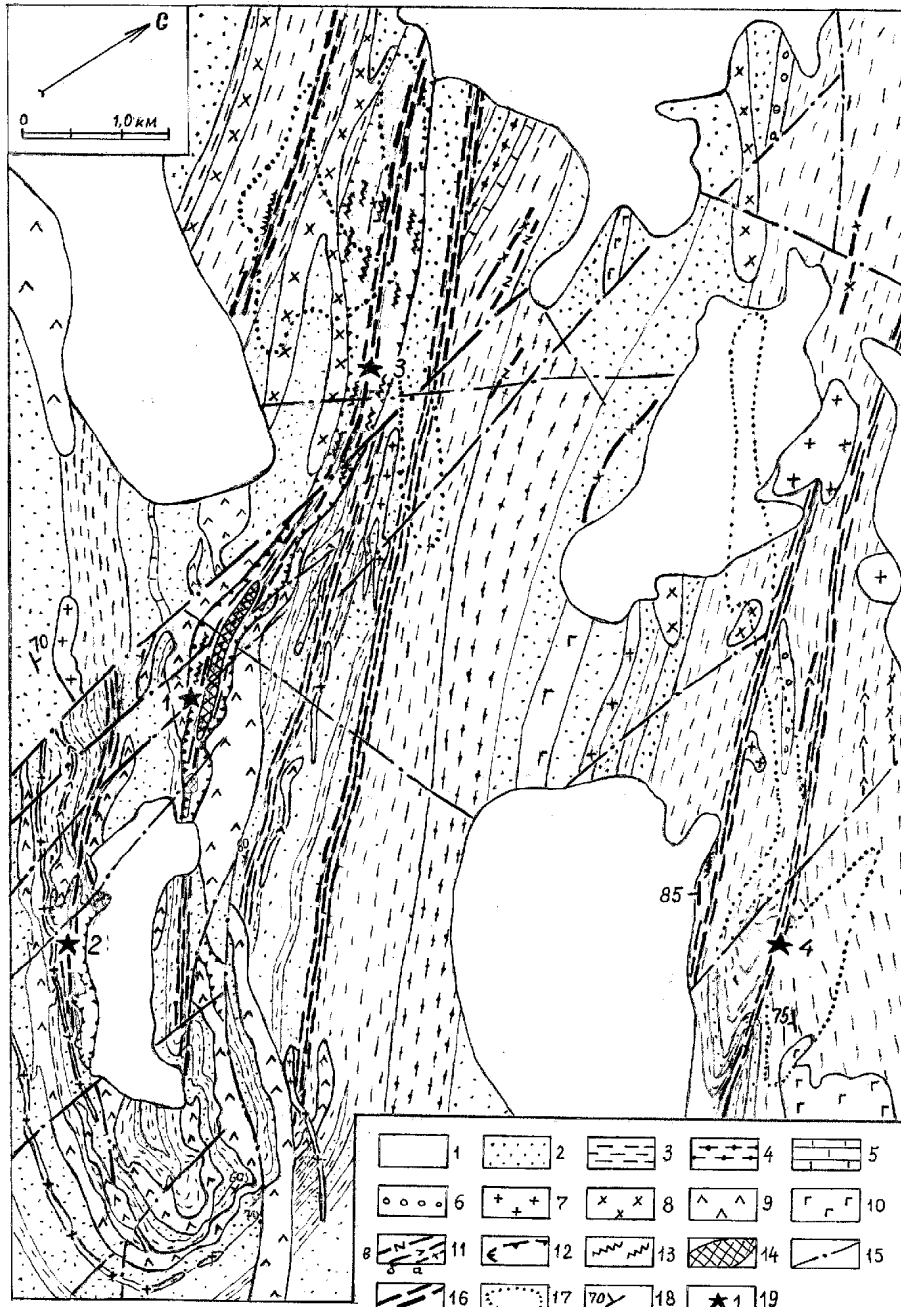
Металлогеническое районирование полигона предопределяется структурно-формационным строением региона, поскольку существует прямая зависимость развития специфичности и масштабности оруденения и типа рудных формаций от особенностей геодинамического и тектонического развития, условий осадконакопления и его геохимической специализации, а также от интенсивности и характера магматической деятельности. В структурно-металлогенических зонах обособляются металлогенические подзоны, отличающиеся однотипностью проявления геологических и рудных формаций.

Через территорию СИП трассируются шесть основных структурно-металлогенических зон - Западно-Калбинская кобальто-никелево-сурьмяно-золоторудная, Жарма-Саурская медно-сурьмяно-молибденово-золоторудная, Аркалыкская медно-цинково-серебряно-золоторудная, Шунайская золото-свинцово-цинково-медная, Чингизская хром-никелево-железо-марганцево-золото-медная и Дегелен-Майлыкара-Кузганская висмутово-молибденово-олово-вольфрамово-бериллиевая, расчленяющихся на специфические подзоны и многочисленные блоки с отдельными рудными узлами (Рис. 1).

Западно-Калбинская кобальто-никелевая - сурьмяно-золоторудная зона. Фрагмент этой зоны занимающий северо-восточную часть СИП, представляет, по данным геофизических исследований (В.Н. Любецкий и др., 1999г.) покровно-чешуйчатый аллахтон, надвинутый с северо-востока по Горностаевскому и Байгузин-Булакскому разломам на Ащиколь-Жананское островодужное поднятие. Вдоль разломов развит серпентитовый меланж, обособляющийся в виде вытянутых в северо-западном направлении протрузивных тел и линз Горностаевского пояса. Верхний покров сложен терригенными отложениями флишеидной формации серпуховского и молассовыми толщами башкирского ярусав, а нижний – известняками карбонатной формации нижнего-среднего девона и терригенно фли-

шюидными образованиями аркалыкской свиты. В соответствии с геохимической специализацией и спецификой оруденения рассматриваемый фрагмент зоны расчленяется на Горностаевскую кобальтово-никелево-ртутно-сурьмено-золоторудную и Балыктыколь-Сузуксорскую титано-мышьяково-

золоторудную подзоны. Первая из них охватывает дислоцированные, расчлененные серпентитовым меланжем карбонатно-терригенные отложения нижней, а вторая терригенные толщи верхней чешуи аллахтона.



1-2 – границы металлогенических зон (1) и подзон (2); 3 – их названия: Ia – Балыктыколь-Сузаксорская и Ib – Горностаевская подзоны Западно-Калбинской зоны; IIa – Жанан-Балдыкольская, IIb – Кумколь-Каражарыкская; IIc – Котансор-Балтемирская, IId – Сарыкамысская подзоны Жарма-Саурской зоны; III – Аркалыкская, IV – Шунайская, V – Центрально-Чингизская, VI – Абралинская зоны и VII – Зона пермского этапа тектономагматической активизации; 4 – зоны линейризации и вязких разломов и их названия: 1 – Жананская, 2 – Сарыкамысская, 3 – Шалкарсорская, 4 – Южно-Сарыадырская, 5 – Котансорская, 6 – Кемпирская, 7 – Койтасская, 8 – Балтемирская и 9 – Северо-Меденкольская; 5 – глубинные разломы и их названия: 1 – Горностаевский, 2 – Байгузин-Булакский, 3 – Жанан-Балдыкольский, 4 – Ойнаксорский, 5 – Шандыкольский, 6 – Шинрау-Каражырыкский, 7 – Калба-Чингизский, 8 – Аркалыкский 9 – Главный Чингизский; 6 – региональные зоны разломов северо-восточного простирания; 7-23 – месторождения: (1-Найманжал, 2-Балтемир, 3-Балдыколь, 4-Горностаевское, 5-Кемпир, 6-Западный Жанан, 7-Юбилейное, 8-Каражал, 9-Дегелен, 10-Коскудук, 11-Жосалы, 12-Шорское, 13-Каражыра, 14-Алимбет, 15-Сарымбет, 16-Мираж) и рудопроявления: 7 - Au, 8 - Au-Cu, 9 - Au-Pb-Zn, 10 - Pb-Zn, 11 - Cu, 12 - Sb, 13 - Hg, 14 - Ni-Co, 15 - Fe, 16 - Mn, 17 - W-Mo, 18 - Be, 19 - Bi, 20 - Ti, 21 - редких земель, 22 - Zr, 23 - угля

Рисунок 1. Схема металлогенического районирования Семипалатинского испытательного полигона

Горностаевская подзона характеризуется отчетливо выраженной кобальтово-никелевой и ртутно-сурьмяно-золоторудной специализацией. В ней выявлены нонтронитово-бирбиритовое силикатно-кобальто-никелевое Горностаевское месторождение, золоторудное месторождение Мираж и ряд золоторудных проявлений (Кишкене-Айгыржальское, Жаман- Айгыржальское) ноксбиллского типа и объект Сарымбет и джаспириодно- золото-сурьмяный объект Сарымбет.

Подзона особенно перспективна на золотое оруденение ноксвиллского типа, которое локализуется в узлах наложения на тектонически осложненные пояса дислоцированных ультрамофитов зон мезозойской тектоно-магматической активизации. Наиболее перспективный его представитель – Шуга-Миражский рудный узел, расположенный в нижней известняковой чешуе аллахтона с широким развитием серпентинитового меланжа, приурочен к флексурному изгибу Северо-Горностаевского разлома и подчиненных ему пликвативных структур на участке его сопряжения с субширотным Семейтауским и северо-восточным Канрейским разрывами. Здесь проявлены средне-позднетриасовые дайки сиенит-порфиров и микродиоритов. Вдоль северо-западных зон вязких разломов развиты рудоносные зоны лиственитизации протяженностью до 1500 м. В сформированных по ним корях выветривания выявлены более 15 золоторудных тел и большое количество линз.

Балыктыколь-Сузуксорская подзона, терригенные отложения которой характеризуются выше-кларковой концентрацией Ag, Cu и Au и ореолами Au и As вдоль вязких разломов, имеет мышьяково-золотой профиль. Основным представителем ее является проявление Уш-Аша. Подзона интересна альпийской металлогенией. В ней сосредоточены палеогеновые погребенные ильменитовые россыпи, приуроченные к ложбинам палеозойского фундамента. Помимо ильменита в них присутствуют лейкоксен, рутил, циркон, анатаз и сфен. Наиболее крупным объектом титаноносных россыпей является месторождение Алгабас, а также проявления Балыктыколь, Левобережное III и др.

Жарма-Саурская медно-молебденово-сурьмяно-золото-рудная зона обособляется в виде крупного вытянутого в северо-западном направлении через всю территорию СИП террейна. С северо-востока она ограничивается Байгузин-Булакским, а с юго-запада - Калба-Чингизским глубинными разломами. По последнему Жарма-Саурский фрагмент коры в раннем девоне был поддвинут под Чингиз-Тарбагатайский ороген с образованием в прифронтальной зоне субдукционного желоба (палеорифта, в интерпретации В.Н. Любецкого). В строении зоны принимают участие верхдевонские, каменноугольно-пермские и триас-юрские терригенные, вулканогенно-терригенные и вулканогенные образования [4,5]. Наиболее ранние из них позднедевонско-

раннекаменноугольные отложения, представленные вулканогенно-кремнисто-терригенной ($D_3f_m - Ct$), кремнисто-андезито-базальтово-терригенной ($C_{1t} - C_{1v}$) и углисто-кремнисто-терригенной ($C_1 s$) формациями, выполняет желоб и обособляется на юго-западе в виде Котансор-Балтемир-Каратасской подзоны. Вулканогенно-терригенные отложения зоны прорваны многочисленными интрузиями габбро-диоритов, диоритов, гранодиоритов и гранитов саурского ($\gamma\delta C_{2-3 s}$), шангирауского ($\delta\gamma\delta C_{2-3 s}$), максутского ($\gamma\delta C_{2-3 m}$), жарминского (γP_{1z}) и эспинского (γP_{2es}) комплексов.

Вулканогенно-терригенные отложения D_3-C_{1-2} интенсивно дислоцированы. Характерные для них эпизональные корытообразные структуры преобразованы в зонах линаризации в линейно-сжатые складки мезозонального типа с вязкими разломами и интенсивным кливажированием пород в осевых плоскостях [8]. Наиболее крупным из них являются Жанан-Кемпирская, Южно-Сарыадырская, Сарыкамыс-Сосновская, Шалкарсорская и Котансорская зоны линаризации, отчетливо фиксируемые на космической спектрозональной карте. Вторая из названных зон обтекает с северо-востока Меденкольский интрузив гранитов и тупо упирается в диоритовый массив Акбота. Еще более мощная зона дислокаций, названная нами Котансорской, выявлена на северо-западе полигона. Она проявлена между гранитными массивами Кызыл-Эспе и Кузган и трассируется на десятки километров. Зона состоит из четырех ветвей повышенного кливажирования, отстоящих друг от друга на 1,5-2 км. Особняком стоит Северо-Меденкольская зона линаризации, имеющая запад-северо-западное простирание. Она обтекает с севера одноименный гранитный интрузив, соприкасаясь у его северо-восточного экзоконтакта с Южносарыадырской зоной. Мощная (до 1,5 км.) Шалкарсорская зона смятия, развитая в вытянутой в северо-западном направлении грабеноподобной структуре, состоит из серии сближенных вязких разломов, сопровождаемых интенсивным кливажированием пород и линейной приразломной складчатостью мезозонального типа с крутым ($80-85^\circ$) падением элементов структурной триады. Эти зоны вязких разломов, сопровождаемых линейно-носжатой складчатостью, часто ортоклинального типа, и особенно узлы их сопряжений и пересечений с хрупкими разрывами, имеют важное рудоконтролирующее значение.

Жарма-Саурская зона имеет четко выраженный золоторудный профиль, обусловленный широким развитием в дислоцированных углеродисто-терригенных отложениях месторождений и проявлений кварцево-золото-малосульфидной формации. Основными ее представителями являются месторождения Балдыколь, Жанан, Балтемир, а также многочисленные проявления, такие как Кемпир, Восточное, Мышьяковое, Хрустальное, Куттуадам, Веселое и др. На юго-востоке зоны, где нижнекаменноугольные

углеродисто-алевролит-песчаниковые толщи прорваны малыми интрузиями габбро-диоритов саурского комплекса, преобладают линейно-штокверковые золоторудные объекты пропилит-березит-золотосульфидной формации (Сосновое I и II, Каражырык, Дайковое и др.), приуроченные к узлам пересечения субсогласных с вмещающими породами вязких разломов с секущими зонами разрывов. В самих же многофазных интрузиях саурского комплекса развито золото-медно-молибденово-порфировое оруденение сорского типа, представленное крупным Шорским месторождением.

Менее характерны для зоны проявления медно-порфировой формации, связанные с интрузиями гранодиорит-дацитовых порфиров шангирауского комплекса (Балдыколь II) и телами нижепермских риодацитов образований (Жуантобе). Распространенные в зоне штоки габбро-норитов максутского комплекса перспективны на медно-никелевое оруденение харатунгского типа.

Особо важное значение в зоне имеет бурый и каменный уголь, распространенный в Кумколь-Акбота-Каражырыкской тафrogenной впадине, которая была заложена в раннепермскую эпоху между Борлысорским и Ашиколь-Жананским (по В.И. Любецкому, 1999 г.) палеоостроводужными поднятиями. Выявление в ее южной части среди юрских терригенных отложений крупного угольного месторождения Каражыра выдвигает регион в разряд промышленнозначимых районов Казахстана. Перспективными на коксующиеся угли являются нижепермские терригенно-молассовые отложения на севере впадины. В них установлены многочисленные, но мелкие угольные месторождения Кумколь, Елизоветинское, Тым-Кудук I и II, Ойнаксор, а также углепроявления Акбота, Каратобе, Сужон, Тюебайлаган, и др.

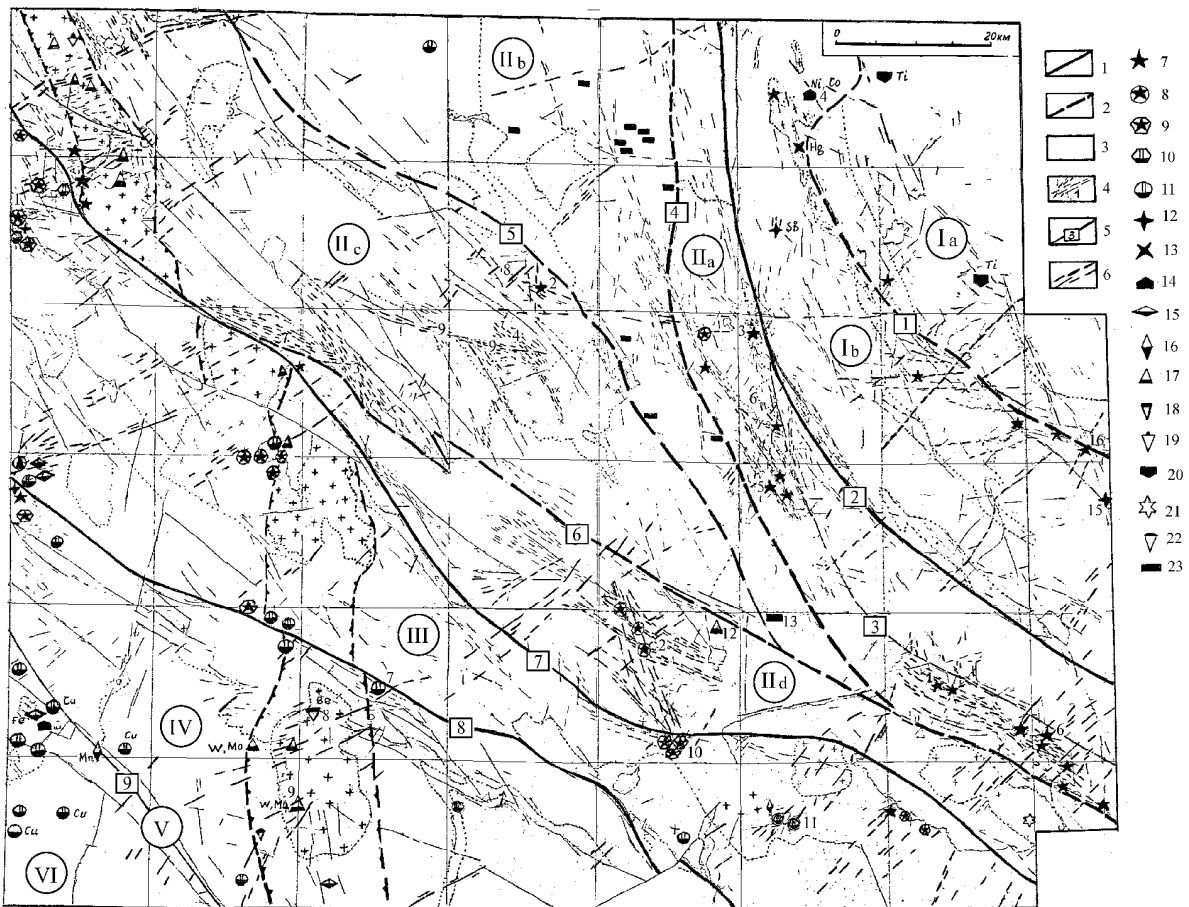
Жарма-Саурская зона в соответствии с металлогенической специализацией и вещественно-формационным составом слагающих ее образований разделяется на четыре структурно-металлогенические подзоны - Жанан-Балдыкольскую мышьяково-сурьямяно-золоторудную, Кумколь-Каражырыкскую угленосную, Котансор-Балтемир Каратасскую медно-молибденово-серебряно-золоторудную. В свою очередь они расчленяются на ряд самостоятельных блоков и рудных узлов.

Сарыкамыс-Сосновый рудный узел сложен углеродисто-алевролит песчаниковыми отложениями аркалыкской свиты с силлообразными телами диоритовых порфиритов, габбро-диоритов и плагиогранодиоритов саурского комплекса. Он приурочен к концентру пересечения мощной северо-западного простирания зоны линейаризации с северо-западной зоной субвязких разрывов (Рис. 2).

Первая из них состоит из трех сближенных вязких разломов, сопровождаемых уплощенно-линейной складчатостью мезозонально-шовного типа и интенсивным кливажированием пород. В полюсах пересечения зоной разрывов с ветвями зон линейаризаций локализованы основные рудопроявления - Каражырыкское, Сосновое I и Дайковое. Интенсивно кливажированные породы вдоль разломов серицитизированы, окварцованы и пропитаны тонкой вкрапленностью сульфидов с образованием во флексурных изгибах лентовидных тел штокверкого окварцевания с аномальными содержаниями Au, Zn, Pb, Mo. Приуроченные к ним рудоносные зоны трассируются комплексными ореолами As, Ag, Au, Mo и Sb. Учитывая большую протяженность рудоносных зон и локально-узловой характер распределения бедной сульфидной минерализации промышленную ценность рудного поля могут составить развитые по ним золотоносные коры выветривания.

Балдыкольский рудный узел расположен в концентре сопряжения Байгузин-Булакского и Жананского глубинных разломов и сопровождающих их вязких разрывов северо-западной и север-северо-западной ориентировки, которые пересечены серией субширотных и север-восточных нарушений. Слагающие его полимиктовые и углисто-известковисто-кремнистые алевролиты простираются в северо-северо-западном направлении, параллельно Балдыкольскому вязкому разлому и монокинально падают на юго-запад под углом 60-70°. Вдоль ветвей последнего они интенсивно кливажированы и гидротермально-метасоматически изменены, образуя рудоносные зоны. В их пределах локализованы субсогласно залегающие с вмещающими породами рудные тела. Причем, два из них на участке сопряжения контролирующих вязких разломов сливаются в единую рудную залежь с образованием линзообразного раздува. В рудном узле перспективны локальные участки пликвативно-дизъюнктивных осложений буконьской свиты под покровом средневерхнекаменноугольных вулканогенных образований С2-3.

Другой представитель участка - медно-порфировое рудопроявление Балдыколь II, приуроченное к интрузиву гранодиорит-дацитовых порфиров, рвущих дацит-андезит-базальтовые образования майтюбинской свиты. Халькопирит-молибденитовая минерализация сосредоточена во внутренней сформированной при наложении щелочной и кислотной стадий метасоматоза, кварцево-серицитовой метасоматической зоне, обрамляющей центральное кварцевое ядро. Особенность формирования и тип метасоматической зональности рудопроявления имеют четкое сходство с месторождением Актогай, что повышает их потенциальную перспективность.



1 – четвертичные (Q_{IIIIV}) отложения; 2-6 - аркалыкская свита ($C_1, V_{2,3, ar}$) 2 - песчаники, 3 - алевролиты глинистые, углисто-глинистые, 4 - алевролиты кремнистые, 5-известняки, 6-гравелиты; 7-10 – интрузивы саурского комплекса ($\gamma-v C_s$): 7-микрогранит-порфиры, 8-гранодиориты, 9-диориты, 10-габбро-диориты; 11-дайки кварцевых порфиров (а), диоритовых (б) и диабазовых (в) порфиров; 12-контуры зон гидротермального изменения пород; 13-кварцевые жилы; 14-штокерковое окварцевание; 15-хрупкие разрывы; 16-вязкие разломы и зоны повышенного кливажирования; 17-комплексные ореолы As, Ag, Pb, Cu и Mo; 18-элементы залегания пород; 19-золото-полиметаллические проявления (1-Сосновое, 2-Каражырык, 3-Дайковое, 4-Сосновое II).

Рисунок 2. Схематическая геологическая карта Сарыкамьского (Каражырык-Сосновского) рудного поля.
(Составил В.И. Фомичев по материалам П.А. Валитова, С.С. Кузмина и Б.В. Александрова)

Аркалыкская медно-цинково-серебряно-золоторудная зона представляет, по данным изучения глубинного строения СИП (Любецкий В.Н., 1999г.), фронтальную часть каледонского аллахтона Чингиз-Тарбагатайской складчатой системы, под которую в раннем девоне был подвинут фрагмент Жарма-Саурской палео микроплиты. С юго-запада зона ограничивается Аркалыкским глубинным разломом. В центре и на юге ее развиты вулканогенные образования океанического ложа – базальтовые подушечные лавы и яшмы раннекембрийской яшмо-диабаз-альбитофировой, а вдоль северо-восточной границы – вулканыты и фтаниты кремнисто-андезито-базальтовой формации, выделенные соответственно в виде балкыбекской и найманжальской свит. На востоке и западе зоны в строении отдельных тектонических блоков принимают участие алевролит-песчаниковые толщи среднекембрийской терригенно-флишоидной и среднеордовикской терригенно-турбадитной формаций [4]. На ее северо-западе преобладают вулканогенно-молассовые (O_3) и молассовые (S_1) отложения коллизионной стадии, знаменующей общее воздымание региона.

Металлогеническая специализация зоны определяется развитием золото- и сереброносных колчеданно-медно-цинкового и колчеданно-полиметаллического оруденений, ассоциирующих соответственно с яшмо-диабаз-альбитофировыми и кремнисто-андезит-базальтовыми образованиями. Диабазы, по данным С.С. Кузмина [7], характеризуются вышекларковой концентрацией Cu, Zn, Ba, Mo и околосларковыми содержаниями Pb, Ni, Co. Развитые по ним северо-западные зоны вязких разломов и повышенного расланцевания сопровождаются ореолами Ag, Cu, Zn, Pb, Mo. В ряде мест в углеродисто-кремнистых сланцах, отмечено присутствие сульфидо и марганцевоносных прослоев. В толщах яшмо-диабаз-альбитофировой формации сосредоточена целая серия колчеданных месторождений (Коскудук, Жусалы, Первомайское и др.), определяющих в совокупности с вмещающими породами ее Ag – Cu – Zn – Au профиль.

Образования кремнисто-андезито-базальтовой формации характеризуются близким составом комплексных ореолов (Ag, Pb, Zn, As, Sb, Co, Cu, Ba), развитых вдоль зон расланцевания. В рудах обна-

руженных месторождений (Найманжал П, Найманжал 1) и многочисленных рудопоявлений (Ергазы, Жантайлак, Карабас и др.), наряду с Au, Zn и Ag, значительную роль приобретают Pb и Sb и резко уменьшается роль Cu.

Ниже-средне- кембрийские отложения зоны характеризуются слабым распространением марганцевой минерализации в кремнистых слоях, перекрывающих базальты (рудопоявление Клы и др.), а также развитием золото-медно-свинцово-цинкового кварц-турмалинового и метаморфогенно-скарнового оруденения в кембрийских толщах, связанного с внедрением диоритовых интрузий шангирауского комплекса (рудопоявления Байтемир 1, Байтемир, Кызылшоқы Ш и др.).

Резко иную металлогеническую специализацию имеет силурийская песчано-гравийная моласса. В ней отмечается слабо проявленная минерализация типа медистых песчаников. С карбонатно-терригенными отложениями D₃-C₁ наложенных мульд ассоциирует железо-марганцевое оруденение.

Шунайская золото-свинцово-цинково-медная зона [6], ограниченная Аркалыкским и Главным Чингизским разломами, сложена вулканогенно-осадочными породами кремнисто-терригенно-андезит-базальтовой (O₂ ab), терригенно-флишоидной (O₂ tg), вулканогенно-молассовой (O₃ jt) и трахиандезит-трахириолитовой (D₁ и D_{1.2} m) формациями [4]. В юго-западной части зоны обособляется Кузенбайшоқы-Первомайский блок, представленный вулканогенными образованиями кремнисто-спилит-кератофировой (C₁) формации. Он является юго-западным окончанием Первомайской медно-цинково-золото-серебряной подзоны.

Основу Шунайской зоны составляет Шунай-Катанбулакская подзона с интенсивно проявленным среднеордовикским андезито-базальтовым вулканизмом. В ней со вторичными кварцитами по экструзиям кислых пород и с гидротермально измененными некими микродиоритов ассоциирует свинцово-цинково-медно-золотое оруденение (рудопоявления Шунай, Чакпак и др.). С вулканогенными образованиями вулканогенно-молассовой формации, обособляющейся в виде Котансор-Карачукурской подзоны, связана свинцово-цинково-медная минерализация (рудопоявление Малый Карачукур и др.).

Характерной особенностью зоны является интенсивное проявление континентального ранне-среднедевонского трахиандезито-базальто-трахириолитового вулканизма и сопряженного с ним многофазного габбро-диорит-гранитного и граносиенит-монцитонитового магматизма. Развитие этого вулканоплутонического пояса, обособленного в виде Жынгылды-Сарыгожал-Кельметбетской подзоны, можно параллелизовать с окраинно-континентальной магматической дугой андийского типа. В ней с гидротермально измененными субвулканическими телами кислого состава ассоциирует золото-медное порфировое оруденение (месторождение Юбилейное, рудопоявление Шахта и др.), а с андезито-

базальтовыми вулканитами (D₁) кварц-баритовые жилы с Au-Zn-Cu минерализацией. В кислых лавах машанской свиты известны единичные проявления циркониевой минерализации (Сатбай). С ранне-среднедевонскими габбро-диорит-гранитными и граносиенит-монцитонитовыми интрузиями сарыкольского и кызылбинского комплексов генетически связаны рудопоявления скарново-медной (Ащиколь, Кельметбет), скарново-железорудной (Байтлес и др.) и кварцевожилно-золото-серебряной (Кызылсор) формаций, образующих совместно с медно-порфировым оруденением, как и в Перу-Чилийской меднорудной провинции, единую рудоносную систему (по Р.Силлитое, 1974). Недостающее ее звено – медно-молибденово-порфировые объекты уже выявлены в аналогичном многофазном интрузиве в Жарма-Саурской зоне.

Широко проявлены наложенные на каледонские структуры раннегерцинские рифтогенные грабен-синклинали, выполненные фамен-турнейскими кремнисто-карбонатно-терригенными отложениями. С ними ассоциирует стратиформная бор-фтор-золото-сурьяно-железо-цинково-марганцевая минерализация (рудопоявления Сарымсактобе, Айбикешоппак, Карьерное, Жанарал, за пределами СИП месторождения золота Айгыржал и Ащису).

Чингизская хром-никелево-железо-марганцево-золото-медная зона лишь фрагментарно заходит в юго-западный угол полигона. Северо-восточная ее часть, непосредственно примыкающая к Главному Чингизскому разлому и сложенная ниже-среднекембрийскими (?) базальтово-кремнистыми толщами, ниже-среднерифейскими порфиридно-сланцевыми образованиями и среднерифейскими массивами гипербазитов, принадлежит Центрально-Чингизской подзоне. Юго-западнее Муржикского разлома они сменяются средне-верхнеордовикскими вулканогенными и флишево-терригенными отложениями Абралинской подзоны [4].

Центрально-Чингизская подзона интересна своей докембрийской металлогенией. С широко развитыми ультрабазитами, близкими по составу с океаническими гипербазитами [5], ассоциируют рудопоявления Fe, Cu, Ni, Cr. Наиболее значительным из них является отработывавшееся в конце XIX века месторождение Шакпак Северный. К числу собственно хромитовых объектов принадлежат мелкие рудопоявления Северо-Шакпакской группы. В мезозойских корах выветривания по ультрабазитам развито нонтронит-гидросиликатно-никелевое оруденение (Шакпактас-2).

С ниже-среднепротерозойскими кварцево-серицитовыми сланцами ассоциирует медная и медно-золоторудная минерализация кварцево-жилного (Джалпалык, Тасаран) и линейно-штокверкового (Аркалык) типов. Среди более значительных золоторудных объектов наиболее известны находящиеся за пределами полигона рудопоявления Муржикской группы (Западный Муржик, Верхний Муржик,

Муржик, Коянды и др.). Жилы в них интенсивно будинированы и катаклазированы.

Металлогенической спецификой подзоны является развитие стратиформных горизонтов железистых кварцитов в низах сланцевой толщи (А.А. Недовизин, 1964г.). Основной объект железисто-кварцевой формации – рудопоявление Утегенсор, находится за пределами СИП.

Металлогения раннекаледонской эпохи не имеет на полигоне крупных представителей, хотя и отличается значительным разнообразием генетических типов оруденения. В нижне-среднекембрийских яшмо-кварцитовых толщах с пластами базальтовых порфиринов (Тунгат-Джаплекский блок) развиты марганцевое стратиформное оруденение (рудопоявление Шокибай), медная кварцево-жильная (Тунгат) и штокверковая (Карашошак, Джандрал, Ирису) минерализация, а с прорывающими их раннеордовикскими монзонит-сиеногранодиоритовыми интрузиями золото-медные проявления меднопорфирового (Чигибай) и кварцево-жильного (Айдарлы, Жанарал Восточный) типов.

Верхнеордовикские вулканы андезитобазальтового состава Абралинской подзоны, лишь частично затрагивающей юго-западный угол полигона, ассоциируются за его пределами с баритзолото-медно-свинцово-цинковым оруденением (месторождения Майбулак, Шарабай). В пределах СИП в них отмечаются лишь мелкие проявления аналогичного типа (Аужанская группа).

Практический интерес представляет раннегерцинская металлогения наложенных каледонидаы впадины. В выполняющих их фамен-турнейских терригенно-карбонатных отложениях широко развито железо-марганцевое оруденение атасуйского типа (месторождения Есымжал, Узунбулак).

Дегелен – Кузганская висмутово-молибденово-олово-вольфрамово-бериллиевая зона пермской тектоно-магматической активизации трассируется в север-северо-западном направлении через центральную часть полигона. Она является секущей по отношению к господствующему для региона северо-западному простиранию складчатости, пород и основных разломов.

В строении зоны участвуют ранне- и позднепермские интрузии жарминского гранитового и эпинского лейкогранитового комплексов. Первый представлен линейновытянутым в север-северо-западном направлении Кузганским интрузивом, а второй образует ряд овальных (Дегеленский, Майлыкаринский, Койтасский и Кызыл-Эпинский) массивов. Гранитные интрузивы прорывают на юге и в центре полигона каледонские образования Аркалыкской и Шунайской зон, а на севере – герцинские терригенные и вулканогенные толщи Жарма-Саурской зоны. Пояс активизации в центральной и северной частях смещается возобновленными раннекембрийскими тектоническими подвижками по древним разломам северо-западного простирания – Калба-Чингизскому, Актайлакскому и Северо-Тюресорскому. Амплитуда лево-

сдвигового смещения по ним достигает 10 км. Дегелен-Кузганская зона характеризуется редкометальной специализацией. Ее пометальная специфика находится в зависимости как от формационной принадлежности гранитов, так и состава прорываемых пород. Раннепермским интрузиям гранитной формации, интрузирующим ниже-среднекаменноугольные отложения Жарма-Саурской зоны, свойственна висмутово-молибденовая (проявления Северный Кузган I, II, III, Южный Кузган) и висмутовая (Северный Кузган IV) минерализация кварцево-жильно-грейзенового типа. С позднепермскими лейкогранитовыми интрузиями, развитыми по каледонским вулканогенным и вулканогенно-терригенным образованиям, ассоциирует оруденение грейзеновой молибденово-вольфрамовой (месторождение Дегелен, рудопоявление Дегелен Западный, Жанбасбулак) и вольфрамбериллиевой (Караджал) формаций. В случае присутствия в ареале развития гранитных интрузий карбонатно-терригенных отложений фамен-турнейских мульд, с характерным для них стратиформным оруденением атасуйского типа, редкометальная специализация грейзеновых проявлений дополняется Zn, F, Fe. Так, на Каражале основную промышленную ценность оруденения, помимо бериллия и вольфрама, составляют Zn, Fe, F, экстрагированные из контактированных интрузией фаменнижекаменноугольных известняково-песчаниковых пород, в останце которых и локализовано это уникальное месторождение метаморфогенно-скарново-апокарбонатно-грейзеновой формации. А на редкометальных объектах Дегеленской группы в грейзенах вместо характерной для них слюды присутствует в изобилии железная слюдка. В рассматриваемой зоне тектоно-магматической активизации повышенную перспективность имеет Дегеленский блок.

Выводы

1. Территория Семипалатинского полигона, охватывающая зону коллизионного стыка каледонид и герцид, характеризуется сложным геодинамическим и тектоническим развитием и отличается повышенной рудоносностью её недр с проявлением разнообразных генетических типов оруденения.
2. Выделенные в её пределах структурно-металлогенические зоны характеризуются специфичностью оруденения при общем профилирующем значении проявлений золота. Так, Западно-Калбинская зона имеет кобальто-никелево-сурьмяно-золотую, Жарма-Саурская - медно-сурьмяно-молибдено-золотую, Аркалыкская колчеданно-медно-цинково-серебряно-золотую, Шунайская - золото-свинцово-цинково-медную, а секущая их Дегелен-Кузганская - молибдено-олово-вольфрамово-бериллиевую специализацию.
3. Широкое развитие в регионе имеют мезозональные зоны линейаризации, преобразующие первичные эпизональные пологопадающие структуры в линейносжатую складчатость шовного типа

с вязкими разломами и интенсивным кливажированием пород вплоть до образования ортоклиналей интенсивной дислоцированности.

4. Важное рудоконтролирующее значение для различных типов оруденения принадлежит зонам вязких разломов, особенно узлам их сопряжений и пересечений с эпизональным и разрывами, что предопределяет необходимость проведения тектонофациальных исследований при оценке рудных полей.
5. Наиболее перспективными на золотое оруденение являются Балдыкольский, Сарыкамыс-

Сосновский, Балтемирский, Токсанбай-Хрустальный, Шуга-Миражский, Меденколь-Сарыадырский, Шалкарсор-Койтасский, а на медно-цинково-золотое - Найманжал-Алшынжалский, Коскудукский, и Байтемир-Кызылшокинский рудные узлы.

6. Практический интерес представляет раннегерцинская металлогения наложенных на каледониды фамен-турнейских грабен-синклиналей и киммерийская металлогения палеогеновых россыпей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акылбеков С.А., Мазуров А.К. и др. О комплексных региональных геологических исследованиях на территории Семипалатинского испытательного полигона // Вестник НЯЦ РК, вып.2 «Геофизика и проблемы не распространения.» 2000.С 149-152.
2. Большой Алтай (Геология и металлогения) Щерба Г.Н., Беспяев Х.А., Дьячков Б.А. и др. Кн.1, 1998 и Кн.2, 2000. Алматы «Гылым».
3. Глухенький В.Я. Государственная геологическая карта СССР. масштаб 1:200 000.М-43-ХVIII. М.,1987.
4. Ергалиев Г.Х., Мясников А.К., Никитина О.И., Сергеева Л.В. Геологическое строение территории Семипалатинского испытательного полигона // Вестник НЯЦ РК. вып. 2 “Геофизика и проблемы не распространения”. 2000.С.139-148.
5. Ергалиев Г.Х., Мясников А.К., Фомичев В.И. Рудоносные уровни в палозоидах Семипалатинского полигона // Минералогия и перспективы развития минерально-сырьевой базы. Ч.1. Алматы, «Гылым», 1999 с. 140-150.
6. Жаутиков Т.М., Полянский Н.В., Титов В.И. и др. Геология и металлогения Чингиз-Гарбагатайского мегантиклинория. Алматы-Ата, «Наука». 1977
7. Кузьмин С.С., Сопочев А.В., Кагарманов А.Х. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1: 200 000, серия Чингиз-Саурская. Объяснительная записка к листу М-44-ХIХ. М. 1981.
8. Тектонофациальный анализ и его роль в геологии, геофизике и металлогении. Алмата-Ата, «Гылым». 1991. 224с.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНЫҢ МЕТАЛЛОГЕНИЯСЫ

Т.М. Жаутиков, В.И. Фомичев

Қ. И. Сатпаев атындағы геологиялық ғылымдар институты. ҚР Ұлттық Академиясы.

Семей полигонының геодинамикалық, геологиялық және тектонофациялық дамыумен байланысты оның металлогениялық қурылысы талданған. Металлогениялық бейімділігі мен аймақтағы белдемі, зонашық, жекежон және кенді тораптардың формациялық кендену құрамы қарастырылған. Полигонда алтын кенденудің әр типтілігі мен кең дамуы негізделген. Мыс және молибден -порфирлі, скарн - теміркенді, кварц - желілі – алтын күмісті кендену белгіленген. Жыңғылды-Келмембет вулcano-плутоногенді иіндер (D₁₋₂). Анд типінің біртұтас кенді жүйесінің тізбегі болып табылады. Метаморфотекті –скарнды-апокарбонатты –грейзенді (Қаражал) және метаморфотекті –скарнды (Байтемір) формация өкілдерінің қалыптасу күрделілігі, полихрондылығы мен полигенділігі көрсетілген.

METALLOGENY OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE

T.M. Zhautikov, V.I. Fomichev

K. I. Satpaev Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of the RK.

The geotectonic-metallogenic setting of the Semipalatins Test Site was analyzed taking into account geodynamic, geological and tectonofacial development. The metallogenic specialization and ore composition of the zones, subzones, blocks and ore-bearing areas of the region were studied. The wide distribution and variety of gold mineralization were established. The Copper-molybdenum porphyry, skarn-iron and gold-silver in quartz veins mineralization of the Zhyngyldy-Kelmembet volcano-plutonic (D₁₋₂) are known to be the links of the united ore-bearing system of the Andes type. The complexity, polychronic and polygenic nature of formation are shown for such deposits as the morphogenetic-skarn-apocarbonate-greisenic (Karazhal) and metamorphogenetic-skarn (Baytemir) formations.

УДК 550.837:553.41

ИСТОРИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ: ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ РАЗВЕДКИ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Ван Лонгпин

Национальный проект 305, Урумчи, Китай

Описываются результаты применения комплекса геофизических исследований на перспективной площади Джинкси, позволивших выявить многочисленные зоны минерализации с относительно невысоким содержанием золота. Проведены детальное картирование, работы методом заряда, вызванной поляризации, алмазное бурение. Исследования методом вызванной поляризации были ориентированы на выявление, как вкрапленных сульфидов (аномалии поляризуемости), так и окварцевания (аномалии удельного электрического сопротивления), поскольку оба эти фактора связаны с минерализацией золота в исследуемом районе. Удалось установить, что зона минерализации имеет площадь порядка 14 км² с наиболее обогащенной частью размером 1,5х1 км.

ВВЕДЕНИЕ

Район Туласи (Рис. 1) расположен севернее города Янин Синь-Зянь Уйгурского автономного округа КНР.

Имея площадь 715 км², он характеризуется значительной эпитеpмальной минерализацией, приуроченной к окраинно-континентальной магматической дуге нижнекаменноугольного периода. Многочисленные проявления минерализации золота и некоторых других основных металлов (Ag-Pb-Zn) встречаются в пределах всей территории.

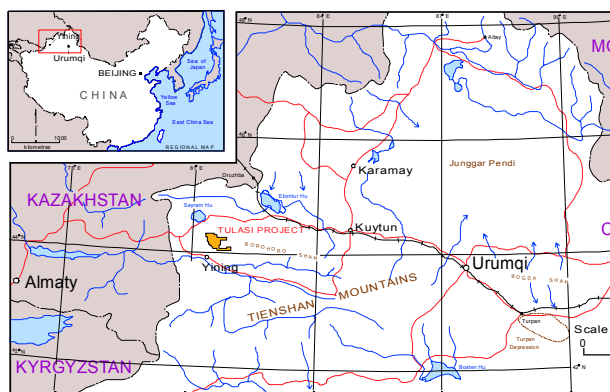


Рисунок 1. Обзорная карта района Уйгурского автономного округа КНР

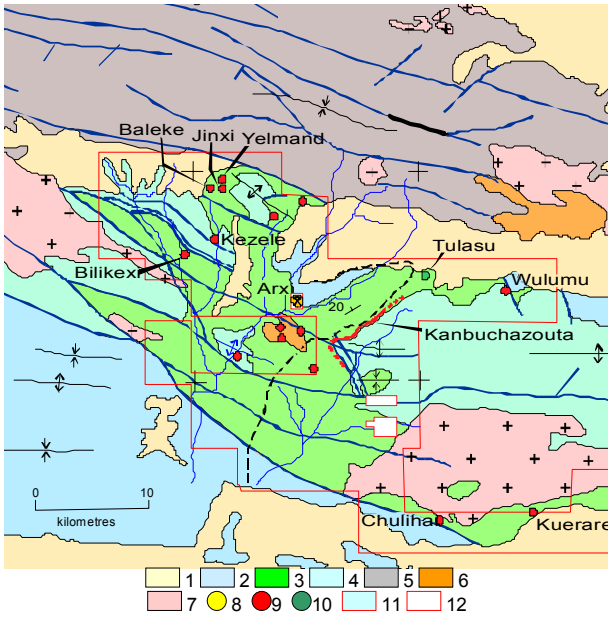
На двух участках, удаленных от проектной площади, ранее были обнаружены крупные залежи сульфидной эпитеpмальной минерализации, известные как месторождение золота Аркси и перспективная золоторудная территория Товербек. По нашему мнению, единственной признанной низкосульфидной эпитеpмальной системой была жила Туласи, богатая основными металлами (Ag-Pb-Zn), но небогатая золотом. Большинство известных участков минерализации представляют высокосульфидный эпитеpмальный тип. Одним из них является перспективная территория Джинкси, имеющая обширные зоны минерализации с низким содержанием

золота (мощностью в десятки метров с вероятным увеличением по глубине >1км). Минерализованы маломощные наклонно падающие кластические породы, в основном конгломераты и песчаники, залегающие над серией карбонатных пород ордовикской и девонской систем, а также под их фельзитовыми пирокластическими породами. Большая проницаемость кластических пород способствовала проникновению гидротермальных флюидов вдоль этого горизонта. В виду ограниченности выхода минерализированных пород на перспективной площади Джинкси было проведено детальное картирование, наземная магниторазведка, электроразведка методами вызванной поляризации и заряда, алмазное бурение. Выполненные исследования показали, что минерализация является обширной и, вероятно, охватывает территорию свыше 14 км² при размере наиболее обогащенной части 1,5км на 1 км.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА Стратиграфия бассейна Туласи

Районы значительной золоторудной минерализации в Туласи связаны со свитой фельзитов раннекаменноугольной системы и прослоями смешанных вулканических пород. На рисунке 2 показаны эти и другие основные толщи горных пород.

Район с сохранившимися вулканитами, известный как бассейн Туласи, занимает обширную территорию эллиптической формы, вулканиты имеют несогласный контакт с коренными породами, выходящими на востоке, западе и юге. На описываемой территории встречены породы протерозоя, палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Формация Дахалажуншан позднекаменноугольного возраста, характеризующаяся значительной минерализацией золота, делится на пять подразделов. Породы позднего палеозоя, сформированные в период консолидации океанических и континентальных отложений в Центральной Азии, известны как разнообразные элементы Алтаид (Сенгор и др. 1993).



1 - четвертичный лесс, грунт; 2 - ранний и средний карбон (осадочный чехол); 3 - Дахаладжуншанская формация раннего карбона (фельзитовые вулканиты среднего состава, базальтовые кластические породы); 4 - палеозойское основание среднего девона (известняковые конгломераты), среднего силура (обломочные породы, известняк), ордовика (известняк); 5 - протерозой; 6 - порфир; 7 - гранит; 8 - золоторудный прииск; 9 - разведка золота; 10 - разведка комплекса металлов; 11 - лицензионная площадь 1999 г., за исключением участков 12.

Рисунок 2. Геологическая карта

В районе Туласи встречается несколько субвулканических интрузий, таких как плагиоклазный андезит и андезитовый дацит [Yikarxia, (XiGeAXia)], красноватые гранитные порфириды и дациты, роговообманковые дацитовые порфириды [Arpindi, (AbiYin)]. В районе обнаружены дайки кислого, среднего и основного состава. Эпикластические породы формации Аркелехо представляют собой покровные формации, не связанные с формацией Дахаладжуншан. Породы в основании формации Аркелехо представлены полимиктовыми конгломератами с выраженной слоистостью и очень слабо деформированными. Это может указывать на перерыв в осадконакоплении или на кратковременное поднятие в раннекаменноугольном периоде. В этих породах отсутствует минерализация и изменения, связанные с минерализацией, которые можно наблюдать на стенках открытого карьера по добыче золота Аркси. Большая часть территории покрыта лессом.

Геологическое изучение

Район Туласи расположен в месте пересечения дугообразной структуры с основными параллельными разломами ЗСЗ-СЗ простирания и нормальным разломом ССВ-СВ простирания, которые определяют рельеф района. В геологическом разрезе можно увидеть, что вблизи этого пересечения существует разлом ЗСЗ направления и множество разветвленных разломов, имеющих СЗ простирания. Нормальные сбросы дугообразной структуры представляют разломы со сдвигом, которые обновлялись в период тектонической деятельности. Наблюдения за распространением и разнообразием типов минерализации в

бассейне интересны тем, что указывают на наличие больших гидротермальных изменений субвулканических магматических пород.

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

На территории Туласи ранее проводилось большое количество изысканий, выявивших различные виды магматических гидротермальных изменений, связанных с дугообразной структурой. В частности, здесь установлены три вида эпитермальной минерализации.

Низкосульфидное эпитермальное золото (например, Аркси, Арпинди). Это серия жил северного простирания, включающая жилы халцедонового и кварцевого состава, а также жилы, сложенные гидротермальными брекчиями и окаймляющие жилы с колломорфным кварцем. В боковых породах отмечаются адулярные и серицитные метаморфические изменения. Золото встречается в чистом виде и в ассоциации с пиритом.

Низкосульфидный эпитермальный металл на основе серебра (например, Туласи). Это серия жил северного простирания, сложенных брекчиями, богатыми серебром и основными сульфидными металлами, включая галенит, сфалерит и халькопирит. Некоторые из жил ранее разрабатывались из-за свинца.

Высокосульфидное эпитермальное золото (например, Джинкси). Исследования проведены командой, в которой работает автор данной статьи. Исследования показали, что изученные системы обладают более нейтральным водородным показателем, чем многие представители класса высокосульфидных месторождений. Обычно обсуждаемые системы встречаются по периферии бассейна Туласи, сложенной кластическими отложениями на границе раздела подстилающих карбонатных пород и перекрывающих вулканитов среднего состава формации Дахаладжуншан. Поэтому они представлены пластами пологого падения. Минерализованные породы имеют высокое содержание кремния и вторичных глин, в основном каолинитовых и диккитовых. Содержание сульфидов, обычно пирита, в минерализованной породе обычно <1%. Минерализация золота, вкрапленного в окремненные породы, обычно имеет небольшое содержание (менее 2г/т). Обнаженность пород на дневной поверхности сильно зависит от ландшафта.

ДЕТАЛЬНАЯ РАЗВЕДКА

Рекогносцировочное картирование

Рекогносцировочное картирование проводилось на всей проектной территории, но с акцентом на приоритетные участки. В основном проводилось точечное картирование (GPS waypoints), которое, однако, не привело к созданию уточненной геологической карты для всей территории. Детальная геологическая карта была создана непосредственно для территории изысканий Джинкси, которая приведена на рисунке 3.

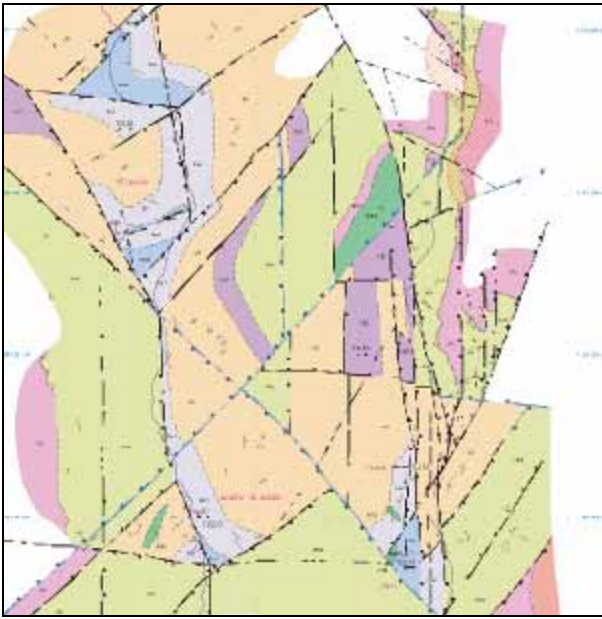


Рисунок 3. Геологическая карта района разведочных работ по проекту Туласи

Алмазное бурение

В 2000 г проведено алмазное бурение скважин. Сведения о них даны в таблице 1, из которой видно, что на участке Джинкси было пробурено 8 скважин (TULD001-008) общим объемом 1741.41 м. Из них 7 скважин встретили породы с хорошей минерализацией золота и измененными породами. Скважины дали также хорошее представление о стратиграфии разреза

Результаты бурения показали, что вкрапленное золото связано с окремненными породами. Редко встречаются жилы кварца, формирующие штокверк. Гидротермальные брекчии встречаются повсеместно, особенно вблизи крутых поперечных разломов. Зоны нарушения с мелкозернистыми гранитами часто расположены в окварцованных частях разреза. Содержание золота в целом низкое (меньше 2 г/т) и относительно однородное, лишь отдельные образцы содержат >5 г/т. В скважине TULD003 пересечен интервал 139 м с содержанием золота 2.01 г/т и 7 – метровый интервал с высоким содержанием золота - 8.40 г/т, связанный с зоной сбросового нарушения (Рис. 4). Вероятно, это связано с узкой зоной, относящейся к крутому сбросу С-Ю простирания в южной части Джинкси.

Таблица 1: Расположение и детали алмазного бурения в Джинкси

Номер скважины	Восточное	Северное	Высота	Азимут	Угол наклонения	Глубина(м)	Линия ВП
TULD1	541910	4907900	1768	90	60	302.58	13
TULD2	541973	4908164	1805	270	45	138	16
TULD3	541923	4908164	1809	90	60	311.58	16
TULD4	541960	4907855	1760	90	56	203.48	12-13
TULD5	541815	4908511	1833	90	60	182.48	19
TULD6	541325	4908012	1655	238	70	171.18	14
TULD7	541322	4908010	1655	90	68	215.58	14
TULD8	541078	4909205	1779	100	65	215.48	26

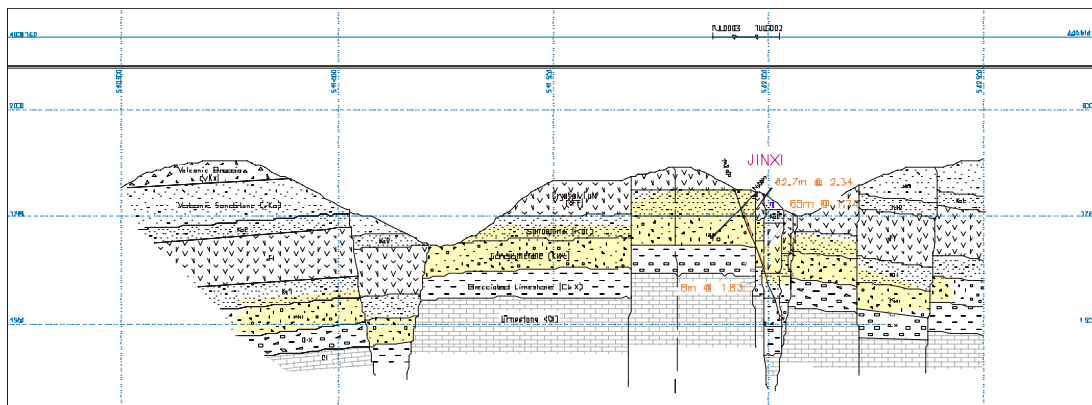


Рисунок 4. Пример геологического разреза, построенного по скважинам

Геофизические работы

В течение 1998, 1999 и 2000 гг. были собраны данные наземной магниторазведки и ВП. Первостепенное внимание уделялось сбору региональных данных для обширного пространства с целью литологической характеристики территории. В последние годы особое внимание уделяется разведке с бурением скважин.

Рекогносцировочная наземная магниторазведка.

Для получения магнитных данных был использован магнитометр Геометрикс Г858, подключенный к дифференцированной глобальной системе позиционирования Тримбл. Применение системы Тримбл позволило определять место съемки в реальном времени с точностью до одного метра, тем

самым, исключая необходимость в предварительной разбивке профилей наблюдения.

Форма залегания месторождений эпитермального золота зависит от присутствия промежуточной и фельзитовых интрузий, а также интрузий со структурой, которая содействует переносу и оседанию полезных золотоносных ископаемых из гидротермальных растворов. Это предполагает, что магнитные данные являются идеальным геофизическим инструментом для определения магнетитсодержащей интрузии, а также для картирования структурных неоднородностей. Из-за отсутствия данных аэросъемки было решено собирать данные, применяя наземные технологии. Обычно данные собираются по регулярной сетке, однако сложная топография района сделала работу трудоемкой. Было решено применить программу с помощью которой полевая команда собирала данные вдоль топографических контуров (высотных изолиний рельефа). Это позволило охватить большую территорию и быстро получить данные для основных районов исследования. Информация была получена вдоль профилей общей длиной около 740 км. На рисунке 5 приведен общий характер магнитной интенсивности, полученной в результате проведения рекогносцировочной наземной магниторазведки.

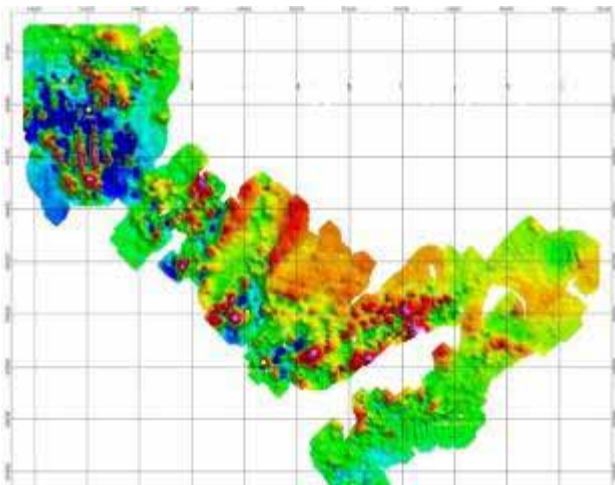


Рисунок 5. Результаты наземной магниторазведки

Метод вызванной поляризации (ВП)

Исследования методом ВП проведены для поиска вкрапленных сульфидов (аномалии поляризуемости) и окварцевания (аномалии электрического сопротивления), поскольку оба эти явления связаны с минерализацией золота на территории Туласи. В период с 1998 г. по 2000г. применены такие различные модификации ВП как дипольное профилирование, метод заряда и вертикальное профилирование ВП

Дипольное профилирование: размер установки $a=100\text{м}$, $n=1...6$. Шаг наблюдения 100 м в 1998 - с аппаратурой GDP-16 и 50 м в 1999 г. - с аппаратурой ЭИН, изготовленной в Казахстане. Оба вида этой аппаратуры применялись в исследованиях на про-

филе 24. Форма, местоположение, амплитуда выявленной аномалии почти совпали.

Вертикальное профилирование методом ВП: питающий электрод размещался поочередно в пяти направлениях от устья скважины - восточном, северном, южном, западном и у устья скважины TULD003. Размер измерительной установки $MN=10\text{м}$, шаг наблюдений по скважине 5м.

Метод заряда: один питающий электрод был установлен на глубину 270 м. в скважине TULD003, а другой - на значительном удалении от устья скважины на поверхности. Амплитуда и фаза измерены градиентной установкой, профили наблюдения разбивались через 200 м, шаг наблюдений - 50м и $MN=50\text{м}$.

Аппаратура метода ВП и ее технические характеристики

При исследованиях методом ВП использовано два типа аппаратуры GDP-16 и ЭИН.

GDP-16-система изготовлена в США Инженерно-исследовательской организацией Zong. Мощность передатчика 30 кВт, использованная частота повторения 0,125 Гц, диапазон изменения силы тока от 1 до 8А. Приемнике GDP-16 - восьмиканальный. Он позволяет измерять электрическое сопротивление, ВП (во временной и частотной областях), MMR, CR, CSAMT, TEM (AMT, MT специальная опция). Входное сопротивление 10 МОм. Минимальный измеряемый сигнал $\pm 0.03\text{ мВ}$, максимальное измеряемое входное напряжение $\pm 32\text{ В}$.

ЭИН-система: изготовлена в Казахстане и является очень мощной единицей геофизического оборудования, особенно для исследований методом ВП. Оборудование состоит из приемника и передатчика. Мощность передатчика 6 кВт, частота повторения 0,15 Гц, диапазон изменения силы тока от 1 до 6А. Основные параметры приемника: число каналов 8; диапазон рабочих частот - от 0,004 до 4,88 Гц; диапазон измеряемого входного напряжения - от 0,001 до 1000 мВ, вес приемника не более 15 кг.

Система ЭИН предназначена для проведения измерений методами электрического сопротивления и вызванной поляризации. Было использовано до пяти рабочих частот. Измерения амплитуды проводились на первой гармонике, затем были измерены до четырех двухчастотных фазовых параметров вызванной поляризации по следующим парам сигналов гармоник: первый-третий, третий-девятый, пятый-пятнадцатый и седьмой-двадцать-первый.

Фазовые параметры определялись по формуле:

$$\Phi[m,n] = [m\Phi(n) - n\Phi(m)]/m-n,$$

где m и n номера гармоник и Φ их фаза.

Результаты измерений и их интерпретация

Метод дипольного электрического профилирования. На перспективной территории Джинксы проведены измерения по 16 профилям (от профиля 8 до профиля 36). По результатам 2-D инверсии электри-

ческого сопротивления и данным поляризуемости (представленным на рис. 6) выделена аномалия ССЗ направления от пикета 542500Е профиля 8 к пикету 541000Е профиля 30. Эта аномалия характеризуется высоким удельным сопротивлением и высоким фазовым сдвигом, фиксирует приповерхностные минерализованные окремненные породы. Результаты измерений показывают, что минерализация просле-

живается среди обнаженных пород Джинкси и может распространиться далее. Геологическая интерпретация (обсужденная выше) показывает, что аномалии электрического сопротивления имеют место в районах, где кремневое метаморфическое замещение наблюдается на глубинах порядка 100м от поверхности.

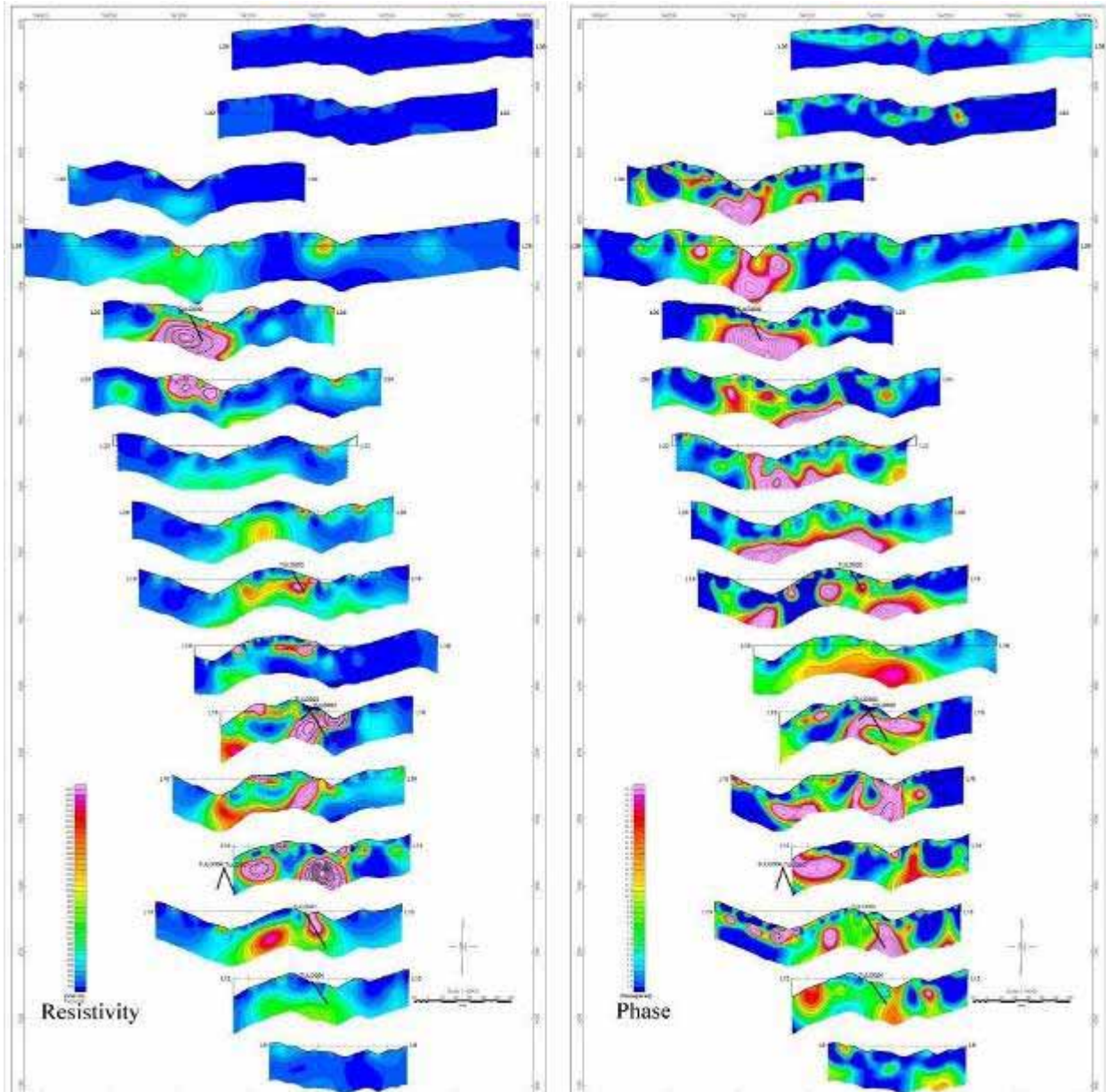


Рисунок 6. Результаты инверсии электрического сопротивления и фазы. Метод дипольного профилирования ВП

Метод заряда. На рисунке 7 приведен план изолиний электрического сопротивления. Видно, что аномалии проявляются в тех местах, где окремненные метаморфические породы распространены у поверхности или близко к ней. Возможно, что некоторые аномалии относятся к участкам, где окрем-

ненные метаморфические породы располагаются на глубине порядка 150м.

Вертикальное профилирование ВП. Результаты измерений с использованием скважины TULD003 для зарядов, расположенных в 5 направлениях - С, В, Ю, З, устье скважины, приведены на рисунке 8. Слои, залегающие на глубине до 200м, являются

золоторудным телом, пересеченным скважиной. Они характеризуются высоким электрическим сопротивлением и высокими аномальными значениями фазы. Слой, на глубине ниже 200м имеет низкое электрическое сопротивление и низкую фазочастотную характеристику. Он соответствует песчанику, характеризующемуся отсутствием метаморфического окремнения. Из анализа полученных геофизических характеристик и геологической информацией, следует, что фазовые аномалии выявляют вкрапленность сульфидов (в основном пирита), а амплитудные аномалии соотносятся с процентным содержанием пирита. Аномалии электрического сопротивления выявляют окремненные породы. Обычно если порода является значительно окремненной, то она характеризуется высоким электрическим сопротивлением.

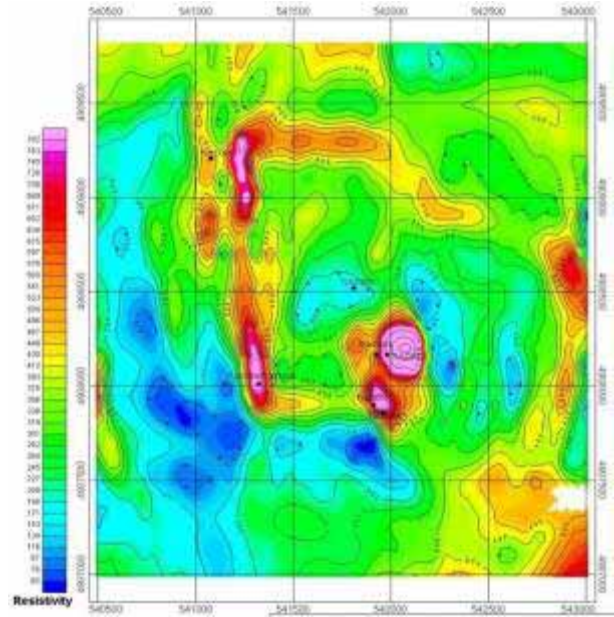


Рисунок 7. Результаты метода заряда в скважине TULD003. Электрическое сопротивление

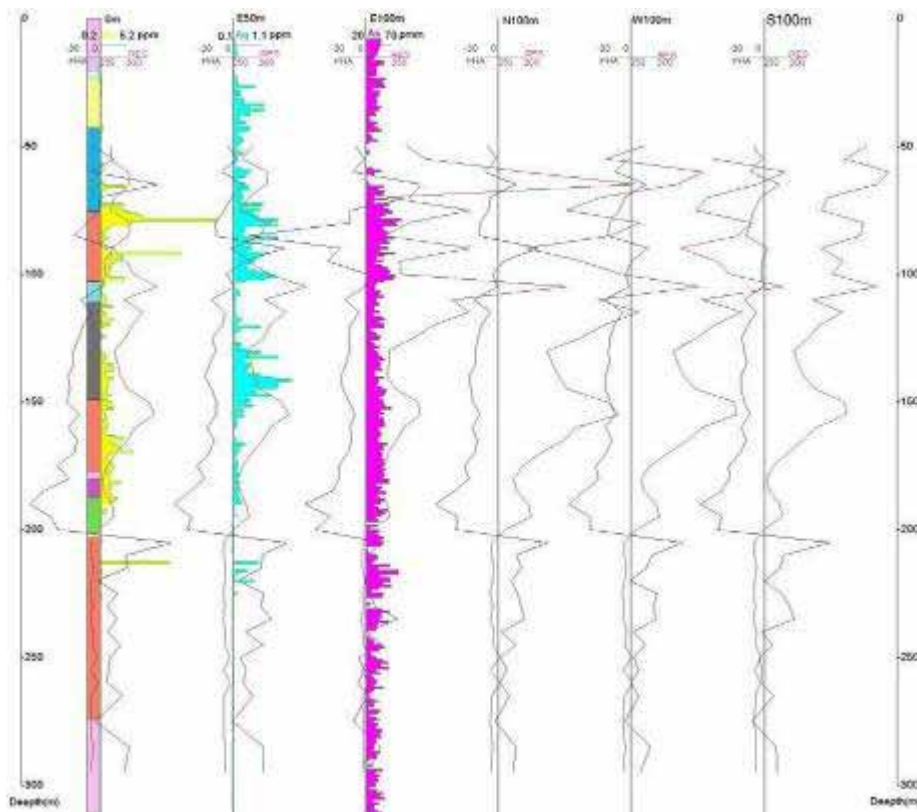


Рисунок 8. Результаты вертикального профилирования ВП в скважине TULD00 при положении питающего электрода в разных направлениях и расстояниях

Из характеристики аномалий ВП на перспективной территории Джинкси следует, что минерализация золота связана с окремнением пород и процентным содержанием сульфидов. Высокие значения фазы ВП и аномально высокие значения электрического сопротивления являются характеристикой

зоны минерализации золота. (Рис. 9-10). Выявленные геофизические аномалии указывают на то, что зона минерализации золота достаточно обширна и, вероятно, продолжается в обнаженных породах, что подтверждается геологическими работами (Рис 3).

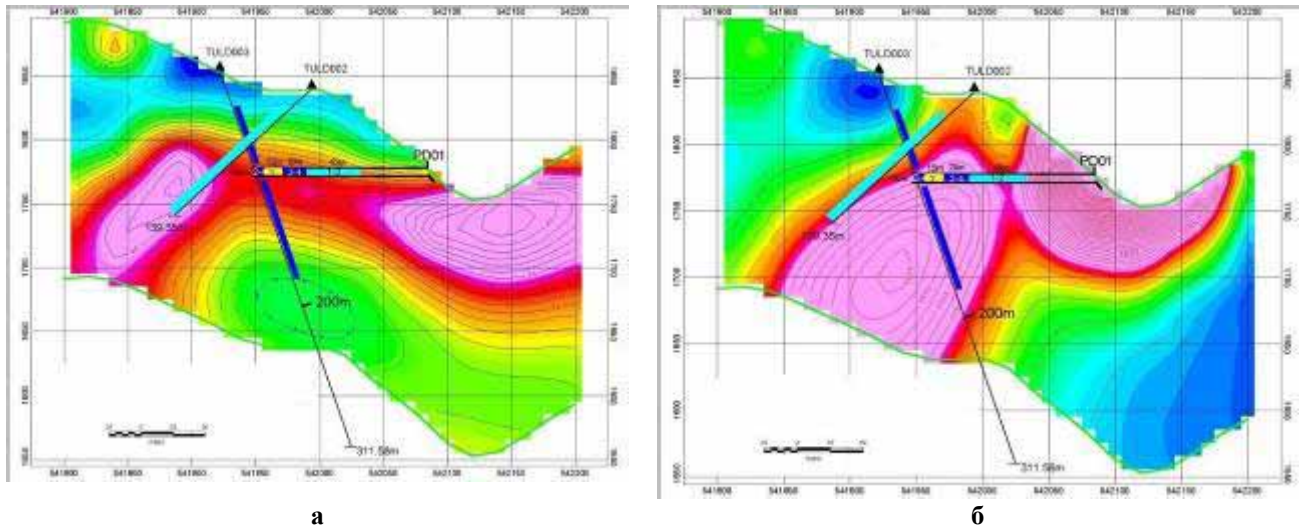


Рисунок 9. Аномалии электрического сопротивления (а) и фазы (б) метода ВП в сопоставлении с содержанием золота

РЕЗЮМЕ

Район Туласи обладает значительной гидротермальной минерализацией, связанной с окраинно-континентальной магматической дугой нижнего каменноугольного периода (9 лицензий на разработку месторождений на территории 715км²). Вулканизм магматической дуги характеризуется составом пород от андезитов и до фельзитов, содержит экзрузивные вулканические породы и их интрузивные эквиваленты. Многочисленные проявления минерализации золота и минерализации некоторых основных металлов (Ag-Pb-Zn) представлены на всей территории.

Отчасти минерализация связана с эпитермальными гидротермальными системами. В двух районах, удаленных от изучаемого района, обнаружены значительные месторождения низкосульфидной минерализации эпитермального типа. Одним из них является месторождение Аркси (с запасами >2 миллионов унций золота), где расположен действующий рудник. Другое месторождение – Тoverбек, еще находится в стадии разработки. По мнению Hua Au JV (Хуа Ау Дживи), единственной признанной низкосульфидной эпитермальной системой, богатой комплексом металлов (Ag-Pb-Zn), но небогатой золотом, была жила Туласи. По мнению Hua Au JV, наиболее распростра-

ненной минерализацией является высокосульфидный эпитермальный тип минерализации. Две перспективные территории Джинкси и Кандучазота обладают обширными зонами с низким содержанием минерализации золота (мощностью в десятки метров с потенциалом ее увеличения >1км). Минерализацию имеют маломощные падающие кластические породы, в основном конгломераты и песчаники, залегающие над серией карбонатных пород ордовикской и девонской систем, и под фельзитовым пирокластическим подразделами. Большая проницаемость кластических пород способствовала проникновению гидротермальных флюидов вдоль этого горизонта.

Из-за ограниченности обнажений минерализированных пород, на перспективной территории Джинкси было выполнено детальное картирование, геофизические работы методами ВП и алмазное бурение. Эта работа показала, что система минерализированных пород достаточно обширна, вероятно простирающаяся на площади в 14 км² с ядром "обогащенной рудой" 1,5км на 1км. Существуют зоны узкие, менее 10 м шириной, обогащенные минерализацией (>5гр/т) и связанные с крутым разломом С-Ю простираения, где проводится мелкомасштабная добыча полезных ископаемых.

ТАРИХИ ОҚИҒА: АЛТЫНДЫ КЕНОРНЫҢ БАРЛАУЫНДА ШАҚЫРЫЛҒАН ҮЙЕКТЕУ ӘДІСІН ҚОЛДАНУЫ

Лонгпинг Ванг

305 ұлттық жобасы, Ұрымиы, Қытай

Минералдану зоналарын анықтауына мүмкіндік берген геофизикалық зерттеулерінің кешені Джинкси алаңында қолдануының нәтижелері сипатталады. Түбегейлі картаға түсіруі, заряд, шақырылған үйектеу әдісімен жұмыстары, алмастық бұрғылау өткізілген. Шақырылған үйектеу әдісімен зерттеулері сульфидтердің және кварцтануын анықтауына бағытталған. Минералдану аумағы шамасы 14 км² болуы анықтауға сәті болды.

HISTORY CASE: EXPLORATION AT GOLD MINE BY INDUCED POLARIZATION

Longping Wang

The National 305 Project Office, Urumqi, China

The results of geophysical research complex used at Jinxi area that allowed to discover numerous mineralization zones with relatively small gold composition are shown in this paper. A detail mapping, mise-a-la-masse method, induced polarization and diamond drilling are described. IP surveys were undertaken on specific prospects to search for disseminated sulphides (chargeability anomalies) and silicification (resistivity anomalies). Both of these are commonly associated with gold mineralization in the Tulasi area. The work indicated that the mineralized system is extensive, possibly extending over an area of 14 km², with a "high grade" core with dimensions of about 1.5 km by 1 km.

СПИСОК АВТОРОВ

Ан В.А., 55	Казаков Е.Н., 78	Овчинников В.М., 55
Аристова И.Л., 46	Кислый Б.И., 88	Пестов Е.Ю., 96
Башилов И.П., 19	Комаров И.А., 9	Политиков М.И., 88
Беляшов А.В., 78	Комаров И.И., 5	Попов В.Б., 88
Беляшова Н.Н., 5	Коновалов В.Е., 96	Распопов Н. Я., 96
Германова Т.И., 46	Кунаков В.Г., 14	Синева З.И., 64
Гринштейн Ю.А., 88	Курсенков А.Б., 59	Смирнов А.А., 14
Дараган С.К., 19	Лонгпин В., 109	Соколова И.Н., 36, 78
Демин В.Н., 5, 14	Марченко В.Г., 5, 9	Солодилов Л.Н., 59
Егоркин А.В., 59	Мелентьев М.И., 88	Тихомиров Л.Н., 5
Жаутиков Т.М., 100	Михайлова Н.Н., 5, 36, 46, 64, 78	Тухвагулин Ш.Т., 5
Жолдыбаев А.К., 88	Неделков А.И., 9	Фомичев В.И., 100
Каазик П.Б., 55	Неделков А.И., 78	Шайторов В.Н., 88
Кабыченко Н.В., 19	Ноулес С., 30	Эльтеков А.Ю., 59

В сборник включены статьи, отражающие содержание докладов, представленных на Симпозиуме «Эксперименты Омега и физика сейсмического источника: влияние подготовки горных пород на результаты мониторинга подземных ядерных испытаний» (4-6 декабря 2001 г., Рестон, США) и 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 на русском языке или в виде электронной копии (на гибком диске или по электронной почте присоединенным (attachment) файлом) в формате MS WORD версий 2, 6, 95, 97 или 2000 для Windows.

Текст печатается на листах формата А4 (210×297 мм) со свободными полями:

сверху25 мм;

снизу25 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.

