

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 2(18), ИЮНЬ 2004

Издается с января 2000 г.

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д.т.н. АРЗУМАНОВ А.А., БЕЛЯШОВА Н.Н.,
к.т.н. ГИЛЬМАНОВ Д.Г., д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р. – **заместитель главного редактора**,
д.г.-м.н. ЕРГАЛИЕВ Г.Х., д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К., КОНОВАЛОВ В.Е., к.ф.-м.н. МУКУШЕВА М.К.,
д.б.н. ПАНИН М.С., ПИВОВАРОВ О.С., ПТИЦКАЯ Л.Д., д.б.н. СЕЙСЕБАЕВ А.Т., к.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П.,
д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Ж.С. – **заместитель главного редактора**, д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Н.Ж.

ҚР-ҰЯЖ

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

2(18) ШЫҒАРЫМ, МАУСЫМ, 2004 ЖЫЛ

NYC IRK Bulletin

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

ISSUE 2(18), JUNE 2004

К статье «Новая сейсмическая группа Акбулак: выбор места размещения, аппаратуры, системы коммуникаций»



1. Полевая рекогносцировка
3. Подписание проекта, представленного Казахстанской стороной
5. Строительство станции
7. Здание на технической площадке

2. Бурение структурной скважины
4. Б. Варум (США) и Н.Беляшова (РК) подписывают Решение о строительстве станции.
6. Построенная ЛЭП
8. Прием данных в Центре данных (г. Алматы)

СОДЕРЖАНИЕ

НОВАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ГРУППА АКБУЛАК: ВЫБОР МЕСТА РАЗМЕЩЕНИЯ, АППАРАТУРА, СИСТЕМА КОММУНИКАЦИЙ.....	7
Тейнор Л., Кемерайт Р., Адаир К., Беляшова Н.Н., Марченко В. Г., Неделков А.И., Комаров И.И., Кунаков А.В.	
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ.....	15
Михайлова Н.Н., Синёва З.И.	
РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНОК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ.....	22
Старовойт О.Е., Краев Ю.А., Габсагарова И.П.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО КАЛИБРОВКЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ТРАСС В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И АЛТАЕ-САЯНСКОМ РЕГИОНЕ.....	30
Глинский Б.М., Еманов А.Ф., Ковалевский В.В., Соловьев В.М., Хайретдинов М.С.	
НЕЛИНЕЙНЫЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	37
Хайретдинов М.С., Родионов Ю.И., Седухина Г.Ф.	
К ИСТОРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ.....	42
Васильев А. П.	
СОПОСТАВЛЕНИЕ ДОПЛЕРОВСКИХ ПОРТРЕТОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ: ИЗУЧЕНИЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ.....	48
Краснов В.М., Дробжева Я.В., Соколова О.И.	
ДИНАМИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА КАНАЛОВ ИНФРАЗВУКОВОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ IS31-АКТЮБИНСК	55
Кунаков В.Г., Мартысевич П.Н.	
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРИЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ.....	61
Шепелев О.М., Ермоленко Н.А., Болгов В.П.	
ОБ ОПЫТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЕ «БОРОВОЕ».....	67
Эльтеков А.Ю., Столяров О.А., Базина З.П., Бреднев С.П., Слепцов В.И.	
ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛОКАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ	72
Хайретдинов М.С., Клименко С.М.	
ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГО–СТРУКТУРНОЙ ОБСТАНОВКИ ВОКРУГ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА МЕТОДОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ.....	78
Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н.	
ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННОЙ ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ НЕДР СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА.....	84
Горбунова Э.М.	
FE02 AND VISUAL OBSERVATION FOR A CTBT OSI	91
Feihong Kuang	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА-2002 В РАМКАХ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ	96
Беляшов А.В., Шайторов В.Н., Политиков М.И., Дроздов А.В., Синева З.И., Тореев В.Ю., Эдомин В.И., Шелехова О.Х., Сагарадзе Д.А., Гвоздарев Ю.К., Мюрде Р.	

ПАССИВНАЯ СЕЙСМОМЕТРИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ: ЭТАП ПОИСКА И ЭТАП ЛОКАЛИЗАЦИИ СОБЫТИЯ.....	114
Каплан Ю.В., Шилина Г.В.	
ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА	120
Сагарадзе Д.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВКИ ARIX-3F И ЕЕ ИСПЫТАНИЕ В РАЙОНЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС	127
Попов Ю.С., Преловский В.В., Дубасов Ю.В.	
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОИЗОТОПОВ КСЕНОНА ПО СХЕМЕ β-γ-СОВПАДЕНИЙ В КОМПЛЕКСЕ ARIX-3F ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ.....	130
Попов В.Ю., Рыков Ю.М.	
ПОЛУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ $^{133,131}\text{Mx}$Е ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПО ИЗМЕРЕНИЮ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ В ЗАДАЧАХ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ	133
Попов В.Ю., Казаринов Н.М., Преловский В.В.	
АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ ФГУ НПП «ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА» ДЛЯ РЕШЕНИЯ РАДИОЭКОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ	136
Мац Н.А., Степанов И.В., Хайкович И.М.	
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА НА БАЙКАЛЬСКОМ ПРОГНОСТИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ	143
Неведрова Н.Н., Эпов М.И.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ В ИНТЕРЕСАХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА	150
Азметов Р.Р., Григорьев В.А., Знаменщиков Б.П., Московенко В.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЩНЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ	156
Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Соловьев В.М. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В.	
ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО ДАННЫМ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ОТ АФТЕРШОКОВ	162
Лисейкин А.В., Соловьев В.М.	
СБОР ДАННЫХ ИСТИНЫ ЗЕМЛИ О ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВАХ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМОЙ МОНИТОРИНГА.....	167
Эльтеков А.Ю., Гордон В.Р., Фирсов В.А., Червяков В.Б.	
ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА МАССОВЫХ КОРОТКОЗАМЕДЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ	171
Кишкина С. Б.	
IMAGING OF SEISMIC RUPTURE: SOURCE INVERSION, EARTH-ATMOSPHERE GROUND COUPLING	179
J. Guilbert, M. Vallee, A. Le Pichon, J. Vergoz	
СТРУКТУРА АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ	186
Еманов А.А., Лескова Е.В.	
НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ, ДОННЫХ ОСАДКАХ И В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА	192
Белянин В.И., Титов Д.В., Жакупов С.Т.	
МОНИТОРИНГ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ИСПЫТАТЕЛЬНОМУ ПОЛИГОНУ	195
Тулеубаев Б.А., Рамазанов Ж.Р., Аскаров Е.В.	

УДК 550.34 (574.13)

**НОВАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ГРУППА АКБУЛАК: ВЫБОР МЕСТА
РАЗМЕЩЕНИЯ, АППАРАТУРА, СИСТЕМА КОММУНИКАЦИЙ**¹Тейнор Л., ²Кемерайт Р., ¹Адаир К., ³Беляшова Н.Н., ³Марченко В.Г., ³Неделков А.И., ³Комаров И.И., ³Кунаков А.В.¹*Корпорация технологических решений Honeywell, Тайтусвилл, США*²*Корпорация командных технологий, США*³*Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*

В течение 2002-2003 гг. на территории Западного Казахстана проведен комплекс работ по выбору места размещения, строительству и вводу в опытную эксплуатацию новой сейсмической группы Акбулак. В статье приводятся краткие физико-географические и геологические сведения о месте размещения, характеристика сейсмической группы - конфигурация, аппаратное оснащение, система коммуникаций с Центром данных

ВВЕДЕНИЕ

В целях контроля за соблюдением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) в Западном Казахстане (в восточной части Актюбинской области), размещена новая сейсмическая группа, получившая имя по названию местности - «Акбулак».

Строительству новой сейсмостанции предшествовали работы по выбору места ее размещения, которые включали несколько этапов в соответствии с рекомендациями ОДВЗЯИ [1,2]. На первом этапе по геологической карте Казахстана сделан выбор нескольких альтернативных мест потенциального размещения станции. На втором этапе проведены рекогносцировочные работы на местности с целью определения мест для изучения фоновых сейсмических шумов (осмотр участка, определение инфраструктуры, предварительное изучение геологического строения района). Третий этап включал в себя полевое изучение на выбранных альтернативных участках сейсмических шумов инструментальными сейсмометрическими методами. На четвертом этапе проведена камеральная обработка полученных сейсмических данных, рассчитаны спектральные характеристики шума и его суточные вариации, выполнен анализ всего комплекса полученных данных, начиная с рекогносцировочных работ. Пятый этап включал отбор и утверждение одного из нескольких альтернативных участков, определение и утверждение конфигурации сейсмической группы. На шестом этапе проведены инженерно-геологические работы на выбранной территории, разбивка сейсмической группы на местности, определение координат элементов группы, разведочное бурение с целью изучения гранитного массива на глубину и обоснования глубины приборных скважин.

Работы по выбору места размещения новой сейсмической группы проводились с мая по ноябрь 2002 г. специалистами Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан (ИГИ НЯЦ РК) и американскими специалистами компаний Air Force Technical Applications Center (AFTAC), «Honeywell» и «Science Applications International Corporation» (SAIC). Обследованы участки на территории в горах Западного и Восточного Каратау (полуостров Мангистау) и в горах

Мугоджары (Южный Урал) [3, 4, 5]. Предварительно было определено 17 альтернативных участков: три - на полуострове Мангистау и 14 - на Южном Урале в Мугоджарах. По результатам геолого-рекогносцировочных работ и изучения сейсмических шумов участок размещения новой сейсмостанции был выбран к востоку от гор Мугоджары на Мугоджарском плато в пределах верхнепалеозойского гранитного интрузива. Конфигурация сейсмической группы определена по аналогии с уже действующими группами на юге (Каратау) и востоке (Маканчи) Казахстана. В октябре 2002 г. на участке проводились инженерно-геологические изыскания, которые включали геологическую съемку, бурение 5 разведочных скважин (в предполагаемых местах размещения приборных скважин 1, 6, 7, 8, 9). В 2003 г. проведены работы по строительству и вводу сейсмостанции «Акбулак» в опытную эксплуатацию. С января 2004 г. данные, получаемые сейсмостанцией, стали в непрерывном режиме передаваться в Центр данных ИГИ НЯЦ РК (г. Алматы), в Национальный Центр Данных США (Флорида) и включаться в совместную обработку с данными других станций.

Открытие станции «Акбулак» является важным звеном системы сейсмического мониторинга, создаваемой в последние годы в Казахстане.

**ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ
ПОЛОЖЕНИЕ СЕЙСМОСТАНЦИИ «АКБУЛАК»**

Сейсмостанция «Акбулак» располагается в Ай-тикебийском районе Актюбинской области. Административным центром области является город Актобе, а района - поселок Комсомольское (рисунок 1).

Сейсмостанция расположена вдали от крупных населенных пунктов: г. Актобе находится в 200 км к северо-западу; в 20 км к югу расположен населенный пункт Талдык, в 50 км к западу - населенный пункт Кайракты. На сейсмостанцию можно попасть полевыми грунтовыми дорогами, движение автотранспорта по которым в осенне-весенний период и дождливую погоду сильно затруднено. При движении по полевым дорогам большим препятствием для автотранспорта служат многочисленные русла, промоины и каменистые россыпи.

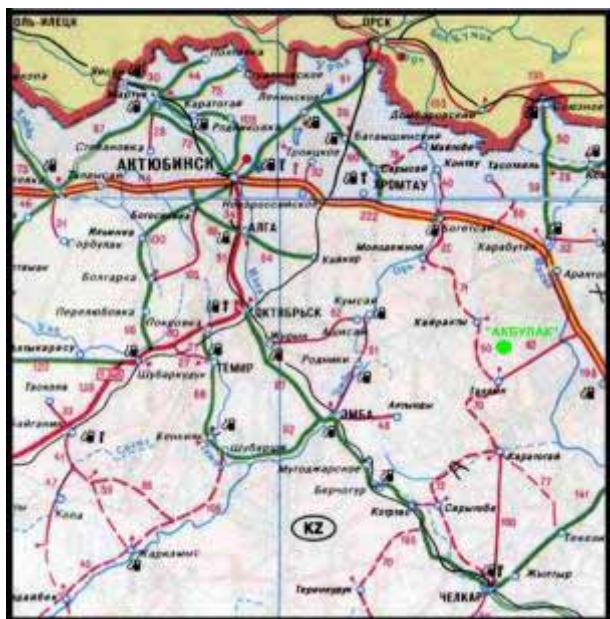


Рисунок 1. Обзорная карта района размещения сейсмостанции «Ақбулак»

Крупными ближайшими промышленными центрами, кроме города Актобе, являются Хромтау и Эмба. В г. Актобе имеется аэропорт, железнодорожный вокзал, ряд промышленных объектов. В г. Хромтау находится крупный горнодобывающий комбинат, который ведет добычу открытым (карьеры) и подземным (шахты) способами и обогащение хрома и никеля. Город Хромтау соединен с г. Актобе автомобильной и железной дорогами. Через г. Эмба, расположенный в 200 км к западу от сейсмостанции, проходит железная дорога Актобе – Алматы. В районе г. Эмба имеются горнодобывающие предприятия, ведущие добычу полезных ископаемых открытым и подземным способами. В западной части Актюбинской области, к западу от гор Мугоджары, ведется интенсивная добыча нефти и газа. В 100 км к западу от сейсмостанции расположен магистральный газопровод Бухара-Урал, который проходит через поселки Богетсай, Молодежное, Коянды (Новогоднее), Сарытобе, Челкар.

Вблизи сейсмостанции и пос. Талдык находятся электроподстанции и линия электропередачи (рисунок 2). Подключение сейсмостанции к электросети произведено на этой подстанции.

В 60 км к востоку от сейсмостанции протекает река Иргиз, которая имеет постоянный водоток. Ширина реки колеблется от 5 до 60 м, глубина от 0,2 до 4 м, скорость течения порядка 0,1 м/сек, дно преимущественно песчаное. Берега, как правило, имеют высоту 2 – 5 м, местами обрывистые. В 5 км к северу от сейсмостанции протекает река Кайракты, которая является западным притоком реки Иргиз. Полноводной река бывает весной (апрель – начало июня). Летом река Кайракты местами пересыхает, вода остается круглый год лишь на плесах, имеющих ширину 20 м, длину до 100 м и глубину более 2 м. Берега крутые, местами высотой до 10 м. В 18-20 км к югу от сейсмостанции протекает река Балаталдык, которая восточнее пос. Талдык впадает

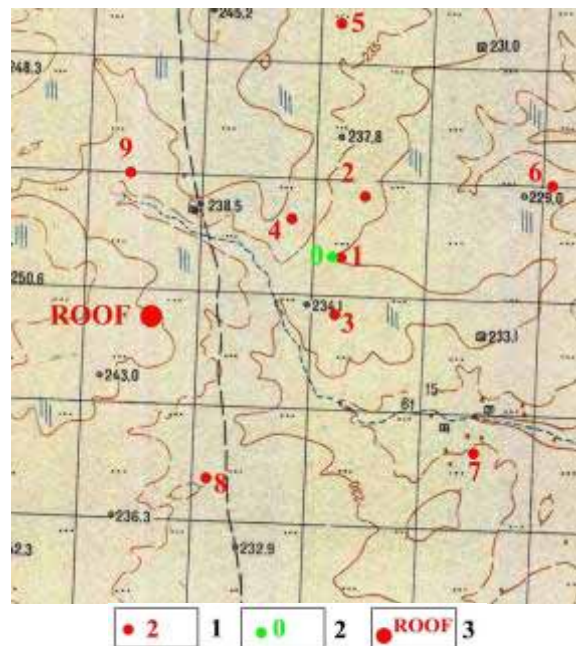
в реку Улыталдык, являющуюся западным притоком реки Иргиз. По своей гидрографии реки Балаталдык и Улыталдык аналогичны реке Кайракты.



Красный контур - площадь, на которой
расположена сейсмическая группа

Рисунок 2. Обзорная топографическая карта с местом расположения сейсмостанции «Акбулак»

На топографической основе (рисунок 3) показано размещение сейсмостанции «Акбулак» - схема расположения приборных скважин и технической площадки (ROOF).



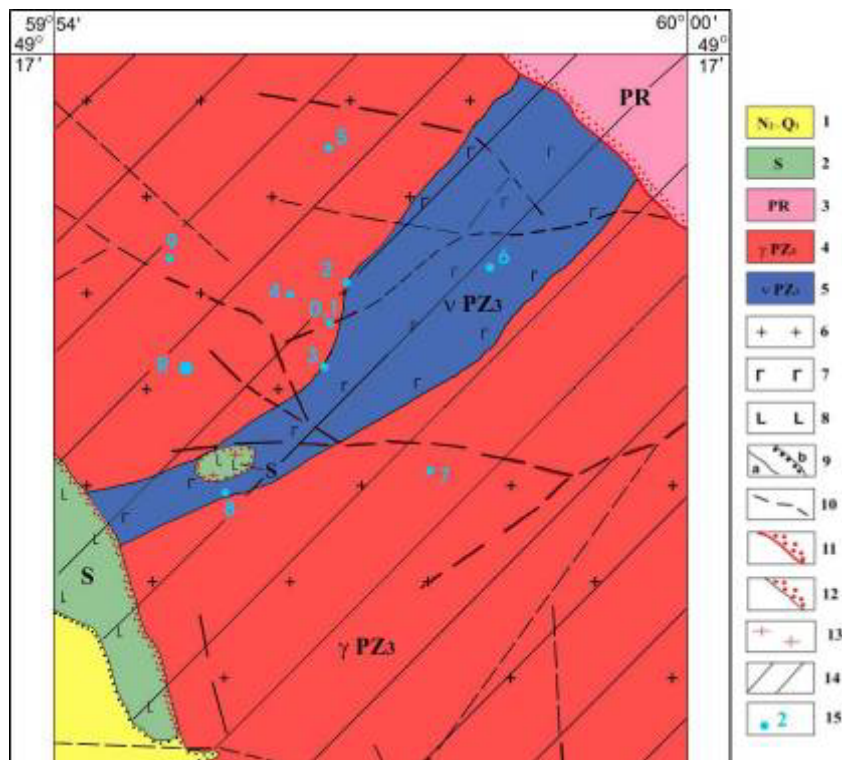
Места расположения: 1 - приборных скважин (ABK 01-09);
2 –приборной скважины для трехкомпонентного сейсмометра (ABK31); 3 –технической площадки

Рисунок 3. Топографическая карта участка размещения сейсмостанции «Акбулак»

Как видно из рисунка 3, рельеф территории, на которой размещена сейсмостанция, представляет собой изрезанную равнину, имеющую общее повышение на запад, что повлияло на выбор места для технической площадки в западной части территории. Рельеф прорезают две сухие балки - Карпактас и Акбулаксай (в 1-1,5 км к югу от станции), обе они в весеннее время заполняются водой или сильно увлажняются. На выбранной территории преобладают суглинистые и щебенисто-суглинистые грун-

ты, развита полупустынная растительность (ковыль, небольшие кустарники карагайника), в балках, в поймах рек – луговая растительность, камыш, ивовые кустарники.

В геологическом отношении участок сейсмостанция «Акбулак» располагается (рисунок 4) в пределах южной части Акбулаксайского гранитного массива, верхнепалеозойского возраста (γ PZ3).



1 - Верхний плиоцен-нижнечетвертичные отложения, нерасчленённые. Глины гипсоносные, пески, известняки; 2 - Силурийская система. Диабазовые порфириды; 3 - Протерозой. Гнейсы бластоносаммитовые, амфиболиты, милониты, кварциты, кристаллические сланцы; 4 - Верхнепалеозойские интрузии. Граниты биотитовые, крупнозернистые; 5 - Верхнепалеозойские интрузии. Габбро-диабазы; 6 - интрузивные породы кислого состава, граниты; 7 - интрузивные породы основного состава, габбро-диабазы; 8 - эффузивные породы основного состава. Диабазовые профиты; 9а - геологическая граница, 9б - граница несогласного залегания отложений; 10 - предполагаемые разрывные нарушения; 11 - линия тектонического контакта и ореол контактового метаморфизма; 12 - зона ороговикования; 13 - гранитизация; 14 - кора выветривания; 15 - места размещения приборных скважин

Рисунок 4. Геологическая карта участка размещения сейсмостанции «Акбулак»

Массив плохо обнажен, с поверхности его породы перекрыты суглинистыми отложениями. По гранитам и вмещающим породам развита мезозойская кора выветривания. Коренные граниты обнажаются в южной части участка вблизи и в русле балки Акбулаксай, в русле балки Карпактас, вблизи пунктов приборных скважин 7 и 9. Коренные граниты хорошо обнажены также к северу от площадки в долине реки Кайракты. Плохая обнаженность территории обусловила бурение в 2002 г. разведочных скважин для уточнения геологического строения территории и обоснования глубины заложения приборных скважин.

Разведочные скважины пройдены в пунктах расположения приборных скважин 6, 7, 8, 9 - на периферии участка, и в пункте расположения приборной скважины 1 - в центре участка. Всего пробурено 5 разведочных скважин с отбором керна. Выполнена геологическая документация керна по каждой сква-

жине и его фотографирование. Проведена также поверхностная геологическая съемка для уточнения границ гранитного интрузива и вмещающих пород. По результатам разведочного бурения и геологической съемки составлена схематическая геологическая карта территории размещения станции масштаба 1:50 000 на основе материалов «Геологической карты СССР масштаба 1:200000», на которой уточнены мощность и строение мезозойской коры выветривания, перекрывающей коренные граниты, получено представление о глубинном строении гранитного массива.

В мае - августе 2003 г. на изученной территории пробурено 10 приборных скважин для размещения приемников сейсмической группы «Акбулак». Коды, координаты и относительное расположение этих скважин, а также расположение технической площадки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Координаты мест расположения приборных скважин сейсмостанции «Акбулак»

№ п/п	Код скважины	Абсолютная отметка, м	Координаты GPS (система WGS-84)	Глубина скважин, м	Расстояние от приборной скважины	
					до технической площадки, м	до скважины АВК01 (центр), м
1	АВК31 (5 м к западу от АВК01)	232,51	49° 15' 20,0" N 59° 56' 34,9" E	80	1740,4	5
2	АВК01	232,59	49° 15' 20,0" N 59° 56' 35,0" E	80	1732,2	-
3	АВК02	229,54	49° 15' 32,8" N 59° 56' 47,3" E	40	2112,0	550
4	АВК03	234,07	49° 15' 03,8" N 59° 56' 35,0" E	40	1697,5	500
5	АВК04	236,14	49° 15' 28,1" N 59° 56' 13,5" E	40	1445,3	500
6	АВК05	238,94	49° 16' 24,9" N 59° 56' 35,0" E	40	3021,9	2000
7	АВК06	230,93	49° 15' 40,1" N 59° 58' 09,6" E	40	3749,1	2000
8	АВК07	230,0	49° 14' 27,5" N 59° 57' 33,5" E	40	3060,1	2000
9	АВК08	233,85	49° 14' 19,2" N 59° 55' 41,0" E	40	1495,5	2250
10	АВК09	236,78	49° 15' 41,0" N 59° 55' 05,0" E	40	1154,5	2000
11	R (техническая площадка)	241,27	49° 15' 04,1" N 59° 55' 12,4" E	-	-	-

По каждой приборной скважине изучен геологический разрез и составлена геолого-литологическая колонка, содержащая геологическое описание, конструкцию скважины и другие технические данные. Результаты бурения приборных скважин позволили получить дополнительные геологические данные, с использованием которых составлена финальная геологическая карта масштаба 1:50000 (рисунок 4). Как показывает анализ геологической карты, Акбулак-сайский гранитный массив пересекает дайкообразное тело габбро-диабазов, одновозрастное с гранитами, но внедрившееся позднее (при бурении разведочных скважин оно было вскрыто не полностью). Это дайкообразное тело габбро-диабазов, скорее всего, приурочено к разломной зоне. Скважины 8, 3, 2 пройдены по габбро-диабазам вблизи их контакта с вмещающими гранитами, а скважина 3 встретила граниты на глубине 37 м. При проходке этих скважин встречены обводненные горизонты, что говорит о близости контакта габбро-диабазов и гранитов. Скважины 0 и 1 пройдены также вблизи контакта, но в гранитах. Геологические данные, полученные при бурении приборных скважин, показали, что граниты вблизи контакта с габбро-диабазами более разрушены и смяты, чем габбро-диабазы, чем косвенно подтверждается более позднее по времени внедрение тела габбро-диабазов в граниты.

Гранитный интрузив с поверхности перекрыт суглинками бурого цвета с примесью кварцевой гальки. Мощность суглинков неравномерная и колеблется от 0,2 до 1 м. По гранитам и вмещающим породам развиты продукты их химического выветривания. Эти продукты выветривания, называемые некоторыми исследователями древней корой выветривания, связывают с доюрским временем. В современной литературе они известны как мезозойская (МЗ) кора выветривания. Кора выветривания состоит из глинисто-

песчанистых отложений. Глины каолиновые бело-желто-буро-серого цвета с песчанистыми включениями и остатками материнских пород, лимонитизированные. В глинистых отложениях можно наблюдать реликтовую структуру материнских пород. Мощность коры выветривания колеблется от 15 до 45 м. Наиболее выветрелые породы приурочены к зонам тектонических нарушений. Обычно в верхней части разреза наблюдаются глинисто-песчанистые отложения коры выветривания мощностью 5-10 м, далее идет сильно выветрелая измененная трещиноватая материнская порода, переходящая с глубиной в неизменные первичные породы.

Приборные скважины 0, 1, 4, 5, 7, 9 пройдены по гранитам. Гранитный массив состоит в основном из крупнозернистого-среднезернистого розовато-серого, розового до мясо-красного порфировидного микроклинового гранита. Калиевый полевой шпат (микроклин) составляет до 60-70% породы, кислый плагиоклаз (альбит) – 20-25%, кварц присутствует в относительно небольшом количестве, темноцветный минерал (биотит) составляет 2-5%. Приборные скважины 2, 3, 6, 8 пройдены в интрузивных породах основного состава, имеющих мелкозернистую (диабазовую) структуру. Породы темно-зеленого цвета, сильно пиритизированные. Пирит встречается как в кварцевых прожилках, так и в основной массе породы. Скорее всего, это одновозрастные с гранитами габбро-диабазы, которые залегают в виде дайкообразного тела и имеют тектонический контакт с вмещающими их гранитами.

При бурении приборных скважин 0, 1, 2, и 9 на разной глубине пересечены зоны тектонических нарушений: в скважинах 0 и 1 - на глубине 56-60 м; в скважине 2 - на глубине 35-36 м; в скважине 9 - на глубине 15-17 м. При составлении разрезов и по результатам полевых геологических наблюдений

предполагается, что разлом, вскрытый скважиной 1, имеет угол падения $60-70^\circ$ на юго-восток. Этот разлом простирается с юго-запада на северо-восток и проходит через центр участка вблизи приборных скважин 1 и 2, 3 (рисунок 4). Разлом, вскрытый в скважине пункта 9, имеет угол падения $70-80^\circ$, направление падения - на юго-запад.

Грунтовые воды на участке залегают на глубине приблизительно от 1 до 35 м. Вода пригодна для питья, на вкус солоноватая.

КОНФИГУРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ И АППАРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Сейсмическая группа «Акбулак» аналогична по конфигурации двум действующим сейсмическим группам - «Маканчи» и «Каратау», и состоит из 10 точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с общей центральной точкой (рисунок 5). Радиус большой окружности составляет 2 км, малой - 500 м. По большой окружности располагается пять приборных скважин (ABK05 - ABK09), по малой - 3 приборные скважины (ABK02 - ABK04). Глубина этих скважин 40 м. В центральной точке пройдены 2 приборные скважины (ABK01, ABK31) глубиной 80 м. На девяти пунктах в скважинах установлены 9 однокомпонентных вертикальных сейсмометра GS21. Кроме того, имеется одна широкополосная трехкомпонентная

станция с сейсмометром KS54000 (ABK31), установленная в центре группы (таблица 1).

Амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики приборов приведены на рисунке 6 (а, б) - для сейсмометров GS-21 и на рисунке 6 (в, г) - для сейсмометра KS - 54000.

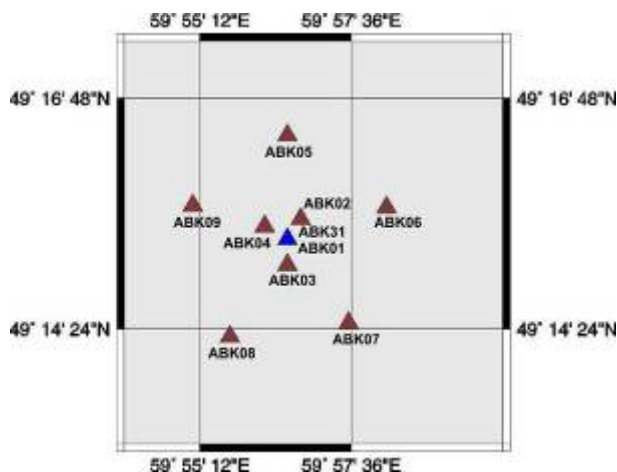
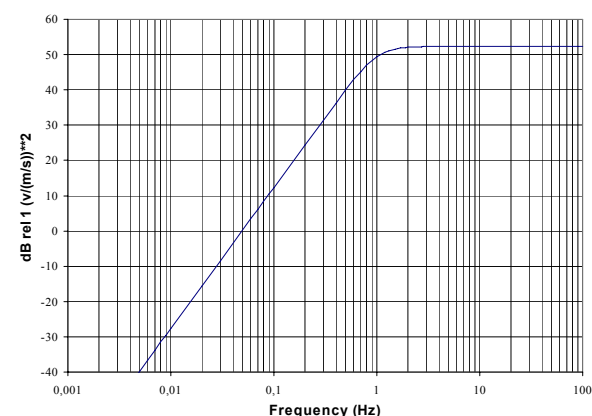
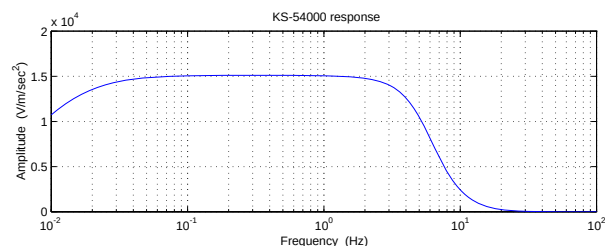


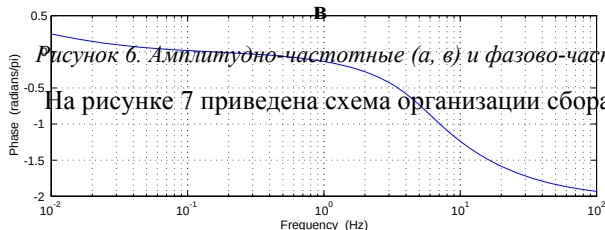
Рисунок 5. Схема расположения сейсмических точек наблюдения



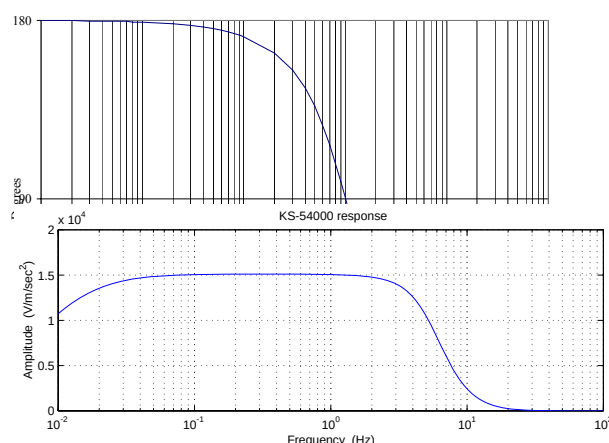
а



в



б



г

Рисунок 6. Амплитудно-частотные (а, в) и фазово-частотные (б, г) характеристики сейсмометров GS-21 и KS-54000

На рисунке 7 приведена схема организации сбора и передачи данных, получаемых станцией «Акбулак».

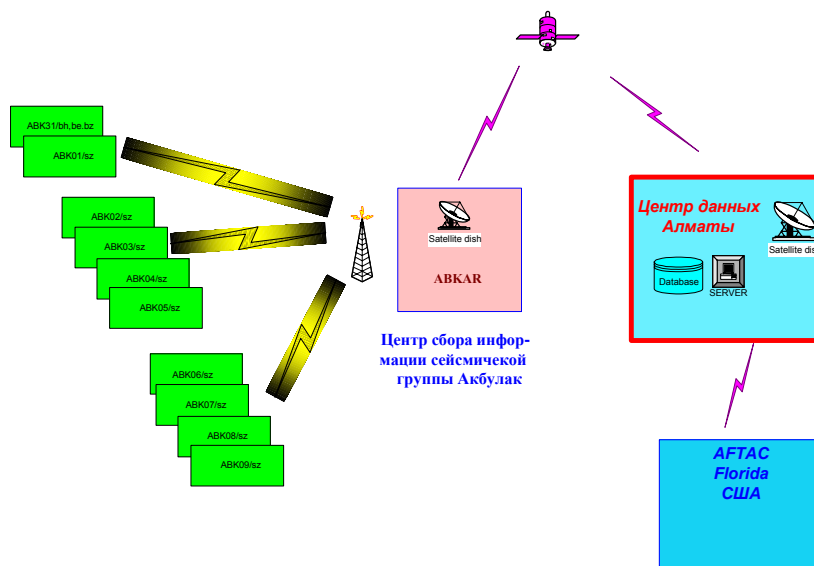
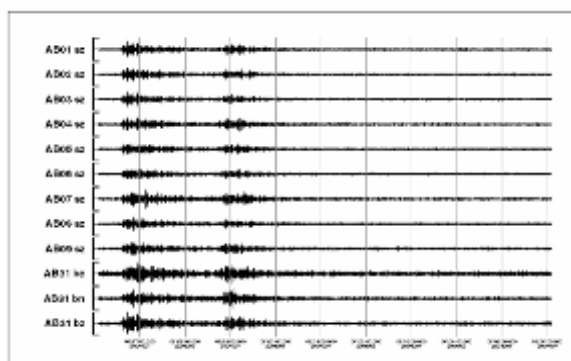


Рисунок 7. Схема организации сбора и передачи данных сейсмической группы «Акбулак»

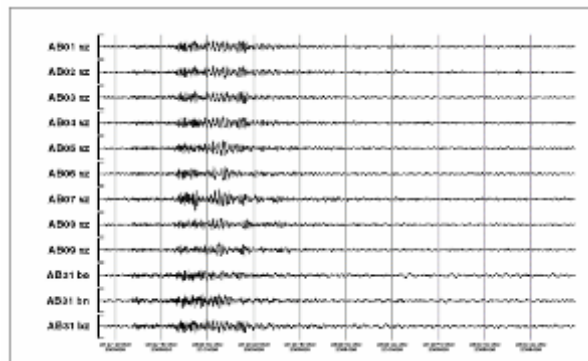
Как видно из приведенной схемы, сбор и оцифровка исходных данных происходят на каждом пункте наблюдений. Затем по телеметрическим каналам связи данные передаются на центральный пункт сбора информации сейсмической группы «Акбулак». Далее, через спутниковый канал, данные поступают в Центр данных (г. Алматы), где установлено коммуникационное и компьютерное оборудование, обеспечивающее сбор, обработку и последующую передачу данных. Это - два компьютера, один из которых выполняет функции приема, трансформации и пересылки данных; второй - является запасным и одновременно выполняет функции управления станцией. Из Центра данных (г. Алматы) данные станции «Акбулак» пересылаются в Национальный Центр данных США (Флорида) в соответствии с действующим Соглашением. Передача данных осуществляется через выделенный спутниковый канал связи, обеспечиваемый компанией AIS engineering Inc. Все процедуры, связанные с изменением конфигурации сети, настройками, калибровкой осуществляются дистанционно из Центра данных (г. Алматы).

Как отмечалось выше, с января 2004 г. данные сейсмостанции «Акбулак» стали включаться в обработку совместно с данными других станций сети НЯЦ РК. К июню 2004 г. станция зарегистрировала более 500 сейсмических событий с магнитудой более 1,5 в Западном Казахстане и на Южном Урале. Абсолютное большинство этих событий – промышленные взрывы. Кроме того, станция регистрирует большое число землетрясений из различных районов Центральной Азии и мира. На рисунке 8 приведены примеры записей сейсмических событий, зарегистрированных станцией Акбулак - землетрясения, произошедшего 07.01.2004 г. в северо-восточной части Каспийского моря (рисунок 8а) и промышленного взрыва, произведенного 29.03.2004 г. вблизи города Хромтау (рисунок 8б).

На рисунке 9 приведена карта эпицентров сейсмических событий вблизи станции Акбулак за первую половину 2004 г.



а



б

Рисунок 8. Запись землетрясения, произошедшего 07.01.2004 г. в северо-восточной части Каспийского моря; б - промышленного взрыва вблизи г. Хромтау (Актюбинская область) 29.03.2004 г.

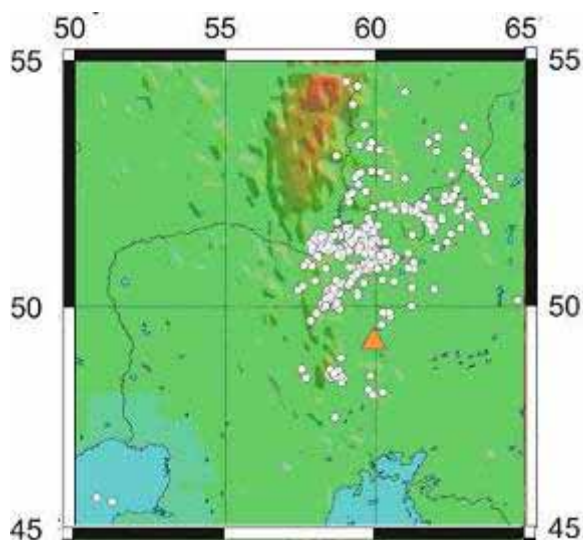


Рисунок 9. Эпицентры сейсмических событий вблизи сейсмической группы Акбулак, зарегистрированных в первую половину 2004 г.

Начаты работы по идентификации сейсмических источников с использованием данных сейсмической группы «Акбулак». Проведены первые расчеты для изучения характеристик сейсмического шума и его суточных вариаций. На рисунке 10 показаны кривые спектральной плотности сейсмического шума дневных и ночных записей. Они построены по медианным спектрам с использованием данных за первую четверть 2004 г. Для этого были отобраны участки записей длиной по 30 минут, на которых отсутствовали сейсмические события (всего по 10 участков днем и ночью).

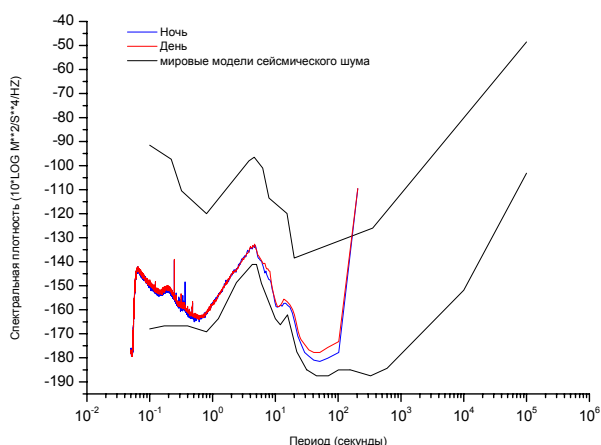


Рисунок 10. Графики спектральной плотности сейсмического шума (дневного и ночного) по вертикальной компоненте сейсмометра KS-54000 станции «Акбулак»

ЛИТЕРАТУРА

1. Requirements for Site Survey for Seismic Stations, 30 September 1997. – Vena: Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization (CTBTO) CTBTO/IV/WGB/1.
2. Неделков А. И. Исследования по выбору площадок для новых сейсмических групп на территории Казахстана // Геофизика и проблемы нераспространения / Вестник НЯЦ РК, 2001. - Вып. 2. - С. 48-54.
3. Рекогносцировочные работы по выбору площадки для размещения новой сейсмической группы (Актюбинская и Мангистауская области РК): Отчет по контракту/ Алматы: ИГИ НЯЦ РК; Автор Неделков А. И., 2002.
4. Joint Report on Candidate Sites for a Seismic Array Near Kaindy, Kazakhstan/Air Force Technical Applications Center; D. A. Clauser, B. V. Nguyen; Kazakhstan National Nuclear Center; A. I. Nedelkov, 09.09.2002. - USA, Florida.

Как видно из рисунка 10, все различия в уровне сейсмического шума относятся к высокочастотной части колебаний ($T < 1,0$ сек) и не превышают 0.5 дБ. В интервале $1.0 < T < 20.0$ сек уровень шума практически одинаков. В диапазоне 0.2 – 0.5 сек отмечаются довольно сильные помехи, которые проявляются как в дневное, так и ночное время. В целом уровень спектральной плотности сейсмического шума по станции Акбулак тяготеет к мировой нижнеуровневой модели шума [6].

Выводы

В течение короткого срока проведен комплекс работ по выбору места размещения, строительству и вводу в опытную эксплуатацию новой сейсмической группы «Акбулак», что является важным для системы сейсмического мониторинга, создаваемой в последние годы в Казахстане.

Станция позволит изучить сейсмичность ранее неизученного в этом отношении района Западного Казахстана и прилегающих территорий. Актуальность этой проблемы особенно возросла в связи с возможными явлениями техногенного характера в районах интенсивной добычи углеводородного сырья.

Конфигурация сейсмической группы, аппаратное оснащение, система коммуникаций с Центром данных соответствуют современному мировому уровню.

Результаты опытной эксплуатации показали, что станция является высокочувствительной по отношению к региональным и телесеismicким событиям. Параметры сейсмического шума близки к нижнеуровневой мировой модели шума, а суточные вариации шума незначительны.

По всем параметрам станция может считаться готовой к вводу в производственную эксплуатацию.

Благодарности. Авторы выражают огромную признательность Д. Расселу, Б. Варнуму и другим представителям Центра прикладных технологий воздушных сил США (AFTAC), а также Л. Тихомирову, главному менеджеру Проекта от НЯЦ РК, руководству которых позволило успешно справиться со сложными задачами при строительстве станции Акбулак. Авторы надеются на такую же успешную работу в будущем.

5. Инженерно-геологические изыскания на участке под строительство сейсмической группы Акбулак: Отчет по контракту/ ИГИ НЯЦ РК; Авторы Неделков А. И., Двойнишников С. М. - Алматы, 2002.
6. J. Peterson Observation and Modeling of seismic Background Noise: Open-File Report 93-322/Albuquerque, New Mexico, 1993. – 42 p.

ЖАҢА СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОБЫ АҚБҰЛАҚ: ОРНАЛАСТЫРУ ОРНЫҢ ТАҢДАУ, АППАРАТУРАСЫ, БАЙЛАНЫС ЖҮЕСІ

¹⁾Тейнор Л., ²⁾Кемерейт Р., ¹⁾Адаир К., ³⁾Беляшова Н.Н.,
³⁾Марченко В. Г., ³⁾Неделков А. И., ³⁾Комаров И.И., ³⁾Кунаков А. В.

¹⁾*Технологиялық шешімдерінің корпорациясы, Тайтусвил, АҚШ*

²⁾*Әмірлі технологиялар корпорациясы, АҚШ*

³⁾*ҚР ҰЯО геофизикалық зерттеулер институты, Курчатова, Қазақстан*

2002-2003 жж. ағымында Батыс Қазақстан аумағында жаңа Ақбұлақ сейсмикалық тобын орналастыру орнын таңдау, құру, пайдалануына енгізу бойынша жұмыстар кешені өткізілген. Мақалада қысқаша физика-географиялық және геологиялық мағлұматтар, сейсмикалық тобының мінездемелері – конфигурациясы, аппаратуралық жарақталуы, Деректер Орталығымен байланыс жүйесі – келтірілген.

A NEW SEISMIC ARRAY AKBULAK: CHOICE OF LOCATION, EQUIPMENT, COMMUNICATION SYSTEM

¹⁾L. Teynor, ²⁾R. Kemerait, ¹⁾K. Adair, ³⁾N.N. Belyashova,
³⁾V.G. Marchenko, ³⁾A.I. Nedelkov, ³⁾I.I. Komarov, ³⁾A.V. Kunakov

¹⁾*Honeywell Technology Solutions Inc., Titusville, USA*

²⁾*Command Technologies Inc., USA*

³⁾*Institute of Geophysical Research, NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

Within the period of 2002-2003 a series of works on construction and commissioning of a new seismic array «Akbulak» at the territory of the Western Kazakhstan had been conducted. The paper contains brief physical-geographical and geological data and characteristics of the array (configuration, equipment, and system of communication with Data Center).

УДК 550.34:621.039.9

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Михайлова Н.Н., Синёва З.И.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Для оценки эффективности сейсмической группы PS23-Маканчи при регистрации близких и удаленных событий применен ряд подходов: построение карт минимальных магнитуд m_b , графиков дальности регистрации, графиков повторяемости сейсмических событий с различными магнитудами. На этой основе установлены уровни представительных магнитуд как для телесеизмических, так и для региональных расстояний, которые свидетельствуют, что сейсмическая группа PS23-Маканчи является весьма эффективной. Установлено, что различным диапазонам расстояний соответствуют различные значения Δm_b , характеризующие переход от предельных минимальных значений магнитуд событий, регистрируемых на данном расстоянии, к магнитудам представительно регистрируемых событий. Выявлены азимутальные различия в чувствительности станции по отношению к событиям из разных зон на одном и том же расстоянии. Это может быть связано как с характеристиками среды вдоль трассы наблюдения, так и с особенностями конфигурации сети в целом.

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть станций сейсмической сети НЯЦ РК представлена сейсмическими группами. Одной из таких групп является первичная станция Международной системы мониторинга PS23-Маканчи. Использование сейсмических групп имеет свою специфику. В традиционной сейсмологии, имеющей дело с 3-х компонентными станциями, для того чтобы более или менее уверенно определить координаты сейсмического события, необходимо, чтобы оно было зарегистрировано, как минимум, тремя станциями. С помощью сейсмических групп координаты события могут быть определены, если событие было зарегистрировано всего лишь одной группой. Таким образом, создание даже одной сейсмической группы позволяет резко повысить эффективность регистрации сейсмических событий во всем регионе.

Сейсмическая группа PS23-Маканчи по своей конфигурации относится к разряду так называемых регионально-телесеизмических групп. Ее апертюра составляет 4 км, что является промежуточным значением между региональными группами (апертюра которых составляет 1–2 км) и телесеизмическими группами (апертюра которых может измеряться несколькими десятками километров). Насколько эффективной является сейсмическая группа PS23-Маканчи, при регист-

рации близких и удаленных событий? Ответу на этот вопрос посвящена данная статья.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ В ОТНОШЕНИИ К ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИМ СОБЫТИЯМ

Станция PS23-Маканчи построена в 2000 г. Ее данные стали использоваться Международным центром данных в Вене (МЦД) при составлении бюллетеня REB (Reviewed Event Bulletin), начиная с февраля 2002 г. Уже с первых недель выяснилось, что PS23-Маканчи — одна из самых чувствительных групп в мире, поскольку, согласно отчетам МЦД, PS23-Маканчи регулярно была в первой тройке сейсмических групп как по общему числу проассоциированных фаз, так и по числу сейсмических фаз, участвующих в локализации событий. На рисунке 1 приведена карта минимальных магнитуд событий из REB, в которых участвовали данные по Р-волне станции PS23-Маканчи. Карта построена следующим образом. Территория земного шара разбита на квадраты, размером 1×1 градус. Из каталога REB за первую половину 2002 г. отобраны события, в которых участвовала Р волна, зарегистрированная станцией PS23-Маканчи.

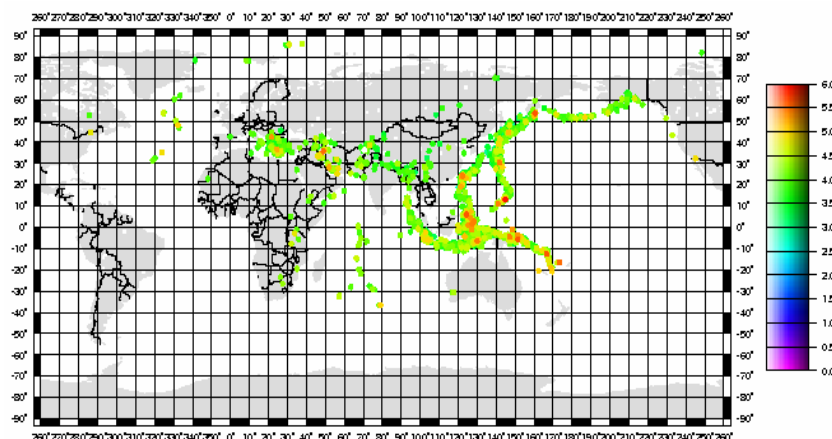


Рисунок 1. Карта минимальных магнитуд событий из REB за первую половину 2002 г., в которых участвовала Р волна, зарегистрированная станцией PS23-Маканчи

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Далее, среди сейсмических событий, попавших в каждый из квадратов, отобраны события с минимальной магнитудой m_b . Как видно из рисунка 1, станция PS23-Маканци действительно является весьма чувствительной - она регистрирует события с магнитудой 3.5 – 4, происходящие на значительном удалении от нее для многих районов земного шара.

Вклад станции PS23-Маканци в составление бюллетеня REB может быть оценен и другим способом. На рисунке 2 для каждого из 50 сейсмических регионов земного шара графически сравнивается общее число событий, включенных в REB, с числом событий, в которых учтены данные станции PS23-Маканци.

Эти же данные приведены в нижеследующей таблице 1.

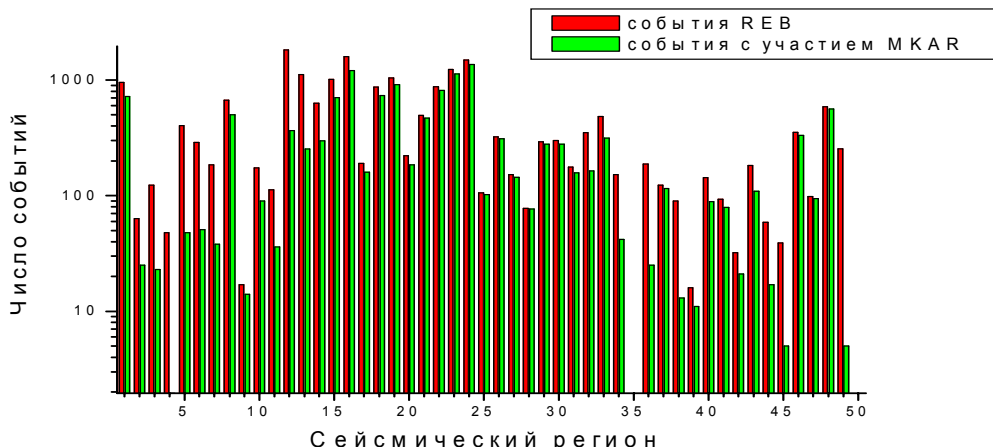


Рисунок 2. Сравнение числа событий из REB для каждого из 50 сейсмических регионов земного шара: общего и, в том числе, зарегистрированных станцией PS23-Маканци

Таблица 1. Сравнение числа событий в REB с числом событий, в которых участвовала станция PS23-Маканци, за первую половину 2002 г. по регионам мира

Сейсмический регион	Число событий		Представительная магнитуда	
	из REB	в т.ч. с участием PS23-Маканци	по REB	по PS23-Маканци
1	951	719	4	4.5
2	63	25	4.5	4.5
3	123	23	3.5	5
4	48	1	3.5	5.5
5	403	48	4.5	5.5
6	289	51	4.5	5
7	185	38	4	5
8	670	502	4	4
9	17	14	4.5	4.5
10	174	90	4	5
11	112	36	4	5.5
12	1815	366	4	5
13	1115	253	4	5
14	633	298	4	4.5
15	1012	702	4	4
16	1593	1207	4	4
17	190	159	4	4
18	871	733	3.5	3.5
19	1043	914	3.5	3.5
20	221	185	3.5	3.5
21	496	469	4	4
22	872	815	4	4
23	1233	1129	4	4
24	1492	1361	4	4
25	106	102	4	4
26	322	310	4	4
27	152	144	4	4
28	78	77	4	4
29	292	279	4	4
30	299	278	4	4
31	177	158	4	4
32	351	163	4.5	5
33	485	316	4	5
34	152	42	4	5.5
35	0	0	-	-
36	188	25	4	4.5
37	123	115	4	4
38	90	13	4	4.5

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ
ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ**

Сейсмический регион	Число событий		Представительная магнитуда	
	из REB	в т.ч. с участием PS23-Макаанчи	по REB	по PS23-Макаанчи
39	16	11	4.5	4.5
40	143	89	4	4
41	93	79	4	4
42	32	21	4	4.5
43	183	109	4.5	4.5
44	59	17	4	5
45	39	5	4	5
46	352	331	4	4
47	98	94	4	4
48	586	563	4	4
49	255	5	3	4.5
50	-	-	-	-

Как следует из таблицы 1, по 35-ому и в 50-ому сейсмическим регионам земного шара в каталоге REB за 2002 г не было зарегистрировано ни одного события. В остальных 48 регионах события зарегистрированы, и в каждом из них - с участием станции PS23-Макаанчи.

Для большей наглядности приведенных данных, построена карта (рисунок 3), на которой отражены значения отношения числа событий из REB, в которых участвуют данные станции PS23-Макаанчи, к общему числу событий, помещенных в REB для данного региона. При значении отношения, близком к единице (красный цвет), практически во всех событиях REB для данного региона участвуют сейсмические фазы, зарегистрированные станцией PS23-Макаанчи. При значениях параметра до 0.2 – 0,3 (си-

ний или фиолетовый цвет) данные станции PS23-Макаанчи участвуют в малом числе событий из REB.

Информация о минимальных магнитудах событий из того или иного региона земного шара, зарегистрированных на станции, позволяет судить о ее чувствительности. Однако, чтобы определить события какой магнитуды для данного региона регистрируются достоверно, без пропусков, необходим другой, оценочный подход. В частности, на основе данных из REB за 2002 г. построены кумулятивные графики повторяемости событий для каждого из 48 сейсмических регионов. На рисунке 4 в качестве примера приведены кумулятивные графики повторяемости событий для двух сейсмических регионов – второго (восточная Аляска) и двадцать первого (остров Тайвань).

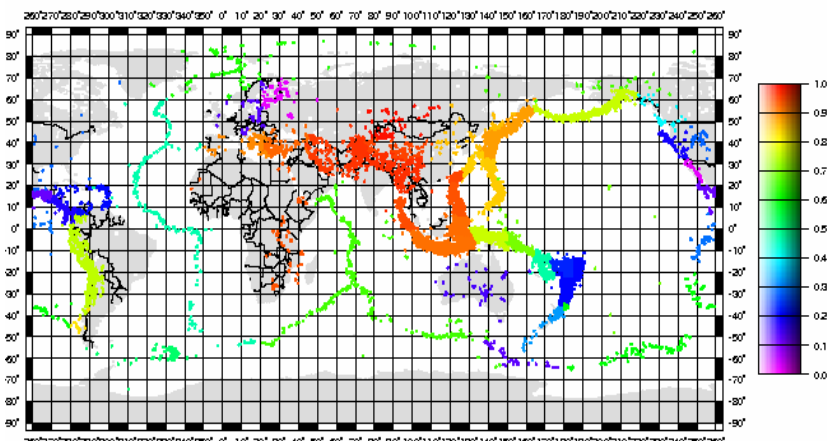
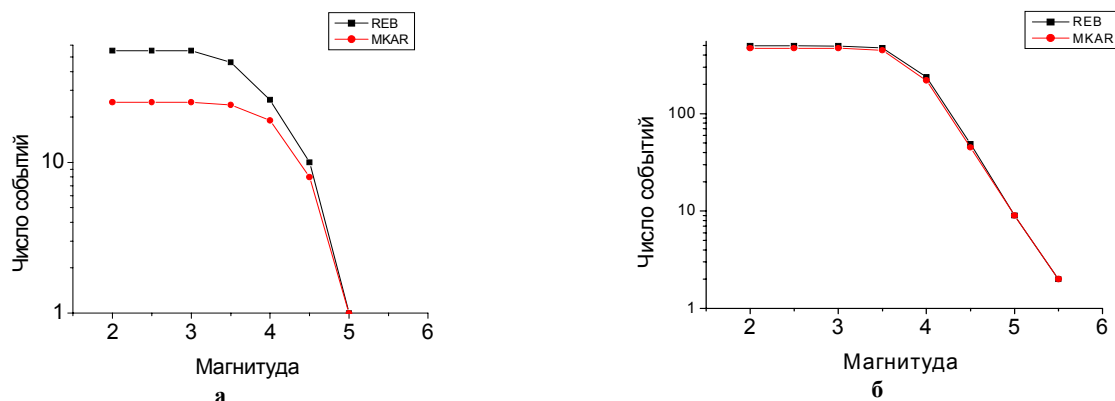


Рисунок 3. Карта значений отношения событий из каталога REB, в которых использованы данные станции PS23-Макаанчи, к общему числу событий из REB по району



Цвета: черный - общее число событий из REB; красный – в том числе, число событий, зарегистрированных станцией PS23-Макаанчи

Рисунок 4. Графики повторяемости событий за 2003 г. для двух сейсмических регионов: а - 2-го (восточная Аляска); б - 21-го (остров Тайвань)

Графики позволили по каждому сейсмическому региону определить представительные магнитуды отдельно для бюллетеня REB и для станции PS23-Маканчи. Поскольку для станции PS23-Маканчи магнитуды определялись по событиям, вошедшим в REB, они не могут быть меньше представительных магнитуд бюллетеня REB. Из этого следует, что, если для какого-либо региона представительные магнитуды для REB и для станции PS23-Маканчи совпадают, то это означает, что представительная магнитуда событий для станции PS23-Маканчи по этому региону, равна или меньше, чем для REB. В 4 и 5 графах таблицы 1 приведены значения представительной магнитуды, полученные на основе графиков повторяемости для REB и для станции PS23-Маканчи. Видно, что представительная магнитуда составляет 5 и выше только для 14 регионов из 48. Для 27 регионов представительная магнитуда REB и станции PS23-Маканчи совпадают. Эти данные свидетельствуют о достаточно высокой чувствительности станции PS23-Маканчи при регистрации телесейсмических событий. Бюллетень REB Международного центра данных формируется на базе данных более чем 30 первичных станций и нескольких десятков вспомогательных, и видно, что для 27 регионов из 50 (то есть, более, чем для половины из них) уровень представительной магнитуды станции PS23-Маканчи и бюллетеня REB совпадают.

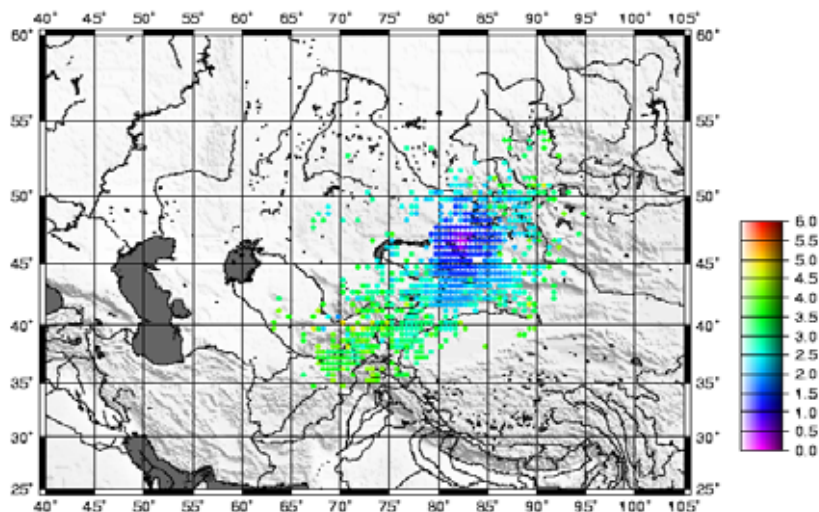


Рисунок 5. Карта минимальных магнитуд сейсмических событий, зарегистрированных станцией PS23-Маканчи по данным оперативного бюллетеня ЦСОСЦИ за 2003 г

Как и следовало ожидать, наиболее низкие магнитуды наблюдаются в непосредственной близости от станции. По мере удаления от нее уровень минимальных магнитуд зарегистрированных землетрясений повышается. Однако, во всем исследуемом регионе Центральной Азии он не превышает 3,5. Несмотря на то, что карты, подобные приведенной на рисунке 5, позволяют получить представление о чувствительности станции, для более полного представления о магнитудах событий, регистрируемых без пропуска, так же, как и в случае телесейсмических данных, этого недостаточно. Представляет интерес количественная оценка уровня не минимальной, а представительной магнитуды. С этой целью построены кумулятивные графики повторяемости по сейсмическим событиям, зарегистрированным

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ В ОТНОШЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ

Эффективность сейсмической группы PS23-Маканчи в отношении к региональным событиям изучалась на основе оперативного сейсмологического бюллетеня, составляемого в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОСЦИ) ИГИ НЯЦ РК (www.kndc.kz). Использовались данные мониторинга за 2003 г. Участие данных сейсмической группы PS23-Маканчи в локализации событий данного бюллетеня является довольно значительным. Так, например, оперативный бюллетень ЦСОСЦИ за 2003 г. содержит 10658 событий и в 4879 из них, т.е., примерно в половине событий, использованы данные станции PS23-Маканчи.

Для оценки возможностей группы PS23-Маканчи в регистрации сейсмических событий на региональных расстояниях построена карта минимальных магнитуд, приведенная на рисунке 5. Карта построена способом, аналогичным тому, который описан в отношении телесейсмических данных. В данном случае, исследуемая территория разбита на квадраты, размером 0.5 на 0.5 градуса. В каждом квадрате путем перебора выбраны землетрясения из оперативного бюллетеня ЦСОСЦИ за 2003 г., в которых участвовали данные станции PS23-Маканчи общим числом 4879.

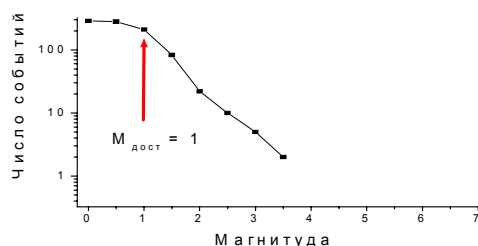
станций PS23-Маканчи и включенным в оперативный бюллетень ЦСОСЦИ. Области, для которых анализировались сейсмические события, количество событий в каждой из них, выявленная представительная магнитуда приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, наибольшее число событий зарегистрировано на расстоянии 4 – 5 град., что объясняется огромным количеством афтершоков сильного Алтайского землетрясения, произошедшего в этом регионе 27 сентября 2003 г. В других областях число событий колеблется от 211 до 575. На рисунке 6 приведены графики повторяемости событий, построенные для различных областей вокруг станции PS23—Маканчи, по которым определена достоверная магнитуда.

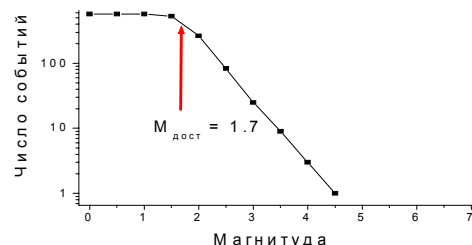
**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ
ПРИ РЕГИСТРАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ**

Таблица 2. Сведения о представительной магнитуде регистрируемых событий на региональных расстояниях. Станция PS23-Мақанчи

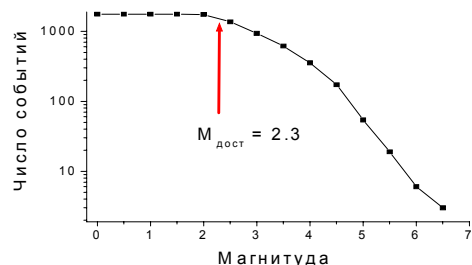
№№	Расстояние, град	Количество событий	Достоверная магнитуда
1	0 -1	320	1
2	1 -2	533	1.5
3	2 -3	575	1.7
4	3 -4	430	2
5	4 -5	1757	2.3 (бд)
6	5 -6	211	2.5
7	6 -10	568	3 (бж)
8	10-17	476	3.8 (бз)



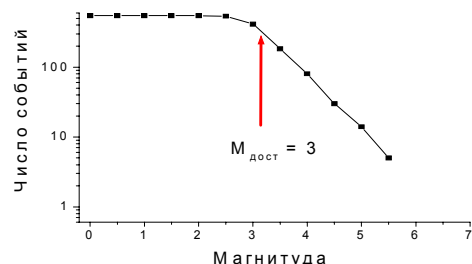
а) расстояние 0 – 1 градуса



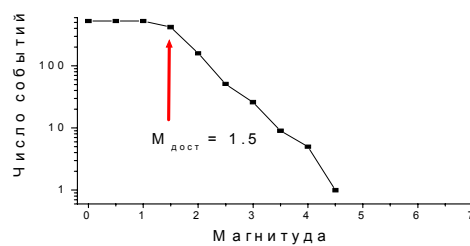
в) расстояние 2 – 3 градуса



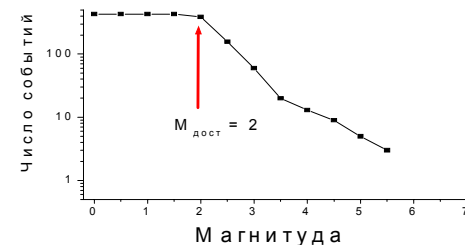
д) расстояние 4 – 5 градуса



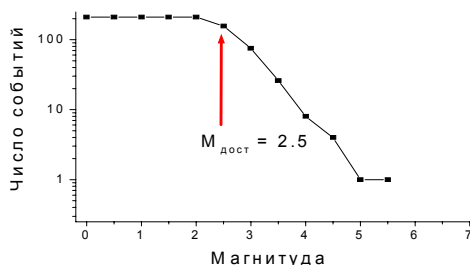
ж) расстояние 6 – 10 градусов



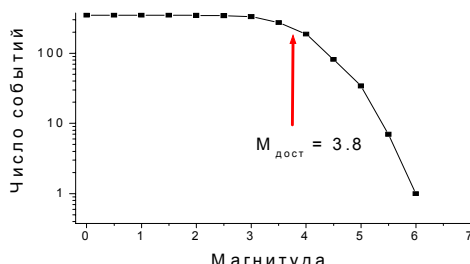
б) расстояние 1 – 2 градуса



г) расстояние 3 – 4 градуса



е) расстояние 5 – 6 градусов



з) расстояние 10 – 17 градусов

Красная стрелка - значение представительной магнитуды

Рисунок 6. Графики повторяемости, построенные для различных областей вокруг станции PS23--Мақанчи

Уже из определения термина «представительная магнитуда» следует, что она не может быть ниже минимальной регистрируемой магнитуды. Чтобы установить, насколько для станции PS23-Мақанчи представительная магнитуда превышает уровень минимальной магнитуды, построен сводный график

зависимости магнитуды зарегистрированных событий от расстояний по данным оперативного бюллетеня ЦСОСЦИ (рисунок 7). На рисунке 7 ось абсцисс - расстояние от события до станции PS23-Мақанчи, ось ординат - магнитуда события, сплошная линия – уровень представительной магнитуды,

определенный в соответствии с графиками повторяемости (рисунок 6).

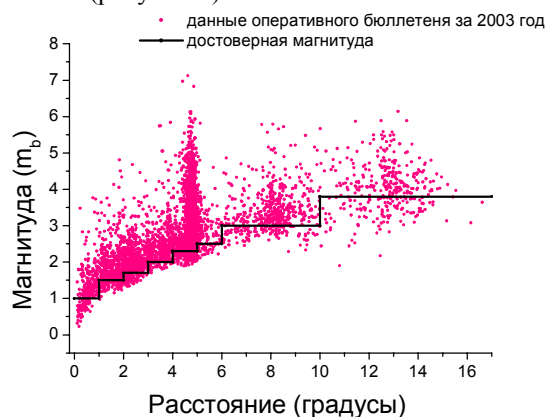


Рисунок 7. График дальности регистрации событий станцией PS23-Мақанчи

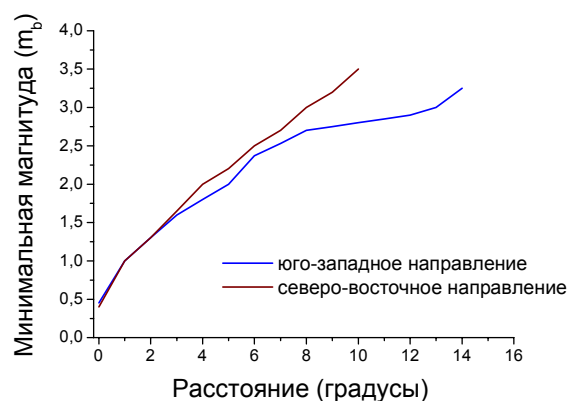


Рисунок 8. График азимутальных различий в чувствительности станции PS23-Мақанчи

Видно, что в среднем уровень представительной магнитуды превышает уровень минимальных магнитуд примерно на 0.5 единицы магнитуды, и только на больших расстояниях, более 10 градусов, наблюдается большой разброс в уровнях минимальных регистрируемых магнитуд. Разница между достоверной и минимальной магнитудой здесь превышает 1 единицу магнитуды.

Изучены азимутальные различия в чувствительности станции PS23-Мақанчи. Для этого все события, зарегистрированные станцией в 2003 г, разделены на две группы. В одну группу вошли события, произошедшие в северо-восточном направлении от станции PS23-Мақанчи – события с азимутом подхода от 0 до 60 градусов. Таких событий в 2003 г. зарегистрировано 1385. Во вторую группу вошли события, произошедшие в юго-западном направлении от станции PS23-Мақанчи – события с азимутом подхода от 180 до 240 градусов. В эту группу вошло 1875 событий. Для каждой из групп построены графики зависимости магнитуды зарегистрированных событий от расстояния до станции PS23-Мақанчи и проведены опи-

бающие по минимальным значениям магнитуд – рисунок 8. Из рисунка 8 можно видеть, что с удалением от станции, разница в чувствительности станции к событиям, произошедшим в разных направлениях, растет. Так, например, на расстоянии 10 градусов разница в уровне минимальных магнитуд достигает 0.9 единиц магнитуды (магнитуда 3.5 для событий из северо-восточного направления по сравнению с магнитудой 2.6 для событий из юго-западного направления). Такое различие в уровнях минимальных регистрируемых магнитуд может иметь двоякое объяснение. Во-первых, различие может быть вызвано разными характеристиками геологической среды вдоль трасс распространения сейсмических волн. Во-вторых, различие может быть связано с конфигурацией сейсмической сети НЯЦ РК. Дело в том, что как раз в юго-западном направлении от станции PS23-Мақанчи расположена станция Каратау. Наличие второй станции в этом районе позволяет оператору-аналитику более уверенно локализовывать события, даже в том случае, когда вторичные волны по станции Мақанчи не очень четко видны. В то же время, чтобы провести локализацию события, произошедшего в северо-восточном направлении, оператору-аналитику необходимо наличие, как четкого вступления продольных волн, так и ясно видимых вторичных волн (Lg или Sn).

Выводы

Для оценки эффективности сейсмической группы PS23-Мақанчи проведен ряд процедур: построение карт минимальных магнитуд, графиков дальности регистрации, графиков повторяемости сейсмических событий с различными магнитудами. На их основе установлены уровни представительных магнитуд для телесеизмических и региональных расстояний. Установлено, что сейсмическая группа PS23-Мақанчи является весьма эффективной. Установлено также, что для различных диапазонов расстояний существуют различные значения Δm , характеризующие переход от предельных минимальных значений магнитуд событий, регистрируемых на данном расстоянии, к представительным магнитудам регистрируемых событий.

Выявлены азимутальные различия в чувствительности станции по отношению к событиям из разных зон на одном и том же расстоянии, которые могут быть связаны как с характеристиками среды вдоль трассы наблюдения, так и с особенностями конфигурации сети в целом.

Данные сейсмической группы PS23-Мақанчи с высокой степенью эффективности используются как в сейсмологических бюллетенях Международной системы мониторинга для всего земного шара, так и в Центре данных НЯЦ РК для региона Центральной Азии, включая Республику Казахстан.

**АУМАҚТЫҚ ЖӘНЕ ТЕЛЕСЕЙСМИКАЛЫҚ ОҚИҒАЛАРЫН ТІРКЕУІНДЕ
МАҚАНШЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОБЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ**

Михайлова Н.Н., Синёва З.И.

Арнаулы сейсмикалық ақпаратын жинау және өңдеу орталығы, геофизикалық зерттеулер институты, Алматы, Қазақстан

Жақындағы және қашықтағы оқиғаларды тіркеуінде PS23-Мақаншы сейсмикалық тобының тиімділігін бағалау үшін әр түрлі көзқарас қолданылған: минимальды магнитудалар m карталарын, тіркеу қашықтарының кестелерін, әр түрлі магнитудалары бар сейсмикалық оқиғалардың қайталану кестелерін жасауы. Осының негізінде, телесейсмикалы де және региональды де қашықтарға, PS23-Мақаншы сейсмикалық тобы өте тиімді болып табылатынын куәландыратын сенімді магнитудаларының деңгейі анықталған. Қашықтардың әр ауқымына мәлім қашықтықта тіркелетін оқиғалардың магнитудаларының шекті минимальды мәнінен сенімді тіркелетін оқиғалардың магнитудасына өтуін бейнелейтін Δm -ның әр түрлі мәні сәйкес болуы анықталған. Әр белдемдерден бір қашықтықта тіркелген оқиғаларға қатысты станциялардың сезімділігінде азимутальды айырмашылықтары анықталған. Бұл, бақылау трассасы бойы ортаның мінездемелеріне, сондай-ақ жүйенің жалпы конфигурациясы ерекшеліктеріне байланысты болуы мүмкін.

**ON EFFECTIVENESS OF PS23-MAKANCHI SEISMIC ARRAY
IN REGISTRATION OF REGIONAL AND TELESEISMIC EVENTS**

N.N. Mikhailova, Z.I. Sinyova

Institute of Geophysical Researches NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The effectiveness of PS23-Makanchi seismic array for registration of regional and teleseismic events was studied. To solve this task the different approaches were applied: compilation of the minimal magnitudes maps, plotting of seismic sensitivity curves, the plotting of recurrence graphs of seismic events with various magnitudes. After that the representative magnitude levels for different regions were estimated. It was concluded, that PS23-Makanchi array is rather efficient for both regional and teleseismic observations. The different values of Δm parameter (Δm is a parameter that characterizes difference between minimal magnitude level of seismic events, recorded on given distance and representative magnitude level for the same distance) were observed on different distances. The diversity in the array sensitivity for events from different azimuths was revealed. This effect can be explained either by the difference in the seismic travel paths physical characteristics, or by peculiarities of the seismic observation network.

УДК 550.34(4/5):621.039.9(574.41)

РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНОК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ

¹Старовойт О.Е., ²Краев Ю.А., ¹Габсатарова И.П.

¹Геофизическая служба РАН, Обнинск, Россия

²Институт стратегической стабильности Федерального агентства по атомной энергии, Москва, Россия

В статье представлены обобщенные результаты исследований за 1997-2003 гг. по проблеме улучшения оценок местоположения сейсмических источников станциями Международной системы мониторинга.

ВВЕДЕНИЕ

Проведены шестилетние исследования региональных годографов для различных геотектонических провинций Северной Евразии. Основная цель исследований состояла в проведении калибровки времен пробега региональных фаз сейсмических волн применительно к станциям Международной системы мониторинга (МСМ) Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Разработанные годографы могут быть использованы непосредственно для улучшения точности местоопределения сейсмических источников, а также для проверки и подтверждения достоверности разрабатываемых трехмерных моделей времен пробега. На различных стадиях в исследованиях участвовали специалисты нескольких организаций: Science Applications International Corporation (SAIC) – США, Геофизической службы РАН, Комплексной сейсмологической экспедицией (КСЭ) Объединенного института физики Земли (ОИФЗ) РАН, ОИФЗ РАН, Службы специального контроля Минобороны России (ССК МО РФ).

КАЛИБРОВочНЫЕ СОБЫТИЯ

На завершающем этапе исследований в качестве калибровочных событий использовались только подземные ядерные взрывы (ПЯВ), для которых были опубликованы точные данные о времени в очаге и координатах эпицентра. Выборка включает подземные ядерные взрывы, произведенные в СССР в мирных целях [6], подземные ядерные взрывы на Семипалатинском испытательном полигоне [1] и на острове Амчитка [4, 5].

ДАННЫЕ О ВРЕМЕНАХ ПРОБЕГА

Основу для получения данных о временах пробега составили результаты сейсмических наблюдений, проведенных в 1965 – 1990 гг., Геофизической службой РАН и КСЭ ОИФЗ РАН. Были собраны и проанализированы значения времени пробега основных региональных фаз сейсмических волн - Pn/P, Pg, Sn/S и Lg. Общее количество станций ГС РАН, данные которых использованы в проведенных исследованиях, составило около 300, станций КСЭ – около 200, а станций ССК МО РФ – около 100. Кроме того, сейсмические наблюдения организаций РАН и Минобороны России дополнены данными примерно по 1000 станций из бюллетеней Международного сейсмологического центра.

РЕГИОНАЛИЗАЦИЯ

Регионализация Северной Евразии проведена с использованием публикаций по неотектонике, геодинамике и сейсмическому районированию [2, 3], а также по результатам анализа собственных данных о временах пробега Pn/Sn волн. В итоге территория Северной Евразии была подразделена на 13 регионов (рисунок 1а): Центрально-Восточно-Европейский регион, Тимано-Печорская провинция, Скифская и Туранская плиты, Кайнозойские складчатые области, Урал, Западно-Сибирская платформа, Казахский массив, Алтай и Саяны, Сибирская платформа, Байкальская рифтовая зона, Приамурье и Приморье, Северо-Восточный регион и Чукотский полуостров, регион Камчатки, Курил и Сахалина. Географические координаты углов контуров перечисленных регионов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Регионализация Северной Евразии

Номер	Регион	Координаты углов контуров, сев. широта - вост. долгота
I	Центрально-Восточно-Европейский	70-48 67-48 67-49 66-49 66-50 65-50 65-51 64-52 63-52 63-53 62-53 62-54 61-54 61-56 60-57 57-57 57-56 46-56 46-49 47-49 47-47 48-46 49-46 49-40 47-40 47-27 48-27 08-26 49-26 49-25 50-25 50-10
II	Тимано-Печорская провинция	69-48 69-62 68-62 68-64 67-64 67-63 66-63 66-59 65-59 65-58 63-58 63-57 60-57 60-56 61-56 61-54 62-54 62-53 63-53 63-52 64-52 64-51 65-51 65-50 66-50 66-49 67-49 67-48
III	Урал	77-58 77-69 76-69 76-66 75-66 75-61 74-61 74-58 73-58 73-57 72-57 72-56 71-56 71-61 70-61 70-68 67-68 67-67 66-67 66-64 65-64 65-62 64-62 64-61 58-61 58-62 54-62 54-63 51-63 51-62 49-62 49-61 48-61 48-59 47-59 47-56 57-56 57-57 63-57 63-58 65-58 65-59 66-59 66-63 67-63 67-64 68-64 68-62 69-62 69-58 70-58 70-54 71-54 71-52 73-52 73-54 74-54 74-55 75-55 75-56 76-56 76-58
IV	Скифская и Туранская плиты	51-62 51-65 47-65 47-66 46-66 46-67 44-67 44-68 42-68 42-67 43-67 43-64 38-64 38-61 37-61 37-59 38-59 38-57 39-57 39-56 38-56 38-55 37-55 37-54 39-54 39-52 40-52 40-50 41-50 41-49 42-49 42-48 43-48 43-44 44-44 44-43 45-43 45-33 46-33 46-30 47-30 47-40 49-40 49-46 48-46 48-47 47-47 47-49 46-49 46-56 47-56 47-59 48-59 48-61 49-61 49-62
V	Кайнозойские складчатые области (Карпаты, Крым, Кавказ, Копетдаг, Тянь-Шань)	50-20 50-25 49-25 49-26 48-26 48-27 47-27 47-30 46-30 46-33 45-33 45-43 44-43 44-44 43-44 43-48 42-48 42-49 41-49 41-50 40-50 40-52 39-52 39-54 37-54 37-55 38-55 38-56 39-56 39-57 38-57 38-59 37-59 37-61 38-61 38-64 43-64 43-67 42-67 42-68 44-68 44-67 45-67 45-69 44-69 44-70 43-70 43-75 44-75 44-77 45-77 45-79 46-79 46-81 49-81 49-84 48-84 48-86 47-86 47-87 46-87 46-90 45-90 45-100 40-100 40-76 34-76 34-40 41-40 41-20

**РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНОК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ**

Номер	Регион	Координаты углов контуров, сев. широта - вост. долгота
VI	Казахский массив	53-63 53-65 54-65 54-70 53-70 53-72 52-72 52-75 51-75 51-81 46-81 46-79 45-79 45-77 44-77 44-75 43-75 43-70 44-70 44-69 45-69 45-67 46-67 46-66 47-66 47-65 51-65 51-63
VII	Западно-Сибирская платформа	77-69 77-113 74-113 74-106 73-106 73-105 72-105 72-101 71-101 71-90 70-90 70-86 67-86 67-87 66-87 66-88 63-88 63-89 62-89 62-90 60-90 60-91 59-91 59-92 57-92 57-89 56-89 56-86 57-86 57-85 56-85 56-83 54-83 54-82 52-82 52-81 51-81 51-75 52-75 52-72 53-72 53-70 54-70 54-65 53-65 53-63 54-63 54-62 58-62 58-61 64-61 64-62 65-62 65-64 66-64 66-67 67-67 67-68 70-68 70-61 71-61 71-56 72-56 72-57 73-57 73-58 74-58 74-61 75-61 75-66 76-66 76-69
VIII	Алтай и Саяны	59-92 59-94 55-94 55-99 54-99 54-101 53-101 53-102 43-102 45-90 46-90 46-87 47-87 47-86 48-86 48-84 49-84 49-81 52-81 52-82 54-82 54-83 56-83 56-85 57-85 57-86 56-86 56-89 57-89 57-92
IX	Байкальская рифтовая зона	52-102 52-105 53-105 53-107 54-107 54-108 56-108 56-109 57-109 57-111 58-111 58-113 59-113 59-117 58-117 58-121 57-121 57-123 56-123 56-125 55-125 55-120 54-120 54-117 53-117 53-112 52-112 52-110 50-110 50-102
X	Сибирская платформа	74-106 74-127 69-127 69-125 68-125 68-124 67-124 67-125 65-125 64-127 64-130 63-130 63-136 59-136 59-134 58-134 58-133 57-133 57-131 56-131 56-128 55-128 55-125 56-123 57-123 57-121 58-121 58-117 59-117 59-113 58-111 57-111 57-109 56-109 56-108 54-108 54-107 53-105 52-105 52-102 53-102 53-101 54-101 54-99 55-99 55-94 59-94 59-91 60-91 60-90 62-90 62-89 63-89 63-88 66-88 66-87 67-87 67-86 70-86 70-90 71-90 71-101 72-101 72-105 73-105 73-106
XI	Северо-Восточный регион и Чукотский полуостров	73-127 73-170W 60-170W 60-160 59-160 59-140 55-140 55-128 59-160 59-140 55-140 55-128 56-128 56-131 57-131 57-133 58-133 58-134 59-134 59-136 63-136 63-130 64-130 64-127 65-127 65-125 67-125 67-124 68-124 68-125 69-125 69-127
XII	Приамурье и Приморье	55-120 55-140 44-140 44-120
XIII	Камчатка-Курилы-Сахалин	59-160 60-160 60-164 50-164 50-157 48-157 48-154 46-154 46-150 43-150 43-140

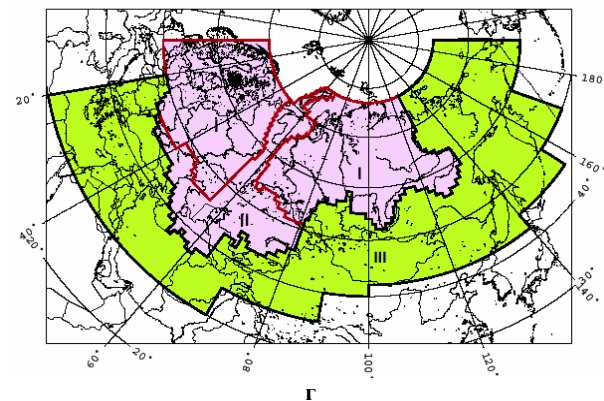
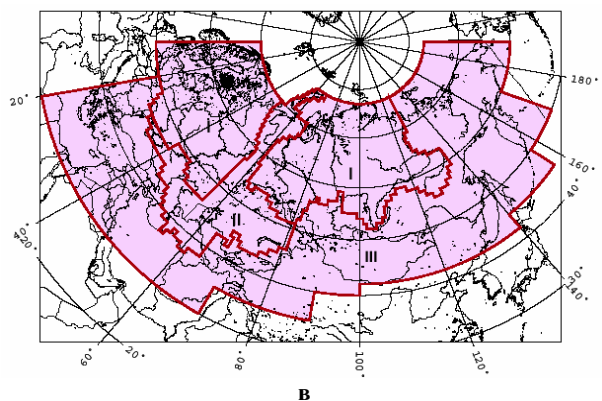
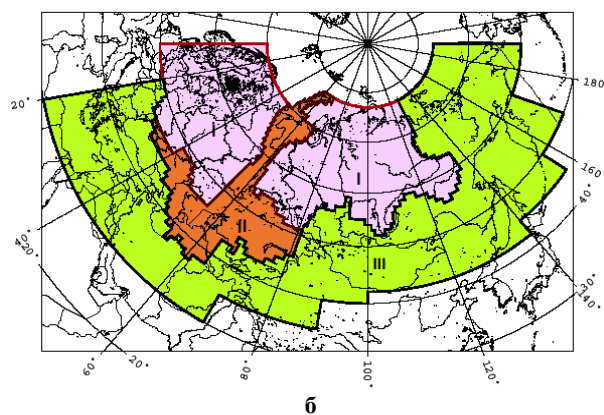
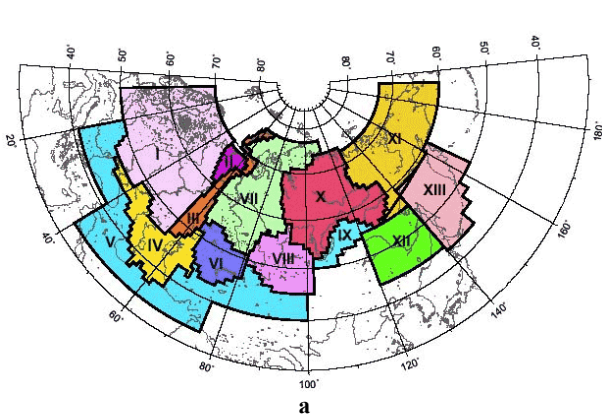


Рисунок. Регионализация Северной Евразии: а - до укрупнения регионов - а (по Pn, Sn-волнам);
после укрупнения - б (по Pn, Sn-волнам); в (по Lg-волнам); г (по Pg-волнам)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для основных сейсмических фаз построены региональные годографы. При этом совокупность экспериментально наблюдаемых данных о временах пробега представлялась на основе метода линейной регрессии, с использованием одной или двух линий регрессии. Модельная ошибка рассчитана как стандартное отклонение экспериментальных значений от линий регрессии в скользящем двухградусном окне

с 50-% перекрытием. Параметры годографов основных волн для каждого из 13 регионов приведены в таблице 2.

Базовое описывающее уравнение:

$$T-R/V_{red} = (A \pm \sigma_A) - (B \pm \sigma_B) \times R$$
 где: Т – время пробега, с; R – эпицентральное расстояние, км; V_{red} – скорость редукции, км/с.

**РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНОК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ**

Таблица 2. Параметры построенных годографов (глубина = 0 км)

Фаза	ΔR , км	V_{red} , км/с	A	σ_A	B	σ_B	N	г	SD, с
I. Центральнo-Восточно-Европейский									
Pn	220-1100	8,0	7,78	0,36	0,0040	0,0004	43	0,83	0,7
	1101-2200	8,0	13,24	0,60	0,0089	0,0004	108	0,92	1,1
Sn	220-2200	4,62	14,86	1,88	0,0046	0,0018	50	0,34	3,1
Pg	220-1400	6,0	0,88	0,87	0,0066	0,0010	29	0,80	1,5
Lg	220-2200	3,5	2,86	2,42	0,0077	0,0021	167	0,13	5,0
II. Тимано Печорская провинция IV. Скифская и Туранская плиты									
Pn	200-2000	8,0	8,26	0,69	0,0042	0,0011	29	0,58	0,9
Sn	350-1400	4,62	16,08	1,47	0,0031	0,0020	20	0,35	2,0
Pg	350-1000	6,0	-1,16	2,31	0,0044	0,0034	17	0,31	2,6
Lg	350-1500	3,5	3,20	2,23	0,0085	0,0030	23	0,52	3,4
III. Урал									
Pn	300-2000	8,0	8,89	0,36	0,0047	0,0003	33	0,95	0,7
Sn	300-2000	4,62	12,54	1,90	-0,0006	0,0015	30	0,08	3,2
Pg	300-1200	6,0	1,13	2,80	0,0074	0,0030	14	0,57	2,8
Lg	300-2000	3,5	-2,80	3,16	0,0026	0,0025	20	0,24	4,8
V. Кайнозойские складчатые области									
Pn	200-990	8,0	8,20	0,41	0,0018	0,0006	91	0,32	1,2
	991-2000	8,0	10,88	0,88	0,0048	0,0006	51	0,75	1,1
Sn	200-2000	4,62	14,19	0,82	0,0001	0,0009	51	0,01	2,1
Pg	200-1100	6,0	0,77	1,04	0,0039	0,0014	29	0,49	1,4
Lg	220-2200	3,5	2,86	2,42	0,0077	0,0021	167	0,13	5,0
VI. Казахский массив									
Pn	200-1800	8,0	9,42	0,22	0,0050	0,0002	64	0,94	0,7
Sn	200-1800	4,62	15,10	0,82	0,0029	0,0008	51	0,47	2,3
Pg	300-1200	6,0	1,13	2,80	0,0074	0,0030	14	0,57	2,8
Lg	300-2000	3,5	-2,80	3,16	0,0026	0,0025	20	0,24	4,8
VII. Западно-Сибирская платформа									
Pn	220-2200	8,0	8,22	0,22	0,0061	0,0002	70	0,90	1,3
Sn	220-2200	4,62	12,82	1,47	0,0021	0,0010	56	0,28	3,5
Pg	250-1200	6,0	1,26	2,17	0,0083	0,0022	22	0,64	2,4
Lg	220-2200	3,5	-2,96	2,77	0,0038	0,0018	44	0,30	6,3
VIII. Алтай и Саяны									
Pn	200-2200	8,0	8,71	0,24	0,0021	0,0002	113	0,66	1,0
Sn	220-2200	4,62	14,85	0,72	-0,0017	0,0006	47	0,35	2,0
Pg	200-1200	6,0	0,54	1,03	0,0038	0,0012	36	0,47	1,7
Lg	200-2200	3,5	-2,52	1,12	0,0011	0,0009	57	0,16	3,4
IX. Байкальская рифтовая зона XII. Приамурье и Приморье									
Pn	200-2000	8,0	7,01	0,27	0,0011	0,0003	44	0,56	0,9
Sn	200-2000	4,62	12,26	0,90	-0,0032	0,0009	33	0,54	2,7
Pg	200-1200	6,0	-0,88	0,77	0,0030	0,0010	28	0,50	1,5
Lg	200-2200	3,5	-1,18	0,79	0,0016	0,0006	41	0,34	2,6
X. Сибирская платформа									
Pn	220-999	8,0	7,75	0,74	0,0043	0,0010	33	0,62	1,1
	1000-2200	8,0	10,89	0,69	0,0074	0,0004	80	0,90	1,3
Sn	200-2000	4,62	15,78	1,11	0,0057	0,0007	91	0,63	3,3
Pg	200-1100	6,0	-1,80	1,36	0,0035	0,0015	39	0,36	2,3
Lg	220-2200	3,5	-4,57	1,28	0,0002	0,0008	82	0,01	4,1
XI. Северо-Восточный регион и Чукотский полуостров									
Pn	220-1900	8,0	7,57	0,51	0,0020	0,0004	26	0,68	0,9
Sn	220-2000	4,62	11,17	1,73	-0,0033	0,0013	18	0,54	3,2
Pg	200-1200	6,0	-0,76	1,77	0,0020	0,0024	7	0,35	1,9
Lg	200-2200	3,5	-0,71	2,09	0,0018	0,0013	21	0,29	4,3
XIII. Камчатка-Курилы-Сахалин									
Pn	200-1800	8,0	6,99	0,51	0,0015	0,0004	43	0,47	1,0
Sn	220-2000	4,62	17,89	2,96	0,0010	0,0021	21	0,10	3,3

Примечание: N – объем выборки; г – коэффициент корреляции; SD – остаточное стандартное отклонение, с

Анализ построенных региональных годографов с учетом геологических и тектонических особенностей изучаемых регионов, а также результатов проведенного статистического анализа, позволил сделать заключение о возможности укрупнения разбивки территории Северной Евразии в отношении к задачам сейсмической калибровки. В частности, на территории Северной Евразии выделены:

- три геолого-тектонические провинции для волн Pn и Sn - платформенные области; палеозойские

массивы и молодые платформы; тектонически активные области (рисунк, б);

- две геолого-тектонические провинции для волн Pg (рисунк, г);
- одна геолого-тектоническая провинция для волн Lg (рисунк, в).

Географические координаты углов контуров укрупненных регионов представлены в таблице 3.

**РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНОК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ**

Таблица 3. Укрупненная регионализация Северной Евразии

№ п/п	Регион	Координаты углов контуров, сев. широта-восточная долгота
I.	Платформенные области	70-10 70-48 67-49 66-49 66-50 65-50 65-51 64-51 64-52 63-52 63-53 62-53 62-54 61-54 61-56 60-56 60-57 57-57 57-56 46-56 46-49 47-49 47-47 48-47 48-46 49-46 49-40 47-40 47-27 48-27 48-26 49-26 49-25 50-25 50-10 77-69 77-127 69-127 69-125 68-125 68-124 67-124 67-125 65-125 65-127 64-127 64-130 63-130 63-136 59-136 59-134 58-134 56-123 57-123 57-121 58-121 58-117 59-117 59-113 58-113 58-111 57-111 57-109 56-109 56-108 54-108 54-107 53-107 53-105 52-105 52-102 53-102 53-101 54-101 54-99 55-99 55-94 59-94 59-92 57-92 57-89 56-89 56-86 57-86 57-85 56-85 56-83 54-83 54-82 52-82 52-81 51-81 51-75 52-75 52-72 53-72 53-70 54-70 54-65 53-65 53-63 54-63 54-62 58-62 58-61 64-61 64-62 65-62 65-64 66-64 66-67 67-67 67-68 70-68 70-61 71-61 71-56 72-56 72-57 73-57 73-58 74-58 74-61 75-61 75-66 76-66 76-69
II.	Палеозойские массивы и молодые платформы	77-58 77-69 76-69 76-66 75-66 75-61 74-61 74-58 73-58 73-57 72-57 72-56 71-56 71-61 70-61 70-68 67-68 67-67 66-67 66-64 65-64 65-62 64-62 64-61 58-61 58-62 54-62 54-63 53-63 53-65 54-65 54-70 53-70 53-72 52-72 52-75 51-75 51-81 46-81 46-79 45-79 45-77 44-77 44-75 43-75 43-70 44-70 44-69 45-69 45-67 44-67 44-68 42-68 42-67 43-67 43-64 38-64 38-61 37-61 37-59 38-59 38-57 39-57 39-56 38-56 38-55 37-55 37-54 39-54 39-52 40-52 40-50 41-50 41-49 42-49 42-48 43-48 43-44 44-44 44-43 45-43 45-33 46-33 46-30 47-30 47-40 49-40 49-46 48-46 48-47 47-47 47-49 46-49 46-56 57-56 57-57 60-57 60-56 61-56 61-54 62-54 62-53 63-53 63-52 64-52 64-51 65-51 65-50 66-50 66-49 67-49 67-48 70-48 70-51 72-51 72-52 73-52 73-54 74-54 74-55 75-55 75-56 76-56 76-58
III.	Тектонически активные области	77-127 77-170 60-170 60-170 50-170 50-157 45-157 45-140 42-140 42-100 40-100 40-90 35-90 35-70 30-70 30-20 50-20 50-25 49-25 49-26 48-26 48-27 47-27 47-30 46-30 46-33 45-33 45-43 44-43 44-44 43-44 43-48 42-48 42-49 41-49 41-50 40-50 40-52 39-52 39-54 37-54 37-55 38-55 38-56 39-56 39-57 38-57 38-59 37-59 37-61 38-61 38-64 43-64 43-67 42-67 42-68 44-68 44-67 45-67 45-69 44-69 44-70 43-70 43-75 44-75 44-77 45-77 45-79 46-79 46-81 52-81 52-82 54-82 54-83 56-83 56-85 57-85 57-86 56-86 56-89 57-89 57-92 59-92 59-94 55-94 55-99 54-99 54-101 53-101 53-102 52-102 52-105 53-105 53-107 54-107 54-108 56-108 56-109 57-109 57-111 58-111 58-113 59-113 59-117 58-117 58-121 57-121 57-123 56-123 56-125 55-125 55-128 56-128 56-131 57-131 57-133 58-133 58-134 59-134 59-136 63-136 63-130 64-130 64-127 65-127 65-125 67-125 67-124 68-124 68-125 69-125 69-127

Для укрупненных регионов определены параметры обобщенных региональных годографов, которые представлены в таблице 4. Базовое уравнение: $T-R/V_{\text{ред}} = (A \pm \sigma_A) - (B \pm \sigma_B) \times R$.

Таблица 4. Параметры обобщенных годографов (глубина = 0 км)

Фаза	ΔR , км	$V_{\text{ред}}$, км/с	A	σ_A	B	σ_B	N	r	SD, с
I. Платформенные области									
Pn	220-1190	8,0	8,18	0,36	0,0049	0,0004	103	0,75	1,0
	1191-2200	8,0	12,49	0,49	0,0085	0,0003	262	0,88	1,3
Sn	220-2200	4,62	14,54	0,73	0,0043	0,0005	246	0,50	3,6
Pg	220-1400	6,0	-0,44	0,73	0,0047	0,0010	109	0,42	2,1
Lg	200-2500	3,5	-1,69	0,59	0,0020	0,0005	462	0,20	5,3
II. Палеозойские массивы и молодые платформы									
Pn	200-2200	8,0	8,95	0,17	0,0047	0,0002	153	0,93	0,9
Sn	350-1400	4,62	14,40	0,70	0,0016	0,0007	100	0,24	2,7
Pg	220-1400	6,0	-0,44	0,73	0,0047	0,0010	109	0,42	2,1
Lg	200-2500	3,5	-1,69	0,59	0,0020	0,0005	462	0,20	5,3
III. Тектонически активные области									
Pn	200-1800	8,0	8,54	0,17	0,0024	0,0002	342	0,62	1,2
Sn	200-2000	4,62	13,18	0,57	-0,0018	0,0005	165	0,25	3,0
Pg	200-1400	6,0	-0,44	0,52	0,0026	0,0007	98	0,37	1,6
Lg	200-2500	3,5	-1,69	0,59	0,0020	0,0005	462	0,20	5,3

Примечание: обозначения те же, что в таблице 2.

В таблице 5 даны модельные ошибки обобщенных региональных годографов основных типов волн для трех укрупненных геотектонических провинций Северной Евразии.

Таблица 5. Модельные ошибки для укрупненных геотектонических провинций Северной Евразии

R, град.	I. Платформенные области				II. Палеозойские массивы и молодые плиты				III. Тектонически активные области			
	Модельные ошибки, с				Модельные ошибки, с				Модельные ошибки, с			
	Pn	Pg	Sn	Lg	Pn	Pg	Sn	Lg	Pn	Pg	Sn	Lg
2	0,6	1,4	0,4	3,4	0,5	1,4	2,6	3,4	0,9	1,2	2,7	3,4
3	0,6	1,2	0,3	3,2	0,5	1,2	2,1	3,2	1,0	1,4	2,9	3,2
4	0,8	1,8	2,3	3,3	0,8	1,8	2,0	3,3	0,9	1,3	2,4	3,3
5	0,8	2,2	2,1	3,7	0,8	2,2	2,0	3,7	0,9	1,3	2,0	3,7
6	0,8	2,4	1,9	3,8	0,8	2,4	2,2	3,8	1,2	1,3	2,3	3,8
7	1,0	2,7	2,8	3,9	0,9	2,7	2,7	3,9	1,2	1,6	2,7	3,9
8	1,5	2,2	2,9	4,1	0,9	2,2	2,9	4,1	1,2	2,0	3,6	4,1

**РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНОК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ**

R, град.	I. Платформенные области				II. Палеозойские массивы и молодые плиты				III. Тектонически активные области			
	Модельные ошибки, с				Модельные ошибки, с				Модельные ошибки, с			
	Pn	Pg	Sn	Lg	Pn	Pg	Sn	Lg	Pn	Pg	Sn	Lg
9	1,2	2,1	3,3	5,6	1,0	2,1	3,1	5,6	1,4	2,0	3,8	5,6
10	1,2	3,0	3,4	5,3	1,0	3,0	1,7	5,3	1,3	2,0	3,4	5,3
11	1,3	2,8	3,3	5,1	1,0	2,8	2,8	5,1	1,3	1,9	4,2	5,1
12	1,3		3,8	6,7	0,9		4,1	6,7	1,2		4,4	6,7
13	1,3		3,7	6,3	1,2		3,4	6,3	1,3		3,2	6,3
14	1,3		3,4	6,4	1,1		3,2	6,4	1,4		3,1	6,4
15	1,4		4,2	6,4	0,9		3,5	6,4	1,2		3,1	6,4
16	1,3		4,5	6,4	1,0		3,4	6,4	1,5		4,4	6,4
17	1,4		3,9	6,3	0,9		3,5	6,3	1,5		3,1	6,3
18	1,3		3,4	5,7	0,9		3,3	5,7	1,5		2,3	5,7
19	1,3		3,5	5,3				5,3				5,3
20	1,1			6,2				6,2				6,2

На основе одномерных годографов путем объединения и интерполяции построена трехмерная скоростная модель земной коры и верхней мантии для Северной Евразии.

Площадные станционные поправки к временам пробега региональных фаз сейсмических волн были рассчитаны для 36 станций, расположенных в Северной Евразии и входящих в МСМ. Расчеты выполнены на основе метода пропорционального годо-

графа [7] для одномерных годографов и по программе SSSC2 [8] для трехмерной модели Северной Евразии. В таблице 6 представлены результаты расчета отклонений экспериментальных времен пробега от годографов IASPEI-91, региональных и рассчитанных для трехмерной модели.

Из таблицы видно, что использование региональных годографов и трехмерной модели улучшают сходимость.

Таблица 6. Отклонения времен пробега от годографов IASPEI-91 и региональных годографов

Станция МСМ	Суррогатная станция	Расстояние, км	Фаза	N	IASPEI-91		1-D SSSCs		3-D SSSCs	
					Среднее, с	SD, сек	Среднее, с	SD, с	Среднее, с	SD, с
OBN	OBN	0.0	Pn	37	-3.1	1.6	0.7	1.1	0.3	1.2
			Sn	20	-11.7	4.0	-1.5	2.8	0.8	3.2
			Pg	13	-3.2	3.6	0.4	1.6	-	-
			Lg	17	-2.3	2.4	2.6	2.7	1.3	5.2
ARU	ARU	0.0	Pn	52	-3.3	1.6	0.1	1.3	0.5	1.8
			Sn	50	-6.5	3.9	0.3	3.4	2.4	4.1
			Pg	17	-3.0	1.8	-0.9	1.6	6.9	2.4
			Lg	41	-5.5	6.9	-1.2	7.0	0.4	11.0
KIV0	PYA	29	Pn	20	-2.6	1.4	-0.7	0.7	0.5	1.0
YAK	YAK	0.0	Pn	20	-3.7	2.3	0.0	1.7	-1.4	1.5
			Sn	15	-9.5	4.6	-1.8	3.3	-0.6	2.7
			Pg	6	-2.8	1.9	-0.3	1.9	-	-
			Lg	15	4.7	1.2	3.3	4.1	-6.4	5.8
TIXI	TIK	0.0	Pn	17	-4.0	1.4	0.5	1.7	0.0	1.3
			Sn	13	-9.4	4.4	-0.1	3.9	2.6	3.7
			Pg	4	-4.6	2.1	-2.2	2.0	-	-
			Lg	15	-2.3	4.9	2.5	5.2	-5.3	5.9
TLY	IRK	76	Pn	22	-1.9	2.5	0.0	1.3	0.8	1.3
			Sn	15	-12.0	4.1	-3.2	3.0	2.8	3.1
			Pg	8	-1.7	1.2	1.1	1.0	-	-
			Lg	15	-3.2	3.9	2.4	3.1	-5.8	6.4
MA2	MA1	0.0	Pn	10	-2.7	1.3	0.6	1.1	0.7	1.1
ELT	ZAL	121	Pn	24	-1.1	3.0	0.9	1.3	1.2	1.4
			Sn	24	-3.6	4.3	1.0	2.5	2.8	3.2
			Pg	3	-	-	-	-	-	-
			Lg	9	-1.6	2.8	2.3	2.1	-3.2	5.1
NRI	NRI	48	Pn	28	-3.1	2.9	0.1	2.1	0.9	2.9
			Sn	32	-9.2	7.5	-1.3	6.0	-0.7	4.9
			Pg	15	-3.0	3.3	-0.8	3.0	-1.6	2.2
			Lg	27	-4.9	5.7	-0.5	5.6	-11.6	8.2

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО РЕЛОКАЦИИ

Проведена релокация 65 подземных ядерных взрывов, произведенных в мирных целях и подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне, по которым были опубликованы данные о временах в очаге и координатах эпицентров [1, 6]. Расчеты выполнены с использованием годографов IASPEI-91, годографов, разработанных

для укрупненных провинций Северной Евразии - одномерных региональных (1-D SSSCs), а также станционных поправок, полученных для трехмерных моделей (3-D SSSCs). Кроме того, эксперимент по релокации дополнен расчетом станционных поправок для 82-х станций-суррогатов. Результаты расчетов представлены в таблице 7.

**РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНОК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ**

Таблица 7. Результаты эксперимента по релокации событий с использованием различных годографов

№№	Дата	N def/ N all (GAP)	IASPEI-91				SSSCs (1-D)				SSSCs (3-D)			
			Δ , км	S , км ²	ΔT_0	ρ	Δ , км	S , км ²	ΔT_0	ρ	Δ , км	S , км ²	ΔT_0	ρ
1.	69/09/02	9/18(120)	25,8	641	4,2	-	2,3	475	-0,4	+	12,6	490	-0,5	-
2.	69/09/08	9/23(121)	33,3	423	3,6	-	7,4	366	-0,3	+	14,8	375	-0,5	-
3.	69/09/26	7/14(106)	23,2	798	2,7	-	15,2	459	0,1	+	17,8	611	0,7	+
4.	69/12/06	8/10(146)	59,2	632	1,2	-	15,0	425	1,3	+	25,3	546	-0,3	-
5.	70/12/23	8/12(82)	8,9	648	1,8	+	14,6	435	0,0	-	3,8	471	0,6	-
6.	71/07/02	8/18(129)	17,1	784	4,9	-	10,6	432	-0,4	+	15,1	438	-0,9	-
7.	71/07/10	11/15(104)	10,8	625	4,2	+	16,6	429	-1,3	-	17,7	447	-1,7	-
8.	71/09/19	7/20(143)	23,4	377	1,6	-	4,6	330	-0,6	+	7,9	326	-1,3	+
9.	71/10/04	8/19(130)	12,7	430	3,5	-	6,8	343	-0,7	+	3,7	331	-0,9	+
10.	72/08/20	8/14(102)	20,5	922	2,9	-	7,7	482	-0,2	+	6,3	516	0,6	+
11.	72/09/21	7/14(132)	33,4	928	2,4	-	11,6	539	-0,4	+	7,4	637	0,7	+
12.	72/10/03	9/12(94)	31,7	778	3,5	-	11,9	471	0,6	+	22,1	527	1,1	-
13.	72/11/24 1	7/15(141)	16,9	774	2,9	-	3,4	491	-0,8	+	11,9	516	-0,6	-
14.	72/11/24 2	4/12(174)	4,2	1159	2,5	+	10,8	743	-1,8	+	8,8	789	-2,2	+
15.	73/08/15	7/13(157)	22,1	1047	1,6	+	9,1	543	0,3	+	11,2	593	0,3	+
16.	73/08/28	6/12(122)	4,9	1569	1,6	+	1,6	418	-0,3	+	6,8	434	-0,8	+
17.	73/09/19	5/12(158)	27,2	1002	0,7	-	10,8	604	-0,7	+	1,9	743	-1,5	+
18.	74/08/14	5/8(224)	44,4	3940	3,3	-	4,5	2192	1,4	+	20,2	2068	-0,6	+
19.	74/08/29	8/16(192)	35,8	1495	2,2	-	12,4	709	0,2	+	14,6	784	-0,7	-
20.	75/08/12	6/10(114)	24,6	957	3,1	-	18,2	430	0,2	-	5,8	535	0,5	+
21.	75/09/29	6/13(177)	48,9	719	2,8	-	11,1	867	-1,4	+	20,1	879	-1,0	+
22.	76/05/11	7/19(109)	17,3	425	4,3	-	4,5	324	0,0	+	5,5	357	0,1	+
23.	77/07/26	6/13(210)	62,3	941	2,6	-	12,5	1265	-1,0	+	21,5	1192	-0,5	-
24.	77/08/10	4/12(220)	12,4	1596	0,2	+	3,0	896	0,7	+	32,1	999	1,6	-
25.	77/08/20	7/18(120)	1,5	567	4,6	+	7,9	434	0,1	+	14,6	422	1,1	-
26.	77/09/10	5/16(156)	66,6	1181	1,9	-	22,4	707	-0,8	+	39,6	684	-1,0	-
27.	77/09/30	6/12(206)	35,7	2603	1,6	+	6,6	1179	-1,6	+	18,8	1196	-1,9	+
28.	78/08/09	6/16(99)	19,7	683	2,7	-	11,9	379	0,6	+	7,4	400	0,4	+
29.	78/08/24	8/19(97)	31,8	451	5,2	-	12,6	365	1,0	-	21,7	376	0,5	-
30.	78/09/21	7/18(118)	53,4	426	4,7	-	11,2	294	0,3	+	13,0	304	0,5	+
31.	78/10/17 1	8/17(105)	23,9	667	3,3	-	5,8	360	-0,3	+	10,3	403	0,1	+
32.	78/10/17 2	6/17(117)	23,7	541	6,7	-	6,2	297	0,7	+	5,1	441	0,3	+
33.	79/08/12	8/16(94)	34,4	604	2,8	-	15,1	376	0,4	-	24,4	393	0,5	-
34.	79/09/06	8/15(92)	2,1	594	4,8	+	5,1	432	0,3	+	11,7	406	2,1	-
35.	79/10/04	7/17(123)	10,1	580	3,8	+	4,6	445	0,7	+	15,5	461	-0,8	-
36.	80/10/08	7/13(96)	23,8	939	4,5	-	4,8	447	1,2	+	6,5	508	0,8	+
37.	81/09/26 1	8/14(106)	27,7	894	3,0	-	10,9	455	-0,4	+	11,9	489	-0,7	-
38.	82/10/16	8/14(106)	28,6	870	2,9	-	4,1	476	0,4	+	3,8	515	0,3	+
39.	83/07/10 1	7/16(132)	24,0	498	2,2	-	7,4	437	-0,9	+	12,6	515	1,2	+
40.	83/09/24 1	7/14(138)	20,8	984	3,7	-	6,7	508	1,2	+	11,9	556	1,1	+
41.	84/07/21 1	9/18(80)	12,2	526	3,3	+	6,5	339	0,1	+	6,4	349	0,4	+
42.	84/09/17	6/15(114)	50,8	935	2,6	-	13,9	478	-0,4	+	18,7	498	-0,8	-
43.	85/07/18	8/17(104)	26,9	506	3,5	-	14,9	347	-1,3	-	19,6	392	-0,8	-
44.	88/08/22	7/17(98)	25,8	359	4,2	-	12,7	340	0,1	-	5,2	443	0,5	+
45.	88/09/06	8/16(84)	6,2	378	4,6	+	13,4	330	0,6	-	18,1	324	0,3	-
46.	64/11/16	5/13(120)	18,7	670	0,4	+	7,4	537	-1,3	+	6,1	602	-1,9	+
47.	65/11/21	5/12(118)	26,6	746	0,6	-	11,6	576	-0,7	+	11,3	592	-2,1	+
48.	66/03/20	5/12(167)	35,4	627	2,2	-	18,3	517	0,6	-	9,2	636	-1,5	+
49.	66/06/29	6/16(115)	12,8	657	0,9	+	6,4	399	-0,7	+	20,7	529	-1,4	-
50.	66/10/19	6/13(119)	9,5	632	0,0	+	4,2	500	-0,8	+	7,6	508	-1,8	+
51.	67/02/26	7/13(121)	5,5	585	1,9	+	10,3	469	0,8	+	5,3	496	-0,7	+
52.	67/10/17	6/13(117)	11,3	642	0,4	+	5,1	503	-1,1	+	16,1	527	-1,6	-
53.	68/06/19	6/18(116)	3,5	440	1,0	+	6,5	325	-1,1	+	6,9	332	-1,5	+
54.	68/09/29	7/14(118)	5,7	555	1,9	+	10,1	440	0,9	+	5,1	493	-0,2	+
55.	69/03/07	5/11(157)	106,6	903	-1,1	-	28,1	573	-1,1	-	40,2	646	-3,5	-
56.	69/11/30	4/13(121)	22,8	930	0,8	+	6,1	508	-1,5	+	7,8	510	-2,5	+
57.	70/01/29	5/12(233)	3,9	1554	1,1	+	9,8	999	-0,4	+	9,9	1042	-1,6	+
58.	70/06/28	5/13(126)	16,7	667	2,2	-	5,6	506	-0,5	+	5,7	494	-1,3	+
59.	71/04/25	7/17(114)	10,6	406	2,5	+	8,7	315	0,6	+	3,5	325	-0,8	+
60.	71/06/30	6/18(117)	22,7	443	1,1	-	6,4	340	-1,3	+	17,1	335	-1,7	-
61.	71/12/30	6/16(113)	11,5	558	1,6	+	3,7	383	-0,5	+	4,2	391	-1,8	+
62.	72/02/10	4/13(117)	13,1	916	1,1	+	5,6	487	-1,2	+	9,0	481	-2,2	+
63.	72/06/07	3/9(233)	38,1	2884	-2,2	+	17,6	1447	-3,3	+	21,5	1495	-5,0	+
64.	72/11/02	5/15(117)	19,6	765	2,0	+	0,2	439	-0,5	+	4,2	455	-1,2	+
65.	72/12/10 1	4/9(122)	10,6	1102	0,7	+	10,8	668	-1,2	+	16,4	652	-2,0	-
Среднее значение:			24,2	863	2,5	42	9,4	539	-0,2	84	13,2	573	-0,6	60
Медианное значение:			18,3	600	1,6	%	5,2	306	1,0	%	8,1	296	1,3	%

Примечание: N def/ N all (GAP) - отношение числа станций, участвующих в локализации событий к общему числу станций, зарегистрировавших событие («пустой угол»); Δ , км – удаление от точного местоположения события; S – площадь эллипса ошибок, км²; ρ – нахождение точного эпицентра события внутри (+) и вне (-) эллипса ошибок.

Результаты релокации, приведенные в таблице 7, могут быть суммированы следующим образом:

- эпицентры 84% событий сместились ближе к точным эпицентрам (GT), благодаря использованию рассчитанных станционных поправок, со средним значением приближения 8,4 км и медианным значением – 7,3 км;
- эпицентры 82% событий сместились ближе к точным эпицентрам благодаря использованию рассчитанных станционных поправок на 20% и более со средним значением приближения 8,3 км и медианным значением – 7,2 км;
- эпицентры 16% событий сместились дальше от точных эпицентров со средним значением удаления 6,3 км и медианным значением – 5,4 км;
- эпицентры 14% событий сместились дальше от точных эпицентров на 20% и более со средним значением удаления 5,7 км и медианным значением – 4,9 км;
- среднее значение отклонения оценок местоопределения составило 24,2 км для годографов IASPEI-91 и 9,4 км – для региональных годографов;
- 42% точно известных эпицентров находятся внутри 90%- эллипсов ошибок для годографов IASPEI-91 и 84% - для региональных годографов;
- среднее значение площади эллипса ошибок составляет 863 км² для годографов IASPEI-91 и 539 км² – для региональных годографов;
- среднее и медианное значения уменьшения площади 90%- эллипса ошибок составили 314 км² и 458 км², соответственно;

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров В.С., Зеленцов С.А., Михайлов В.Н. Характеристики 96 подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне//Атомная энергия, 1989. – т. 67. вып. 3. - С. 210-214.
2. Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии/Под редакцией Грачева А.Ф.), 2000. - М.: изд. «ПРОБЕЛ».
3. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии, 1995. - М.: ОИФЗ РАН. - Вып. 2-3.
4. D.L. Springer, R.L. Kinnaman Seismic Source Summary for U.S. Underground Nuclear Explosions, 1961-1970// Bull. Seism. Soc. Am., 1971. - V.61. - P. 1073-1098.
5. D.L. Springer, R.L. Kinnaman Seismic Source Summary for U.S. Underground Nuclear Explosions., 1971-1973// Bull. Seism. Soc. Am., 1975. - V.65. - P. 343-349.
6. D.D. Sultanov, J.R. Murphy Rubinstein, Kh.D. Rubinstein A Seismic Source Summary for Soviet Peaceful Nuclear Explosions//Bull. Seism. Soc. Am., 1999. - V.89. - P. 640-647.
7. Xioping Yang, Keith McLaughlin, Robert North SSSCs for Regional Phases at IMS Stations in North America and Fennoscandia//Technical Report CMR 98/46.
8. P. Firbas Location Calibration Based on 3-D Modeling//Advances in Seismic Event Location. (Thurber C.H., Rabinowitz N. - editors), 2000 - Kluwer Academic Publishers - Pp 135 - 161.

КӨЗДЕРІ ОРНАЛАСҚАН ЖЕРІН БАҒАЛАУЫН ЖАҚСARTU YШІН ХАЛЫҚАРАЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІНІҢ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ АУМАҚТЫҚ СЕЙСМИКАЛЫҚ КАЛИБРЛЕУІ

¹⁾Старовойт О.Е., ²⁾Краев Ю.А., ¹⁾Габсатарова И.П.

¹⁾РФА Геофизикалық қызметі, Обнинск, Ресей

²⁾Атом энергиясы жөніндегі федеральдік агенттігінің стратегиялық тұрақтылығы институты, Мәскеу, Ресей

Мақалада, Халықаралық мониторинг жүйесінің станцияларымен сейсмикалық көздері орналасқан жерін бағалауын жақсарту проблемасы бойынша 1997-2003 ж.ж. зерттеулерінің қорытынды нәтижелері келтірілген.

**REGIONAL SEISMIC CALIBRATION OF INTERNATIONAL MONITORING
SYSTEM STATIONS FOR SOURCE LOCATION EVALUATION IMPROVEMENT**

¹O.E. Starovoytov, ²Yu.A. Krayev, ¹I.P. Gabsatarova

¹*Geophysical Survey RAS, Obninsk, Russia*

²*Institute of Strategic Stability of the Ministry for Atomic Energy of the Russian Federation*

The paper contains general research results of 1997-2003 on problem of seismic source location evaluation improvement by International Monitoring System stations.

УДК 594.064.36:550.34

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО КАЛИБРОВКЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ТРАСС В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И АЛТАЕ-САЯНСКОМ РЕГИОНЕ

¹Глинский Б.М., ²Еманов А.Ф., ¹Ковалевский В.В., ²Соловьев В.М., ¹Хайретдинов М.С.

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Геофизическая Служба СО РАН, Новосибирск, Россия

Приведены результаты работ по калибровке сейсмических трасс в Алтае-Саянском регионе, выполненных с использованием контролируемых промышленных взрывов Кузбасса и мощных сейсмических вибраторов. Показана эквивалентность обоих типов источников в экспериментах со встречными годоградами. Получены уточненные данные о глубинном строении региона в направлении запад-восток. Доказана перспективность использования мощных вибраторов для решения проблемы сейсмической калибровки.

Известно, что ключом к эффективности функционирования Международной системы сейсмического мониторинга (ISMS) является определение местоположения и идентификация источника сейсмических волн. При этом вопросы повышения точности решения этих задач являются первостепенными [1,2]. Эмпирический подход к решению задач заключается в использовании событий с известным местоположением и временем для определения набора поправок к региональной модели распространения волн. В рамках такого подхода был проведен большой объем экспериментальных работ, связанных с регистрацией мощного 100-тонного химического взрыва эксперимента «Омега-3» на 630-километровом профиле, карьерных взрывов Кузбасса мощностью от 50 до 700 тонн с одновременной регистрацией сигналов в диапазоне расстояний от 0.6 км до 355 км и в диапазоне азимутальных направлений 250–300°.

В соответствии с принципом взаимности были проведены эксперименты по регистрации сигналов от вибраторов типа ЦВ-100, ЦВ-40 на различных азимутальных направлениях и расстояниях до 280 км.

Большой объем экспериментов был проведен с использованием метода вибрационного зондирования для детального исследования скоростных характеристик среды на трассе Быстровка–Залесово–Новокузнецк протяженностью до 350 км. Дополнительные исследования были связаны с изучением глубинного строения в районе станции Залесово, являющейся одной из базовых станций Международной системы сейсмического мониторинга.

Основные задачи экспериментальных работ состояли в:

- доказательстве эквивалентности волновых полей от взрывов и вибраторов на заданных трассах распространения сейсмических волн;
- исследовании азимутальных неоднородностей среды с помощью мощных вибрационных источников и взрывов.

В соответствии с этими задачами обработка полученных данных была направлена на:

- определение кинематических и динамических характеристик основных типов волн на разных азимутальных направлениях;
- анализ скоростных характеристик среды на профиле Быстровка–Залесово–Новокузнецк;

- изучение глубинного строения в районе сейсмической станции Залесово;
- определение характеристик места расположения источника.

Ниже в кратком изложении приводятся основные результаты выполненных работ.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

Использованы записи взрывов в карьерах, расположенных по отношению к пунктам регистрации на различных азимутальных направлениях в пределах 58–270 град. и диапазоне расстояний 130–334 км.

В соответствии с разработанной методикой пункты регистрации располагались в непосредственной близости от эпицентров взрывов в карьерах (в пределах зоны безопасности), а также на вибро-сейсмическом полигоне Быстровка. Дополнительно вводились промежуточные пункты регистрации, расположенные на трассе «угольный разрез — полигон Быстровка».

Схематически пункты излучения и регистрации, а также азимутальные направления «взрыв-приемник» отражены на рисунке 1 с привязкой к прямоугольной системе координат.

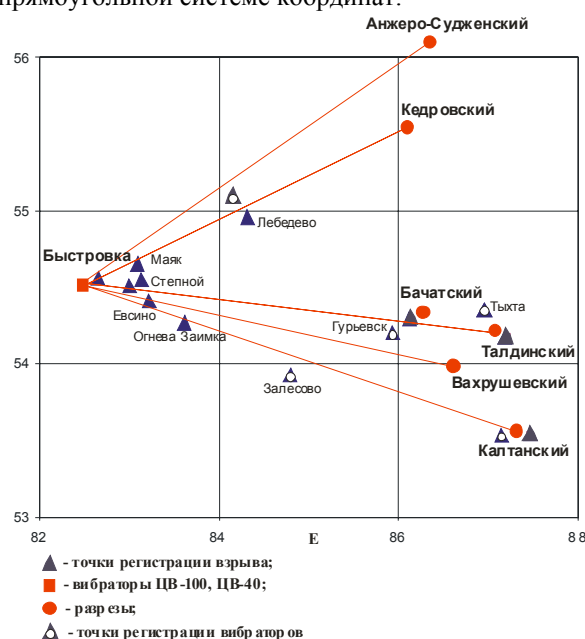


Рисунок 1. Схема расположения карьеров, вибратора и пунктов регистрации

Регистрация сигналов в п. Быстровка осуществлялась с использованием двух регистрирующих комплексов: ВИРС-М, включающих 5 сейсмодатчиков типа СК1-П, которые располагались на линейном профиле длиной 800 м с шагом 200 м, а также комплекса Байкал, имеющего в своем составе скважинный трехкомпонентный сейсмоприёмник с параметрами, аналогичными характеристикам сейсмодатчика СК1-П. Скважинный сейсмоприёмник располагался на глубине 100 м. В районах проведения взрывов для регистрации сигналов использовались полевые комплексы РОСА-Н, РОСА-Д [3]. В других пунктах применялись комплексы ВИРС-К, РОСА-Д.

На карьерах регистрирующие комплексы располагались в пределах безопасной зоны — на расстояниях 600÷800 м от эпицентра. При этом линия расположения сейсмодатчиков ориентировалась на эпицентр взрыва. Кроме сейсмоприёмников, использовался акустический датчик с коэффициентом преобразования 200 мкВ/Па для регистрации акустического сигнала, распространяющегося от взрыва по воздуху вдоль поверхности Земли. Благодаря профильной системе расстановки сейсмоприёмников определялась скорость распространения V_c сейсмической волны (первого вступления) вдоль профиля, а также абсолютное время первого вступления на сейсмоприёмниках и акустическом датчике. С учетом расстояния «взрыв-приёмник» время взрыва рассчитывалось по формуле:

$$t_{взр} = \tau_1 - R/V_c,$$

где τ_1 — время первого вступления на 1-ом ближайшем к взрыву сейсмоприёмнике; R — расстояние «эпицентр - сейсмоприёмник».

Другая оценка времени взрыва в источнике рассчитывалась как:

$$t'_{взр} = \tau_a - R_a/V_{зв},$$

где τ_a — время вступления волны на акустическом датчике; R_a — расстояние «эпицентр-акустический датчик» $V_{зв}$ — скорость звука в воздухе.

Параметрами, характеризующими каждый взрыв, являются также дата проведения, географические координаты, общая масса взрывчатого вещества, данные по разбиению общего заряда на число серий и количество взрывчатого вещества в одной серии, времена запаздывания между сериями взрывов.

По описанной методике в период июнь–сентябрь 2001 г. было зарегистрировано 10 карьерных взрывов мощностью 50–194 т, выполненных на 5-ти открытых угольных разрезах Кузбасса: «Вахрушевский», «Кедровский», «Калтанский», «Талдинский», «Бачатский». Каждый взрыв представляет собой последовательность серий взрывов общей мощностью до 4 т, разделенных интервалами 30÷50 мс. Основные параметры зарегистрированных взрывов представлены в нижеследующей таблице.

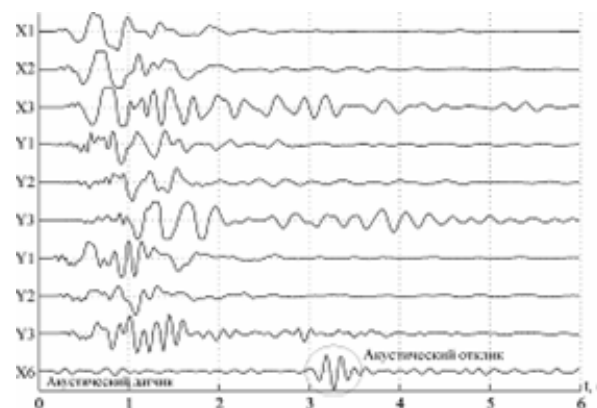
Таблица. Характеристики промышленных взрывов

Дата взрыва	Время взрыва (чч:мм:сек)	Наименование разреза	Координаты взрыва	Мощность, т.	Координаты пункта регистрации	Расстояние взрыв-регистрация, км	Характеристики взрыва
5.06.01	3: 51: 30,017	Кедровский	55° 32' 59,6"N 86° 05' 14,5"E	194,2	--	244,5	--
6.07.01	4: 31:12	Калтанский	53° 32' 35,7"N 87° 27' 20,3"E	73 (58*)	53° 32' 35,8"N 87° 27' 51,1"E	333,3	27 серий по 3т Замедление 50мс
23.07.01	6: 47: 37,56	Калтанский	53° 32' 26,7"N 87° 28' 00"E	54	53° 32' 01,2"N 87° 28' 21,2"E	333,3	18 серий по 3т Замедл.50мс
31.07.01	8: 09: 8.6	Калтанский	53° 32' 40,1"N 87° 24' 33,8"E	105	53° 33' 57,1"N 87° 20' 05,9"E	333,3	30 серий по 3,5т Замедление.50мс
9.08.01	8: 34: 14.5	Талдинский	54° 10' 39,2"N 87° 11' 59,9"E	51,572	54° 10' 44,9"N 87° 11' 27,1"E	296,55	14 серий по 3,7т Замедление.30мс
10.08.01	10: 28: 29,24	Бачатский	54° 17' 26,9"N 86° 08' 15,2"E	68.2	54° 17' 50,3"N 86° 07' 22,2"E	227.3	253 скв. по 300 кг H=60м
10.08.01	9: 08: 07,25	Бачатский	54° 17' 26,9"N 86° 08' 15,2"E	39.9	54° 17' 50,3"N 86° 07' 22,2"E	227.3	222 скв. по 180кг H=150 м

*– в тротиловом эквиваленте

В этой таблице и всюду далее приводится абсолютное время по Гринвичу (GMT). В качестве примера на рисунке 2 приведен образец записи одного из карьерных взрывов в разрезе «Калтанский», выполненной сейсмическими датчиками по компонентам X1,X2,X3, Y1,Y2,Y3, Z1,Z2,Z3, а также акустическим датчиком.

В реализованной системе измерений удаление ближайшего сейсмодатчика от эпицентра составляло 600 м, акустического - 990 м. Начало всех записей соответствует расчетному моменту взрыва. Запись сигналов от взрывов в удаленных пунктах регистрации осуществлялась вдоль 5-ти основных профилей, сходящихся в конечном пункте Быстровка (рисунок 1).



*Рисунок 2. Запись взрыва в разрезе «Калтанский».
23.07.2001. Регистрирующий комплекс Роса-Д*

Записи во всех пунктах регистрации синхронизированы между собой по сигналам GPS. Временная синхронизация осуществлялась с точностью не хуже ± 0.1 мс. Дополнительно с помощью GPS осуществлялась географическая привязка пунктов излучения и регистрации. Такая методика проведения работ позволяет с высокой степенью точности интерпретировать времена пробега волн от каждого взрыва и определять расстояния и азимуты в направлении «излучатель-приемник».

Для отработки методики и получения данных по глубинному сейсмическому исследованию земной коры и верхней мантии был изучен 200 километровой участок детального профиля Быстровка-Залесово-Новокузнецк. При этом в качестве источников сейсмических волн использовались, в первую очередь, 40-тонный передвижной сейсмический вибратор ЦВ-40 и 100 тонный стационарный вибратор ЦВ-100, а также карьерные взрывы, представленные в таблице. Методика работ предусматривала получение записей от мощных вибраторов на удалении свыше 200 км (где в первых вступлениях начинается уверенно регистрироваться продольная волна P_n от поверхности Мохоровичича).

При таком методическом подходе открывается перспектива применения мощных передвижных вибраторов для целей калибровки станций международной сети и изучения участков территорий с неоднородным строением, что также весьма важно для повышения точности восстановления параметров эпицентров сейсмических событий по данным международной сети мониторинга.

Сейсмические исследования, проведенные в направлении Быстровка-Залесово-Новокузнецк, включали работы на 200-километровом детальном профиле методом преломленных и отраженных волн

(КМПВ-МОВ) по многократным наблюдениям с длиной годографов свыше 100 км при использовании мощных передвижных (40-тонных) вибраторов, а также работы на региональном 350-километровом профиле методом ГСЗ при использовании вибраторов и промвзрывов на территории Кузбасса. Реализованные схема и система вибросейсмических наблюдений представлены на рисунках 3, 4.

Регистрация сигналов осуществлялась на 17-ти непрерывных, протяженных регистрирующих установках с расстояниями между сейсмическими датчиками 300 м и общей длиной до 4200 м. На участке профиля $X=0-140$ км среднее расстояние между непрерывными установками составляли 5–10 км, на участке $X=140-200$ км были размещены три расстановки сейсмостанций через 20 км. В качестве регистрирующей аппаратуры на профиле использовалось 150 комплектов американской одноканальной цифровой регистрирующей аппаратуры «Reftek». На отдельных расстановках, наряду с аппаратурой «Reftek», стояли комплекты российской 24-х разрядной цифровой аппаратуры «Байкал» с трехкомпонентными сейсмоприемниками СК-1П и 24-разрядные многоканальные цифровые телеметрические станции СТС-24. Координаты установки сейсмоприемников и расстояния от вибрационных источников определялись с использованием GPS-приемников.

Вибрационные источники размещались в 13-ти точках профиля: ЦВМ-100 и ЦВ-40 - на участке профиля $X=0$ км (Быстровский вибросейсмический полигон), ЦВ-40 - на участке профиля $X=0-120$ км с интервалом 10 км, вибратор ЦВ-40 - на участке профиля $X=155$ км (район сейсмической станции Залесово) и в точках профиля 180, 200 и 230 км.



Рисунок 3. Схема наблюдений на вибросейсмическом профиле Быстровка-Новокузнецк

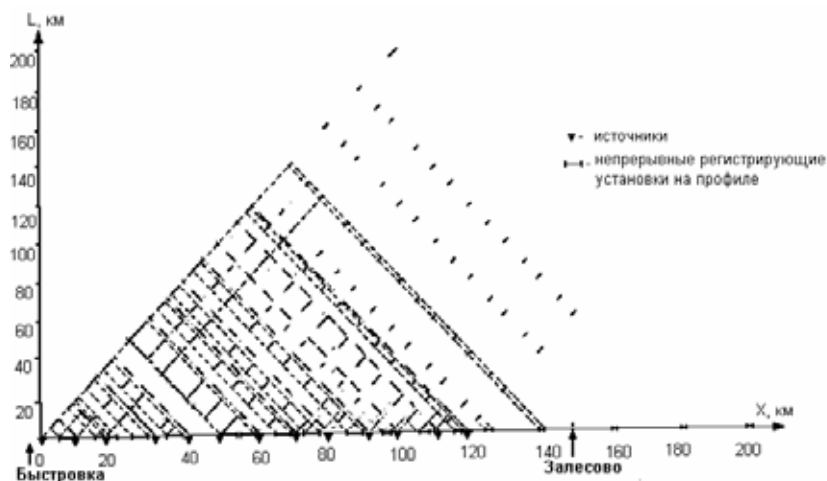


Рисунок 4. Система вибросейсмических наблюдений на профиле Быстровка–Залесово–Новокузнецк

Таким образом, осуществлены широкоугольные и детальные наблюдения по методу КМПВ-МОВ (с регистрацией отраженных и преломленных волн), позволяющие получить для одновременной интерпретации более десяти типов различных волн (преломленные Р- и S- волны от границ из верхней и средней частей коры и поверхности Мохоровичича, отраженные Р- и S- волны от границ в земной коре и от поверхности Мохоровичича), для построения комбинированного разреза по Р- и S- волнам — докритическим, закритическим отраженным, рефрагированным, головным.

АНАЛИЗ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ НА РАССТОЯНИИ 190-200 км

Для анализа волновых полей, зарегистрированных одновременно от взрыва и от вибратора на одном и том же удалении, на рисунке 5 представлены записи 80-тонного распределенного карьерного взрыва в разрезе «Бачатский» (10.08.01 16:08:7,2), сделанные аппаратурой ВИРС-К, и вибрационные сейсмограммы (коррелограммы) от совместно работавших вибраторов ЦВ-100, Ц-40, сделанные аппаратурой Reftek. Расстояние «источник-приемник» в обоих случаях составляет 196.1-196.9 км.

На рисунках 5 а, б приведены соответствующие сейсмические записи взрыва, а на рисунках 5 в, г —

коррелограммы для двух временных отрезков: 20 – 100 с (рисунок 5а, в); 32 – 38 с. (рисунок 5 б, г). В частотном диапазоне 6.25–9.57 Гц (на котором получены коррелограммы от 100-тонного вибратора) S-волны даже на горизонтальных компонентах маловыразительны. Несмотря на узкий частотный спектр представленных записей от взрывов и коррелограмм от вибратора, в области продольных волн наблюдаются выразительные записи первых вступлений волн, причем достаточно похожие как по форме (волновым пакетам), так и по соотношению интенсивностей. На временах, близких к 33 с, наблюдается слабая 2-х–3-х фазная невыразительная волна и через 0.3–0.4 с после первой волны - очень сильная четырехфазная волна. Значения кажущейся скорости первых волн на сейсмограммах близки и составляют ~ 8–9 км/с, что, в свою очередь, близко к значениям скорости $P_{пр}^M$ -волн от поверхности Мохоровичича. Похожий характер записи - со слабой волной в первых вступлениях и сильной волной в последующей части, - отмечается на экспериментальных записях и от других источников. Далее, за сильной волной отмечаются более слабые группы волн и за ними – отсутствие даже слабых групп волн (запись почти на уровне фона).

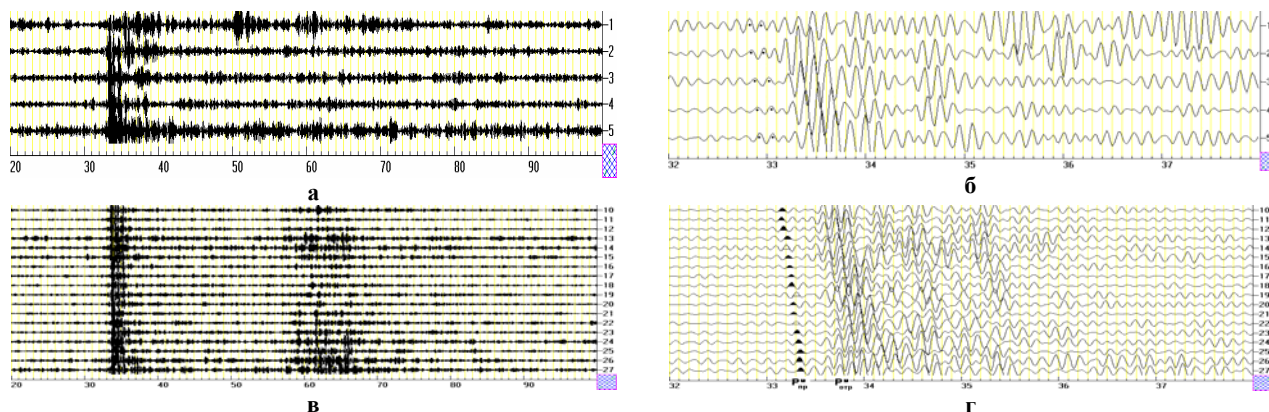


Рисунок 5. Сравнение волновых полей от мощного взрыва в карьере Бачатский (а, б) и от 40- и 100-тонных вибраторов (в, г). Расстояния-196.1–196.9 км, полоса частот 6.25–9.57 Гц

Пример сопоставления волновых пакетов Р- и S-волн, полученных практически во взаимных точках, и их хорошее совпадение иллюстрируют рисунки 6, 7. Здесь представлены обзорные записи вибрационных сейсмограмм, полученных от вибратора ЦВ-100 по линии Быстровка–Гурьевск (рисунок 6) и сейсмограмм взрывов, зарегистрированных в направлении карьер Бачатский–Быстровка (рисунок 7).

Как видно из рисунка 6, от 100-тонного виброисточника на вертикальных и горизонтальных компонентах (при использовании низкочастотных датчиков) наблюдаются мощные S-волны, гораздо сильнее Р-волн; при этом соотношение амплитуды пакетов S- и Р- волн гораздо выше на коррелограммах, нежели на сейсмических записях взрыва.

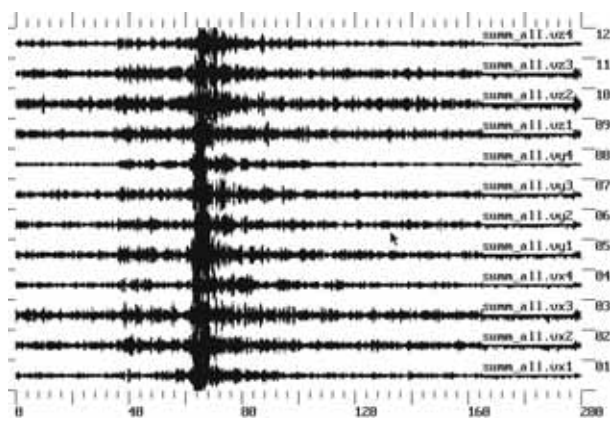


Рисунок 6. Сейсмограммы вибратора ЦВ-100. Быстровка -Бачатский, 215 км, ВИРС-К, Гурьевск

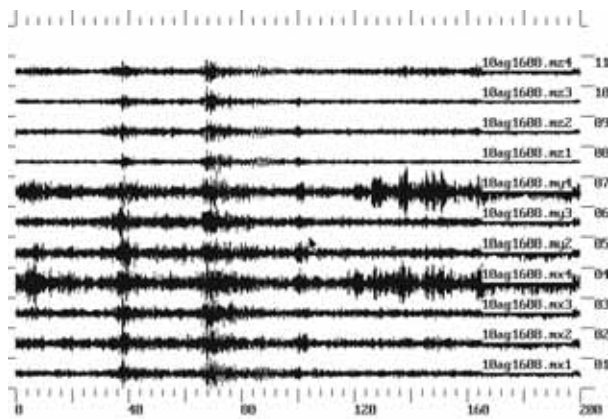


Рисунок 7. Сейсмограммы взрыва. Бачатский–Быстровка, 228 км, ВИРС-М

АНАЛИЗ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ НА РАССТОЯНИИ ОКОЛО 250 КМ

На рисунке 8 представлены записи, полученные при совместной работе вибраторов ЦВ-40 и ЦВ-100 на полигоне Быстровка, на удалении 245–246 км и записи от 330 тонного взрыва в угольном разрезе Красногорский на удалении 253–250 км.

Как можно видеть из рисунка 8 в, г (коррелограммы) на временах 39.3–39.7 с выделяется интенсивная волна, которая характеризуется значениями кажущейся скорости 8–9 км/с, относящейся к преломленной волне от поверхности Мохоровичича.

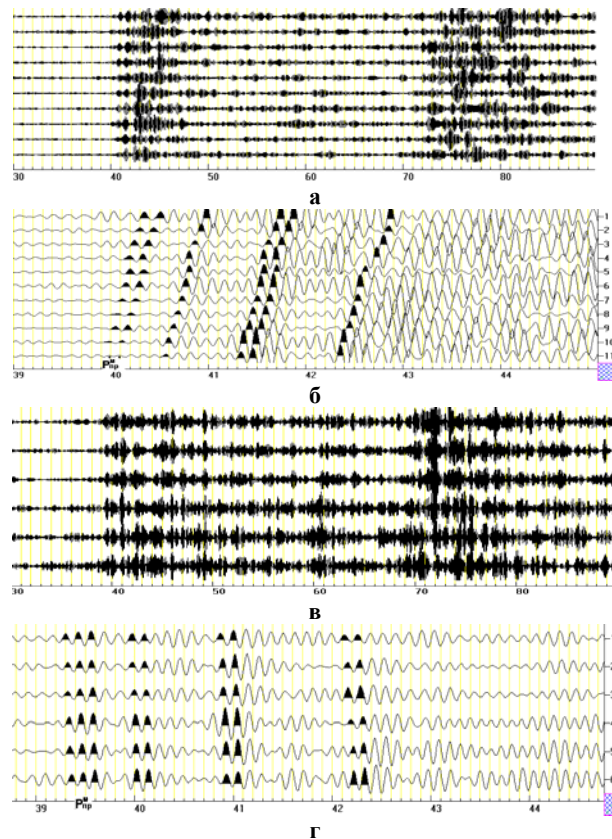


Рисунок 8. Сравнение волновых полей от взрыва мощностью 330 т в карьере Красногорский (а, б) на расстоянии 253–250 км и от мощных (40- и 100-тонных) вибраторов (в, г) на расстоянии 245.6–246.1. Полоса частот 6.25–9.57 Гц.

Ей соответствует на временах ~ 40 с (с учетом разницы в расстояниях) двухфазная волна на рисунке 8 а, б - записи взрыва из разреза Красногорский. Через 0.5 с за этой волной на сейсмограмме и коррелограмме выделяются волны с низкими значениями кажущейся скорости на сейсмограммах, которые могут быть отнесены к группе волн P_g или $P_{отр}^M$ -волн. Далее, через 0.8–1 с от этой волны, выделяется еще одна группа Р-волн, а за ней, на временах свыше 42 с, еще Р-волна. Некоторое несоответствие соотношений интенсивностей первых двух волн на сейсмограмме и коррелограмме может быть связано с разными азимутами при регистрации от взрыва и от вибратора. Волна в первых вступлениях, регистрируемая от вибратора, относится, по мнению авторов, к группе слаборефрагированных волн, и потому она более выразительна на коррелограмме, чем волна в первых вступлениях от взрыва, относимая исследователями к преломленной волне от поверхности Мохоровичича.

ВОЛНОВОЕ ПОЛЕ НА ПРОФИЛЕ БЫСТРОВКА-ЗАЛЕСОВО-НОВОКУЗНЕЦК

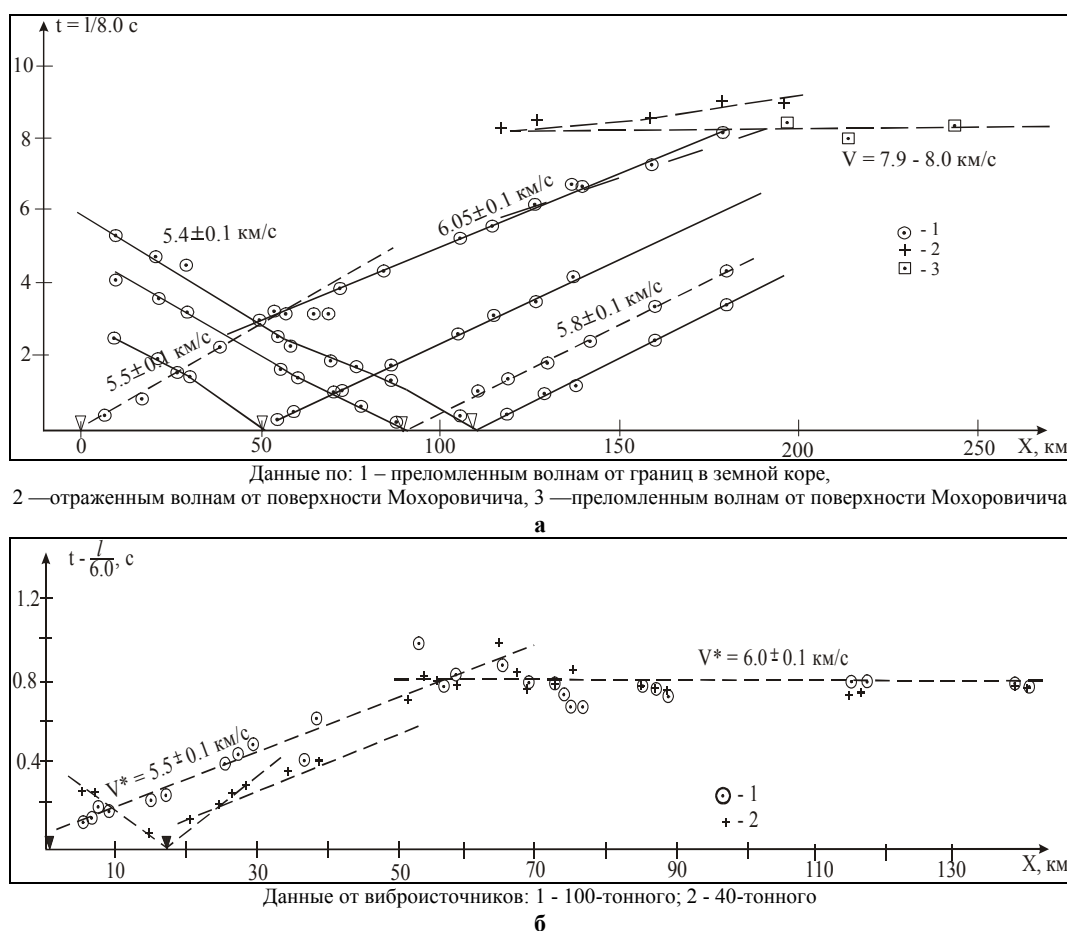
При использовании на профиле Быстровка-Залесово-Новокузнецк аппаратуры «Reftek», «Байкал» и «СТС-24» получены качественные экспериментальные материалы с записями целевых волн от стационарного (ЦВ-100) и передвижного (ЦВ-40) вибраторов на удалении до 120–200 км. По результатам анализа полученного материала построены редуцированные годографы продольных волн (ри-

сунок 9а) и волн первых вступлений (рисунок 9б). Полный анализ картины волнового поля, зарегистрированного на профиле Быстровка–Залесово–Новокузнецк, представлен в [3].

По результатам предварительного анализа кинематических и динамических характеристик продольных волн составлено некоторое приближенное представление о строении земной коры и верхней мантии профиля Быстровка–Залесово–Новокузнецк в пределах участка $X=0-200$ км.

Для этого использовались также данные, полученные по профилям ГСЗ в этом регионе (Шпат, Барнаул–Усть-Нарык, Быстровка–Прокопьевск), представленные в отчете МНТЦ за 2000 г [3]. Установлено, что скорость продольных волн верхней части земной коры составляет 5.45 ± 0.1 км/с на участке

профиля $X=0-50$ км и 5.8 ± 0.1 км/с на участке профиля $X=50-180$ км. В верхней части земной коры на глубинах 5–7 км расположена преломляющая поверхность, характеризующаяся скоростью 6.05 ± 0.1 км/с, в средней части земной коры, на глубинах 18–20 км, расположена коровая отражающая граница (с эффективной скоростью до нее 6.3 км/с). Поверхность Мохоровичича расположена на глубинах 46–48 км под Салаирским кряжем и на участке Томь-Колыванской складчатой зоны. В переходной зоне (сочленение Томь-Колыванской зоны, Бийско-Барнаульской впадины и Салаирского кряжа) глубина залегания поверхности Мохоровичича составляет 44–45 км. Граничная скорость продольных волн по поверхности Мохоровичича составляет 7.9–8.0 км/с.



*Рисунок 9. Редуцированные годографы волн на профиле Быстровка–Залесово–Новокузнецк:
а – продольных; б – в первых вступлениях*

ВЫВОДЫ

Проведены исследования в интересах решения проблемы калибровки сейсмических трасс и сейсмостанций с целью повышения эффективности Международной системы сейсмического контроля за ядерными испытаниями, которые позволили получить ряд важных результатов:

1. Сравнительным анализом волновых полей, зарегистрированных на взаимных расстояниях от мощных вибраторов ЦВ-100, ЦВ-40 и карьерных взрывов при удалении до 300 км доказана близость волновых полей от обоих типов источни-

ков по кинематическим характеристикам, сохранение форм записей основных волн в одном и том же частотном диапазоне.

2. При вибрационном воздействии мощных вибраторов генерируется поле продольных и поперечных волн от основных опорных границ земной коры и верхней мантии (преломленные и отраженные Р- и S-волны от поверхности фундамента и коровых границ, преломленные и отраженные Р- и S- волны от поверхности Мохоровичича).
3. Построенные по вибросейсмическим данным от мощных вибраторов сейсмические разрезы не

противоречат имеющимся геологическим представлениям о глубинной структуре земной коры и верхней мантии региона, а также коррелируют с сейсмическими разрезами по региону, полученными при глубинных сейсмических исследованиях с использованием взрывных источников.

4. Результаты обработки записей сигналов от передвижного 40-тонного вибратора (и группы вибраторов) на расстоянии до 250 км. доказывают перспективность использования этого типа ис-

точников для изучения глубинного строения калибруемой площади и прямой калибровки сейсмических станций Международной системы мониторинга. При этом получение годографов для больших расстояний - 1500–2000 км, возможно как с использованием мощных передвижных вибраторов с учетом свойства параллельности нагоняющих годографов, так и при группировании мощных 100-тонных вибраторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.S.Alekseev, B.M.Glinsky, G.N. Erokhin, V.V.Kovalevsky, M.S.Khairtadinov. Increase in the accuracy of determination of the parameters of seismic sources using the vibroseismic method for Earth's sounding//NCC Bulletin, Series Mathematical Modelling in Geophysics. - Novosibirsk: NCC Publisher, 1996.- Issue 2.- P.1-18
2. A.S.Alekseev, B.M.Glinsky, A.F.Emanov, V.V.Kovalevsky, V.M.Solov'ev, M.S.Khairtadinov. Calibration of seismic stations and seismic traces using powerful seismic vibrators//Materials of the International conferences "Vibration technology for lithosphere research and earthquake monitoring". - Novosibirsk: UIGGM SB RAS Publisher, 1998. - P.118-121.
3. Yearly Report on Project ISTS № 1067 "Creation of a Technology using Powerful Seismic Vibrators to calibrate seismic stations and seismic traces". October 2000-September 2001. - Novosibirsk: Publisher ICM&MG SB RAS, Scientific Adviser Academician A.S. Alekseev, Project Manager Prof. Glinsky B.M.

БАТЫС СІБІР ЖӘНЕ АЛТАЙ-САЯН АЙМАҒЫНДА СЕЙСМИКАЛЫҚ ТРАССАЛАРЫН КАЛИБРЛЕУ БОЙЫНША ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬДЫ ЗЕРТТЕУЛЕРІ

¹Глинский Б.М., ²Еманов А.Ф., ¹Ковалевский В.В., ²Соловьев В.М., ¹Хайретдинов М.С.

¹*РФА СБ Есептеуіш математика және математикалық геофизика институты, Новосибирск, Ресей*

²*РФА СБ Геофизикалық қызметі, Новосибирск, Ресей*

Кузбасстағы бақылауындағы өнеркәсіптік жарылыстарын және күрделі дірілдеткіштерін қолдануымен Алтай-Саян аймағында сейсмикалық трассаларын калибрлеу бойынша орындалған жұмыстардың нәтижелері келтірілген. Қарсы келген годографтарымен экспериментінде көздерінің екі түрінің де эквиваленттілігі көрсетілген. Батыс-шығыс бағытында аймақтың тереңдіктегі құрылысы туралы дәлденген деректері алынған. Сейсмикалық калибрлеу үшін күрделі дірілдеткіштердің қолдануының келешегі дәлелденген..

EXPERIMENTAL RESEARCHES ON SEISMIC TRACE CALIBRATION IN WESTERN SIBERIA AND ALTAI-SAYAN REGION

¹B.M. Glinsky, ²A.F. Emanov, ¹V.V. Kovalevsky, ²V.M. Soloviyev, ¹M.S. Khairtadinov

¹*Computational Mathematics and Mathematical Geophysics Institute SB RAS, Novosibirsk, Russia*

²*Geophysical Survey SB RAS, Novosibirsk, Russia*

The paper contains calibration results on seismic traces in Altai-Sayan region, executed using Kuzbas controlled industrial explosions and power seismic vibrators. It was demonstrated the equivalence of both types of source in experiments with reversed hodograph. Refined data were obtained on region deep structure to west-east direction. It was proved the availability use of power vibrators for seismic calibration problem solving.

УДК 551.24:504.55.06

**НЕЛИНЕЙНЫЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
И ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Хайретдинов М.С., Родионов Ю.И., Седухина Г.Ф.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

Рассматриваются нелинейные процессы, развивающиеся на этапах излучения и распространения сейсмических колебаний при вибрационном зондировании Земли. По результатам анализа предлагается метод активного мониторинга сейсмо-вулканоопасных зон на основе слежения за временной динамикой соотношения параметров вторичных и первичных волн, обусловленной нелинейными процессами. Иллюстрируется высокая чувствительность метода к выделению суточных и полусуточных периодичностей в параметрах сейсмического поля в связи с лунно-солнечными приливами.

Информативность результатов исследований в области геофизической информатики может быть значительно повышена на основе изучения нелинейных волновых явлений, развивающихся на этапах излучения и распространения волн в различных средах – земле, атмосфере, воде. Изучение природы этих процессов и получение численных оценок результатов их проявлений представляют не только чисто научный интерес, но и даёт практический выход в направлении повышения эффективности методов излучения физических полей, а также обработки данных. Другое приложение связано с использованием рассматриваемых процессов в задачах активного мониторинга сред с целью слежения за развивающимися динамическими процессами, предшествующими природным и техногенным катастрофам. Ниже представлены некоторые практические результаты исследований нелинейных волновых эффектов в сейсмофизических полях с целью последующего использования их параметров в качестве информативных при решении задач активного мониторинга сейсмо-вулканоопасных зон, районов базирования крупных инженерных сооружений (ГЭС, АЭС и др.). Приведенные результаты относятся к методу активного мониторинга, основанному на просвечивании среды волновыми полями, порождаемыми в земле мощными сейсмическими вибраторами [1]. Благодаря высоким метрологическим показателям таких источников, поддерживаемых по отношению к амплитуде возмущающей силы, частоте и фазе излучаемых колебаний, обеспечивается возможность применения помехоустойчивых методов измерения откликов среды, позволяющих отслеживать тонкую динамику ее геофизических параметров, обусловленных геодинамическими процессами. С учетом такого подхода, в [2] приведены впервые полученные результаты обработки данных многосуточных наблюдений в период лунно-солнечного прилива, связанные с выделением 12-ти и 24-ти часовых периодичностей в эволюции параметров сейсмического волнового поля. Последние являются хорошим природным тестом для оценивания чувствительности метода мониторинга среды.

Целью проведенных исследований являлось развитие метода вибросейсмического мониторинга на основе изучения и последующего учета нелинейных

волновых эффектов, возникающих на этапах излучения и распространения сейсмических волн.

Причины возникновения нелинейных эффектов излучения, развивающихся в зоне «источник – среда», достаточно подробно рассмотрены ранее [3]. Распространение сейсмических колебаний в среде на расстоянии, намного больше, чем их длина волны, также сопровождается нелинейными процессами, приводящими к появлению высших гармонических составляющих в спектре сигнала. Рассматриваемые процессы при определенных условиях могут существенно проявляться даже при распространении в Земле волн малых деформаций, по отношению к которым традиционно используется принцип линейного приближения. Обоснование этого явления может быть выполнено с учетом [4] по отношению к процессу распространения в среде простейшей одномерной волны $u(x,t)$, описываемой уравнением

$$\frac{\delta u}{\delta t} + L u = -\varepsilon u \frac{\delta u}{\delta x}. \quad (1)$$

Здесь: ε – параметр нелинейности; L – линейный оператор, соответствующий определённой дисперсии линейных волн. Параметр нелинейности оценивается в виде $\varepsilon = v/c$, где v – амплитуда скорости колебаний частиц среды; c – фазовая скорость волны.

В общем случае условие малости параметра ε , т.е. $\varepsilon \ll 1$, для обеспечения линейного приближения является необходимым, но не достаточным. На количественные характеристики эффекта нелинейности в среде оказывают влияние процессы диссипации энергии и дисперсии волн. Пусть среда с дисперсией волн характеризуется дисперсионным соотношением $\omega_k = \omega(k)$, определяющим зависимость частоты колебания от волнового числа k . Известно, что Земля как среда распространения волн характеризуется крайними случаями проявления дисперсии: слабой выраженностью ее внутри продольных и поперечных волн и вырожденным случаем, приводящим к резким различиям скоростей обоих типов волн между собой. Причем, как известно, эта разница нарастает с расстоянием. С учетом этого остановимся на анализе решения уравнения (1) в виде разложения по малому параметру ε : $u = \varepsilon u_1 + \varepsilon^2 u_2 + \varepsilon^3 u_3 + K$. Для членов с ε^2 урав-

нение (1) по отношению ко второй гармонике u_2 примет вид:

$$\frac{\delta u_2}{\delta t} + L u_2 = -u_1 \frac{\delta u_1}{\delta x} \quad (2)$$

($u_2(x, 0) = 0$) – начальное условие.

Решение уравнения имеет вид [4]:

$$u_2 = -2 i k a_1^2 \frac{\sin(\Delta \omega t / 2)}{\Delta \omega} \times \exp \left[i \cdot \left(2 k x - \frac{\omega_{2k} + 2\omega_k}{2} t \right) + \kappa.c. \right] \quad (3)$$

Здесь: a_1 – амплитуда смещения частиц среды, вызываемая первичной волной; $\kappa.c.$ – слагаемое, комплексно-сопряженное первому. Как следует из уравнения (3), с уменьшением расстройки $\Delta \omega = 2\omega_k - \omega_{2k}$ уровень второй гармоники возрастает, приближаясь при $\Delta \omega \rightarrow 0$ (случай бездисперсионных волн, когда $\omega_k = nk$; n – целое число) к максимальному значению. Для этого случая выражение (3) примет вид:

$$u_2(x, t) = -ika_1^2 t \exp[i(2kx - \omega_{2k}t)] + \kappa.c. \quad (4)$$

Данное выражение говорит о том, что уровень второй гармоники растет пропорционально времени пробега волны, так что линейное приближение при сколь угодно малом ε становится неверным.

Накопление нелинейного эффекта в пространстве определяется зависимостью амплитуды второй гармоники от расстояния, описываемой соотношением [5]:

$$a_2 = \frac{K_c r \omega^2 a_1^2}{8c_p^2} \quad (5)$$

Здесь: r – длина пробега волны; K_c – коэффициент нелинейности среды, определяемый выражением $K_c \approx \rho v \left(\frac{\Delta v}{\Delta p} \right) \approx \left(\frac{\Delta v}{v} \right) \Delta \theta$, в котором ρ – плотность; $\Delta \theta$ – изменение объёмной деформации; Δp – изменение давления; a_1 – амплитуда первой гармоники. Значение этого коэффициента, оцененное рядом авторов, составляет около $K_c \approx 10^3$.

Наряду с процессами накопления нелинейных эффектов в среде, определяемых соотношениями (3), (5), происходит ослабление вклада в суммарное волновое поле высших гармоник, первопричина появления которых обусловлена процессами взаимодействия источника со средой. Это вызвано тем, что затухание колебаний при распространении энергии в среде с диссипацией и рассеянием на неоднородностях увеличивается с ростом частоты и длины пробега волн. В квазиоднородной среде затухание гармонических колебаний частот f_1, f_2 – основной и второй гармоник оценивается соотношением:

$$a_2 = \frac{K_c r \omega^2 a_1^2}{8c_p^2}, \quad (6)$$

где a_{01}, a_{02} – амплитуды обоих колебаний вблизи источника на границе сферы радиуса r_0 ; a_{f1}, a_{f2} – ампли-

туды основной и второй гармоник на удалении r от границы сферы радиуса r_0 ; $\alpha_{1,2} \approx 2.5 \cdot 10^{-4} f_{1,2}$ (1/км) – коэффициенты поглощения среды по отношению к колебаниям частот f_1, f_2 . Изменение первоначальных соотношений вторых и первых гармоник – a_{02}/a_{01} , наблюдаемых в зоне источника, в зависимости от расстояния меняется по закону

$$\frac{a_{f2}(r)}{a_{f1}(r)} = \frac{a_{02}}{a_{01}} \exp[(\alpha_2 - \alpha_1)(r - r_0)], \quad (7)$$

Так, например, на расстоянии 355 км рассматриваемое соотношение для частоты зондирования $f_1 = 6.3$ Гц и второй гармоники, равной 12.6 Гц, составит:

$$\frac{a_{12.6}(355)}{a_{6.3}(355)} \approx 0.57 \frac{a_{02}}{a_{01}}.$$

Это означает, что доля вторых гармоник уменьшится в 1.75 раз. Расстояние r , при котором действие обоих механизмов оказывается сопоставимым, может быть оценено на основе совместного использования выражений (5), (7). Вводя обозначение $k_u = a_{02}/a_{01}$ и учитывая два первых члена разложения в ряд в правой части уравнения (7), а также принимая $r \gg r_0$, получим:

$$r = k_u / \left(2.5 \cdot 10^{-4} f \cdot k_u + 4\pi^2 f^2 k_c \cdot a_{p1} / 8V_p^2 \right). \quad (8)$$

При этом параметры источника и среды должны удовлетворять условию:

$$2.5 \cdot 10^{-4} f \cdot k_u \approx 4\pi^2 f^2 k_c a_{p1} / 8V_p^2. \quad (9)$$

В частности, принимая $k_u = 0.3$, $k_c = 10^3$, $f = 10$ Гц, $v_p = 1000$ м/с, получим значение амплитуды основной гармоники продольной волны $a_{p1} = 0.8$ мкм, при котором амплитуда второй гармоники сопоставима с этим значением на расстоянии r .

Итак, из (4), (5), (7) следует, что при вибрационном просвечивании среды могут наблюдаться разные по характеру нелинейные волновые явления, конечным проявлением которых является появление высших гармоник в спектре регистрируемых сейсмических колебаний. Учет их энергетического вклада в суммарное волновое поле может дать эффект в двух направлениях: во-первых, в повышении помехоустойчивости выделения основных типов волн и, прежде всего, продольных волн Р на вибрационных сейсмограммах; во-вторых, в образовании дополнительного информативного показателя геодинамики среды в сейсмо-вулканопасных районах.

Результаты учета эффектов нелинейности при обработке данных по первому направлению достаточно подробно представлены в [3]. Здесь по экспериментальным исследованиям структуры волнового поля от вибратора ЦВ-100 в диапазоне дальностей 0.3-50 км показана возможность выделения волн Р на вибрационных сейсмограммах в режиме зондирования широкополосными сигналами при обработке данных одновременно по основным (5.5-8.5 Гц) и вторым (11-17 Гц) гармоникам. Несмотря на небольшой энергетический вклад вторых гармоник в суммарное волновое поле (в пределах 5-15%), удается получить сейсмограммы вторых гармоник с более контрастным вступ-

лением продольных волн Р. Это обусловлено, в первую очередь, концентрацией основной энергии спектра этих волн в высокочастотной области зондирующего сигнала (≥ 8.0 Гц) [6].

Возможность получения информативного показателя геодинамики среды (по второму из выше обозначенных направлений), вытекает из следующего. При зондировании среды колебаниями основной частоты и вторых гармоник, порождаемых процессами нелинейности, монохроматические колебания разной частоты из-за явления поглощения распространяются с неодинаковыми фазовыми скоростями и, следовательно, пробегают разные пути. Из этого следует гипотеза о том, что временные вариации соотношения параметров обоих типов колебаний должны быть связаны с геодинамическими процессами, происходящими в среде распространения волн. Типичным тестом, связанным с изучением деформационных процессов в земной коре и верхней мантии, являются лунно-солнечные приливы. Как известно, последние характеризуются суточными и полусуточными периодичностями. В связи с этим были построены временные ряды наблюдений параметров сейсмического поля, полученные в результате регулярного вибрационного зондирования среды на трассе «вибратор ЦВ-100 -приемник» протяженностью 355 км. Зондирование осуществлялось путем периодически повторяющихся (с периодом 3 часа) сеансов излучения монохроматических колебаний. Каждый сеанс состоял из последовательно излучаемых 20-минутных колебаний на частотах 6.3, 7.0 Гц. Такие сеансы непрерывно повторялись в течение 96-ти часов, что достаточно для выделения полусуточных и суточных периодичностей в рассматриваемых рядах.

По результатам первичной обработки записей сейсмических сигналов, состоявшей в применении квадратурного алгоритма измерения амплитуды и начальной фазы установившихся колебаний [7], были построены временные ряды в виде оценок амплитуд зарегистрированных колебаний. Последние определены на частотах первых и вторых гармоник колебаний. Дополнительно, по данным одновременной регистрации компонент X,Y,Z в пунктах излучения и приема, построены ряды в виде отношения полученных оценок между собой. На рисунке 1 приведены полученные ряды значений отношения амплитуды второй гармоники к первой для источника (рисунк 1а) и пункта регистрации (рисунк 1 б, в). По оси абсцисс даны номера сеансов, по оси ординат - значения отношений амплитуд на указанных частотах. Принадлежность значений к основным частотам, гармоникам и компонентам отражена цветом линий. Как следует из графиков, относящихся к источнику (рисунк 1а), наибольшие значения отношения амплитуд проявляются на частоте зондирования 6.3 Гц - в пределах 15-30 %, на частоте зондирования 7.0 Гц отношение амплитуд изменяется в пределах 5-10 %. Приведенные данные характеризуют коэффициент нелинейности формы колебаний.

Аналогичные соотношения, полученные в точке приема (рисунки 1б, 1в), относятся к удалению 355

км от источника, компонентам X,Y,Z и частотам зондирования 6.3 и 7.0 Гц. Из анализа графиков следует, что наибольшие значения отношения амплитуд характерны для компонент X и Z, наименьшие значения отношения амплитуд – для компоненты Y. Диапазон изменения значений на разных частотах зондирования различны. Так, на частоте 6.3 Гц они изменяются в пределах 20-90% по компоненте X и около 10% по компоненте Z, а на частоте 7.0 Гц – 5-40% и 20-90%, соответственно.

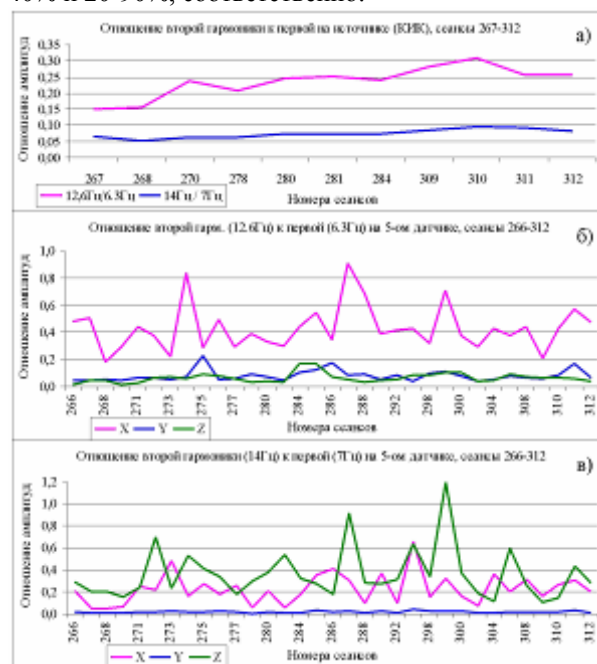


Рисунок 1. Временные вариации соотношения амплитуд первой и второй гармоник как результат много-сутучного виброндирования: а – для источника зондирования; б, в – для пункта приема

Проведено выделение скрытых периодичностей в рядах, отнесенных к пункту приема, с использованием дискретного преобразования Фурье с весовой функцией, сглаживающей края рядов наблюдений при ограниченной выборке. Результаты такого выделения, отнесенные к рядам наблюдений, соответствующим частотам зондирования 6.3 (рисунк 1б) и 7.0 Гц (рисунк 1в) представлены на рисунках 2а, 2б, соответственно.

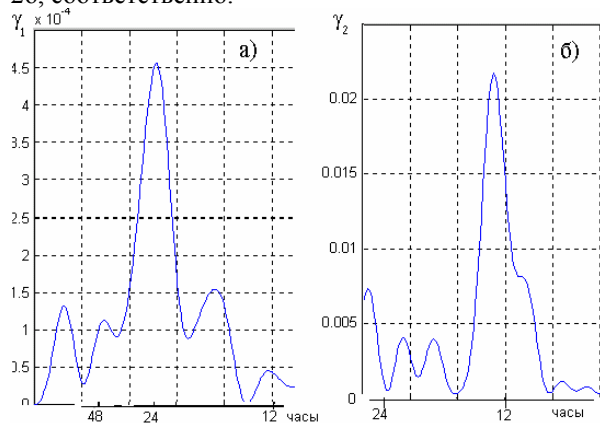


Рисунок 2. Амплитудный спектр отношения вторичных и первичных волн. Частота зондирования: а – 6.3 Гц; б – 7 Гц

Оба графика относятся к рядам наблюдений, соответствующим компоненте Z . Как следует из приведенных графиков, суточная периодичность уверенно выделяется в пределах временного ряда

$$\gamma_1 = a_{12,6}(355) / a_{6,3}(355),$$

полусуточная – $\gamma_2 = a_{14}(355) / a_{7,0}(355)$.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности оптимизации выбора частоты зондирования для выделения преобладающей периодичности в земных приливах.

Достоинством приведенной схемы выделения периодичностей в многодневных рядах наблюдений является ее инвариантность по отношению к флуктуациям вибровозбуждающей силы в источнике. Такие флуктуации компенсируются в точке приема отношением амплитуд на частотах основной и второй гармоник.

Выводы

Приведены результаты экспериментальных исследований по анализу нелинейных процессов, развивающихся на этапах излучения и распространения сейсмических колебаний при вибрационном зондировании Земли в связи с лунно-солнечными прили-

вами на удалении «источник-приемник», равном 355 км. По результатам анализа разработан метод активного вибросейсмического мониторинга сейсмо-вулканоопасных зон на основе слежения за временной динамикой соотношения параметров вторичных и первичных волн, несущей в себе информацию о геодинамических процессах в земной коре. Высокая чувствительность метода проиллюстрирована на примере выделения суточных и полусуточных периодичностей в параметрах сейсмического поля в связи с лунно-солнечными приливами. При этом показана инвариантность метода к флуктуациям амплитудных параметров излучаемого поля, которая может быть обусловлена изменениями силовых характеристик источника, а также условиями его контакта с подстилающим грунтом. Последнее имеет первостепенное значение в целях обеспечения высокой чувствительности метода слежения за геодинамикой среды при продолжительном сейсмическом мониторинге очаговых зон.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 03-05-65292-а

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С. Активные методы сейсмических исследований с мощными вибрационными источниками//Науки о Земле: современные проблемы сейсмологии. - М: Вузовская книга, 2001. - С.5-25.
2. Glinsky B.M., Khairtdinov M.S., Kovalevsky V.V. Relationship of wave fields of powerful vibrators with atmospheric and geodynamic processes//Geology and geophysics. - Новосибирск: Изд. ИВМиМГ СО РАН, 1999. - т.40, № 3. - С.431-441.
3. Khairtdinov M.S. The Nonlinear Wave Effects in Vibroseismic//Bull. Nov. Comp. Center, Math. Modell in Geophysics. - Novosibirsk, 2003. - 8 (2003). - P 59-68.
4. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред. - М.: Наука, 1982.
5. Зарембо Л.К., Красильников В.А. Введение в нелинейную акустику.- М.: Наука, 1966.
6. Хайретдинов М.С., Григорюк А.П., Дворецкая Л.Г. Частотно-временные характеристики вибросейсмических полей//Материалы международной конференции «Методы изучения, строение и мониторинг литосферы». – Новосибирск: Изд. СО РАН НИЦОНГМ, 199. - С.111-116.
7. Хайретдинов М.С. Методы распределенной обработки вибросейсмических сигналов//Материалы международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии». – Новосибирск: НГТУ, 2000. - С.607-612.

СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ЖӘНЕ ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕССТЕРІ ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ ДІРЛІГІ СЕЙСМИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГІСІ¹

Хайретдинов М.С., Родионов Ю.И., Седухина Г.Ф.

РҒА СБ Есептеуіш математика және математикалық геофизика институты, Новосибирск, Ресей

Жерді дірілгі зондтауында сейсмикалық тербелістерінің сәулелену және таратылу процессінде нығайып келетін сызықты емес процесстері қаралған. Талдау нәтижелері бойынша сызықты емес процесстерімен байланысты екінші реттік және бірінші толқындардың параметрлерінің арақатысының уақыттық динамикасын қадағалау негізінде сейсмо-жанартау қауіпті белдемдердің белсенді мониторинг әдісі ұсынылған. Айдың-күннің тартуымен лықсуларымен байланысты сейсмикалық өрісінің параметрлерінде тәуліктік және жартытәуліктік кезеңділіктерін шығаруына әдістің жоғары сезгіштігі безендіріледі.

**NONLINEAR AND GEODYNAMIC PROCESSES
AND VIBROSEISMIC MONITORING OF THE ENVIRONMENT**

M.C. Khairtdinov, Yu.I. Radionov, G.F. Sedukhina

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Nonlinear processes developing at radiation and propagation stages of seismic oscillation at Earth vibration sounding are reviewed. Active monitoring method of seismic-volcano dangerous areas is introduced according to analysis results based on temporary dynamics tracking of primary and secondary waves parameters ratio due to nonlinear processes. High sensitivity of the method to daily and semi-diurnal periodicity detection in seismic field parameters due to lunar and solar tides is illustrated.

УДК 550.388: 621.039.9

К ИСТОРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ**Васильев А.П.***Служба специального контроля Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва*

Инфразвуковой, или акустический, метод обнаружения ядерных взрывов в настоящее время является одним из четырех методов, на основе которых, начиная с 1996 г., создается Международная система мониторинга в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). У этого метода, являющегося старейшим среди других, имеется своя, более чем 50-летняя история. В статье дается краткая история возникновения и развитии акустического метода в США и России (СССР).

У истоков возникновения инфразвукового метода контроля

Американский ученый Морис Юинг (Ewing Maurice) в 1945 г. предложил использовать акустические наблюдения в волноводном ионосферном канале для контроля за возможными атомными испытаниями в СССР. В развитие сделанного предложения в рамках секретного исследовательского проекта MOGUL (начатого в 1947 г.) в аэростатах, засылаемых на территорию СССР, размещалась, кроме прочей, аппаратура приема акустических волн [9].

В Меморандуме генерала Лемэя (Curtis E. LeMay) относительно подчинения создаваемой в 1947 г. службы дальнего обнаружения ВВС США, приведен довод, заключающийся в том, что акустические приборы были разработаны по проекту Управления материально-технического снабжения ВВС. Результаты выполнения данного проекта для наведения самолетов на цель с помощью регистрации волн от больших искусственных взрывов оказались сомнительными, но для дальнего обнаружения мощных ядерных взрывов разработанные приборы оказались вполне пригодными. И акустический метод стал одним из трех методов, на основе которых 16 сентября 1947 г. была учреждена система дальнего обнаружения ядерных взрывов США [9].

Сначала акустический метод применялся в интересах Системы обнаружения ядерной энергии США (USAEDS) войсками связи Армии США, но с 1969 г. акустическая сеть обнаружения ядерных взрывов была передана в Центр прикладных технологий воздушных сил США (AFTAC). В начале 1970-х годов, по мере ввода спутниковой глобальной системы обнаружения ядерных взрывов по проекту VELA, акустическая система, насчитывавшая 27 станций в лучшие годы, постепенно стала сокращаться, пока не была закрыта последняя пара станций в июне 1975 г. Новый виток развития инфразвукового метода контроля в США связан с переговорами и подписанием в 1996 г. Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [9].

Появление и становление акустического метода в СССР. О причинах регистрации сейсмографом акустических волн

Основой создания в Советском Союзе специальной аппаратуры инфразвукового метода дальнего обнаружения ядерных взрывов послужил факт парадоксальной регистрации сейсмографом воздушной

волны от термоядерного взрыва 12 августа 1953 г., произведенного на Семипалатинском испытательном полигоне. На эту конкретную дату указывают следующие обстоятельства. В связи с выявленной парадоксальной регистрацией научный руководитель работ по дальнему обнаружению ядерных взрывов Кикоин И. К. в конце 1953 г. отдал распоряжение Каменеву Е. М. о разработке микробарографа в ЛИПАНе [2]. До термоядерного испытания 12 августа 1953 г. в Советском Союзе было проведено всего 4 испытания, мощность которых составляла от 10 до 40 кт. Как будет показано ниже, взрыв 12 августа 1953 г. мощностью 400 кт явился предельно малым с точки зрения проявления акустического эффекта. Однако этого было достаточно для того, чтобы на него обратил внимание директор Геофизического института Академии наук СССР (ГЕОФИАН) Гамбурцев Г. А., руководивший регистрацией и обработкой сейсмических данных на станциях, расположенных вокруг Семипалатинского испытательного полигона. По распоряжениям обоих руководителей к марту 1954 г. было создано два типа высокочувствительных барографов: в ЛИПАН - с мембранным емкостным преобразователем, в ГЕОФИАН - с электродинамическим преобразователем. 27 марта 1954 г. приборами ЛИПАН впервые в Советском Союзе были зарегистрированы инфранизкочастотные атмосферные колебания от термоядерного взрыва на атолле Бикини [3]. Как показало время, принцип емкостного преобразования, успешно использованный Балашовым К. И. (ЛИПАН) в дифференциальных схемах усиления по постоянному току, оказался наиболее перспективным для последующего поколения приборов, обладавших высокой чувствительностью и стабильностью. Впоследствии приборами конструкции ЛИПАН были оснащены пункты наблюдения сети дальнего обнаружения ядерных взрывов. Ее сотрудниками были проведены многочисленные исследования и получены результаты, послужившие основой методического обеспечения применения акустического метода для оценки мощности и местоопределения источника, для повышения соотношения сигнал/шум с помощью акустической системы усреднения. После 1958 г. вся акустическая сеть обнаружения ядерных взрывов работала под управлением Службы специального контроля, постоянно расширяясь и совершенствуясь. К моменту развала СССР она насчитывала

вала более 25 пунктов наблюдения, в каждом из которых имелось не менее 2 инфразвуковых комплексов, состоящих из приемной и регистрирующей аппаратуры, анализаторов-корреляторов и калибровочных устройств, работавших от системы акустического усреднения типа “паук”.

Много разных проблем в инфразвуковом методе контроля ждет своего разрешения, но следует остановиться на одной из самых старых, связанных с неясностью причины парадоксальной регистрации воздушных волн длиннопериодными сейсмографами. Первоначально этот феномен объяснялся “плаванием” маятника под действием флуктуаций плотности воздуха, сопровождающих изменение давления в инфразвуковой волне [6,11]. Правда, еще в 1953 г. в совместной статье родоначальника метода Мориса Юинга и Франка Пресса (Press Frank) [10] было высказано сомнение в такой трактовке, и указана другая возможная причина - воздействие переменного атмосферного давления непосредственно на грунт. В настольной книге отечественных специалистов по обнаружению ядерных взрывов, какой является монография Пасечника И. П. [7], появившаяся в конце 1960-х гг., утверждалось, что “...механизм воздействия воздушных волн на сейсмографы пока не совсем ясен...” Вместе с тем, в той же монографии отмечалось, что между записями колебаний воздушных волн на длиннопериодном сейсмографе и на микробарографе наблюдается высокая корреляция, особенно, на начальными участками, и в качестве примера приводились записи воздушных волн, в том числе, сделанные горизонтальными каналами. В [6] приводится еще одна пара воздушных волн, зарегистрированных одновременно сейсмографами и микробарографами при проведении ядерного взрыва большой мощности. Этими двумя парами записей воспользуемся для количественной сравнительной оценки и получения ответа на вопрос, на что же реагирует маятник при приходе воздушной волны в пункт наблюдения.

Величина ускорения маятника при синусоидальном установившемся процессе под действием архимедовой силы была определена по формуле, предложенной в [11], путем подстановки в нее амплитуды давления в воздушной волне, приведенной в [6,7]. Величина ускорения того же маятника, как реакция на наклоны грунта при воздействии воздушной волны, получена из записей, приведенных в [6,7]. При этом были учтены амплитудно-частотные характеристики и коэффициент усиления сейсмографов, работавших в режиме акселерографов (пе-

риоды колебаний грунта значительно превышают периоды собственных колебаний маятника), а также использованы постоянные и характеристические зависимости из [1]. Сравнение полученных результатов показало, что амплитуда ускорения “всплывания” маятника на два-три порядка меньше амплитуды ускорения, рассчитанной на основании реальных записей, взятых из [6,7]*. Было найдено также и экспериментальное подтверждение тому, что движение грунта, вызванное изменением нагружения участков поверхности земли при прохождении воздушной волны над местом установки сейсмографа, много больше “плавания” маятника в этом случае. В [13] показано, что при вариациях атмосферного давления, сопоставимых по величине с вариациями атмосферного давления воздушных волн от ядерных взрывов, последние регистрируются одинаково четко на записях всех трех компонент сейсмического поля, как сейсмографом с практически полностью герметизированным корпусом, так и сейсмографом в обычном исполнении.

Для получения более полной картины регистрации сейсмографами инфразвуковых колебаний атмосферы при мощных ядерных взрывах были привлечены архивные сейсмограммы Геофизической обсерватории (ГО) Обнинск и записи сейсмографов станций глобальной сети Ламонтской геологической обсерватории (ЛГО), опубликованные в [5]. В архиве ГО удалось обнаружить записи трех наиболее мощных ядерных взрывов, произведенных на полигоне Новая Земля и полученные 8 станциями АН СССР. Следует заметить, что воздушные волны были зарегистрированы не только длиннопериодными сейсмографами, но и сейсмографами широкополосными (СК) и даже короткопериодными (СКМ). Параметры сигналов найденных записей, сведены в таблицу 1.

В приведенной таблице: Δ – эпицентральное расстояние; $t_{пр}$ – время пробега волны; $V_{ав}$ – скорость распространения акустической волны; T – период колебаний волны; $2 Y_m$ – двойной размах записи при максимальной амплитуде; A – одинарная амплитуда максимального ускорения маятника, соответствующая двойному размаху $2 Y_m$.

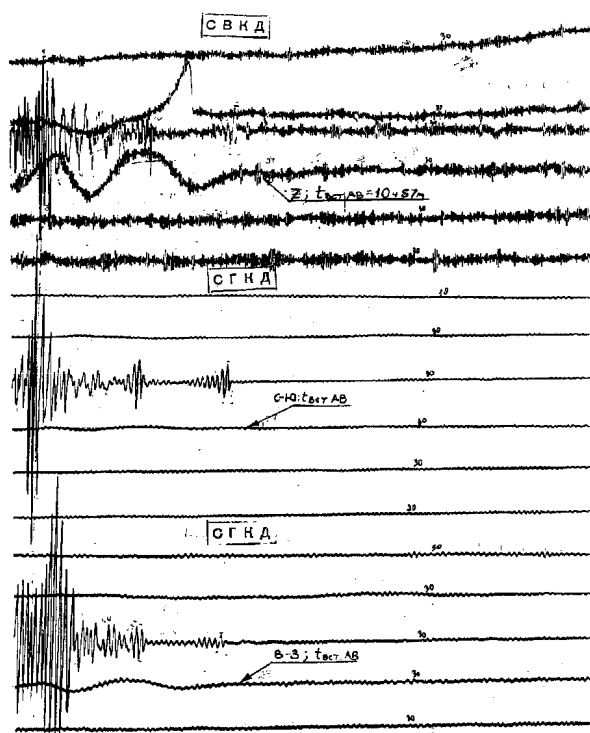
На рисунке 1 приведены две, наиболее характерные сейсмограммы, зарегистрированные фотогальванометрическими каналами. Записи сделаны с использованием трехкомпонентных длиннопериодных сейсмографов системы Киринос Д.П. Вступление акустических волн помечены на записях как АВ.

* При оценочных расчетах могут возникнуть затруднения, связанные с толкованием единицы звукового давления *бар* в отечественной научной литературе. До 1959 г. по ОСТ ВКС 7242 для измерения давления применялись единицы атмосферного и звукового давления, и обе назывались *бар*, в частности, звуковой *бар* был равен 10 дн/см². С 1.01.1959 г. по ГОСТ 8849-59 для измерения как атмосферного, так и звукового давления стала применяться общая единица *бар*, равная 10⁶ дн/см² [4]. В [7] *бар* имеет устаревшее значение и поэтому 100 *бар*, характеризующие величину флуктуации атмосферного давления, регистрируемого сейсмографом, соответствуют 0,001 современной единицы *бар* действия на маятник архимедовой силы (в зарубежных публикациях такой путаницы нет)

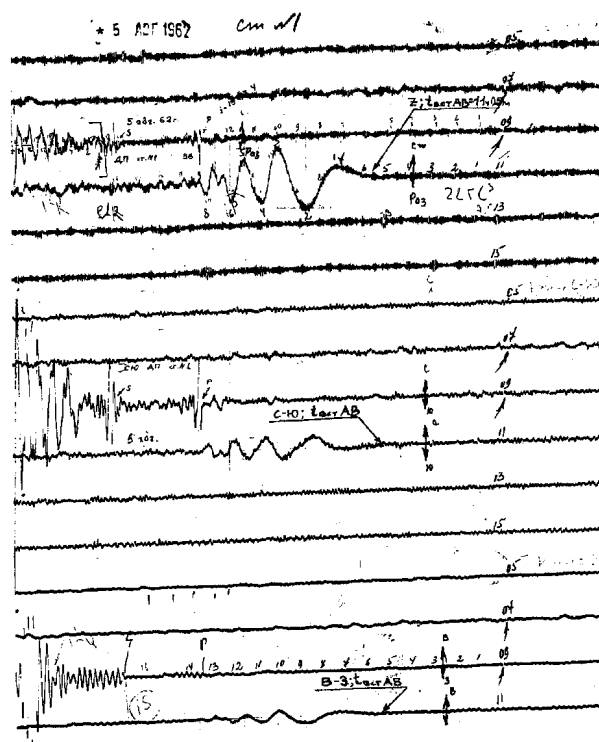
К ИСТОРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Таблица 1. Параметры сигналов акустических волн, зарегистрированных сейсмографами на станциях АН СССР, от мощных ядерных взрывов, произведенных на полигоне Новая Земля

Станция, канал, составляющая	Δ км	Δt_{AB} час	V_{AB} км/час	T_1 сек	T_2 сек	T_3 сек	T_4 сек	2Ym, мм	A_m , мм/сек ²
1. Взрыв 6.10.1957г. в 8 час 58 мин 00,0 сек Мощность 2,9 Мгт									
Иркутск, Z	3350	2,97	1128	90	72	70	-	1,3	2,2
Сейсмографы:									
Голицына Б.Б	Следы сигналов на горизонтальных каналах не поддаются обработке								
Кирноса Д.П.	Сигналы на всех каналах не выделяются								
Нарын, Z	3750	3,4	1102	100	80	52	50	1,8	0,34
Канал с СК	Сигналы на горизонтальных каналах не выделяются								
2. Взрыв 30.10.1961г. в 8 час 33 мин 27,8 сек. Мощность 50 Мгт									
Амдерма, Z	600	0,45	1333	180	120	-	-	3,0	4,5
Канал с СК									
Михнево, Z	2100	2,08	1009	300	256	214	-	16,0	17,7
СКД СЮ				300	256	214	-	1,5	1,6
СКД ВЗ				300	256	214	-	3,5	3,8
Тикси, Z	2500	2,08	1201	100	-	-	-	2,5	25
Канал с СКМ	Сигналы на горизонтальных каналах не выделяются								
Алма-Ата, Z	3300	3,07	1074	240	200	160	120	4,0	5,0
Канал с СК	Сигналы на горизонтальных каналах не выделяются								
Ашхабад, Z	3750	3,48	1077	160	-	-	-	2,5	2,6
Канал с СК	Сигналы на горизонтальных каналах не выделяются								
Кульдур, Z	Сигнал не выделяется из-за большого фона помех с T=5-8 сек								
СКД СЮ	4750	3,83	1240	120	-	-	-	3,0	0,16
СКД ВЗ	След сигнала не поддается обсчету								
3. Взрыв 5.08.1962 г. в 9 час 08 мин 45,8 сек. Мощность Q=21,1 Мгт									
Михнево, Z	2100	1,92	1093	180	130	100	84	20,0	3,75
СКД СЮ				180	130	100	84	7,5	1,40
СКД ВЗ				180	130	100	84	3,5	0,65



а



б

Рисунок 1. Запись воздушной волны 3-хкомпонентным длиннопериодным сейсмографом Кирноса Д.П. Станция Михнево. Термоядерные взрывы на полигоне Новая Земля: а - 30.10.1961 г., 08 час. 33 мин. Мощность взрыва 50 Мгт; б – 05.08.1962 г., 08 час 58 мин; мощность взрыва 21,1 Мгт

В США три станции сейсмической сети Ламонтской геологической обсерватории: Резолут-Бей (RES), Канада; Цукуба (MTJ), Япония; Сува (SUV), острова Фиджи, - зарегистрировали с помощью длиннопериодных сейсмографов воздушные сигналы во время проведения ядерных взрывов на четырех различных полигонах [5]. Было получено двадцать сейсмограмм. В таблице 2 приведены результаты обработки записей воздушных волн на сейсмограммах Ламонтской геологической обсерватории, полученных при проведении взрывов на полигонах Новая Земля (NZ), на острове Рождества (C1), на острове Джонстон (J1).

Таблица 2 Параметры воздушных волн от ядерных взрывов, зарегистрированных длиннопериодными сейсмографами на станциях сети Ламонтской геологической обсерватории

№ п/п	Полигон, мощность взрыва, кт	Станция RES		Станция MTJ		Станция SUV	
		дата, Δ, км	Δt, мин Tmax/ Tmin, сек.	дата, Δ, км	Δt, мин Tmax/ Tmin, сек.	дата, Δ, км	Δt, мин Tmax/ Tmin,сек
1.	NZ; 1450	12.10.58 3500	22,5 180/50				
2.	NZ; 1500	15.10.58 3500	18,0 150/75				
3.	NZ; 2900	18.10.58 3500	18,0 240/90				
4.	NZ, 2800	22.10.58 3500	27,0 250/100				
5.	NZ, 2700			10.09.61 6500	16,0 190/50		
6.	NZ, 12500					23.10.61 12900	30,0 500/200
7.	NZ, 50000			30.10.61 6074 33966	A1 - 23,0 330/50 A2 - 17,0 180/50	30.10.61 12900	53,0 544/150
8.	C1, < 1000			2.05.62 7472	37,0 180/70		
9	C1, Мгт- класса			27.06.62 7486	45,0 200/100		
10.	C1; 830			11.07.62 7483	50,0 200/60		
11.	NZ; 21100			5.08.62 6071	54,0 250/50		
12.	NZ, 1900			8.09.62 6083	90,0 240/70		
13.	NZ, 1900-10000			19.09.62 6087	55,0 200/50		
14.	NZ; 19100			25.09.62 6028	105,0 300/50		
15.	NZ, > 10000			27.09.62 6040	40,0 280/40		
16.	J1, < 1000			18.10.62 5596	40,0 100/50		
17.	NZ, 8200			22.10.62 6081	55,0 240/50		
19.	J1, Мгт- класса			30.10.62 5356	60,0 340/85		
20.	NZ, 24200			24.12.62 6032	50,0 400/70		

В приведенной таблице: Δt - длительность сигнала; Tmax/Tmin - максимальный и минимальный периоды сигнала; A1 - регистрация прямой волны (Δ=6074 км); A2 - регистрация обратной волны, прошедшей через антипод (Δ=33966 км). При составлении таблицы уточненные данные о мощности взрывов взяты из [12].

На рисунке 2 приведены образцы проанализированных записей.

Обобщенная запись воздушной волны, зарегистрированная сейсмографом, по форме выглядит аналогично записи, полученной с использованием микробарографа. Это - волновой пакет колебаний переменного периода общей длительностью от 10 минут до 1,5 часов и длительностью квазиполупериодов от 25 до 200 секунд, зависящими от мощности взрыва и дальности регистрации. Для большинства сигналов характерна нормальная дисперсия скорости распространения волны, т.е. наибольшая для более низкочастотных составляющих сигнала. Диапазон расстояний, на которых отмечались случаи регистрации воздушных волн сейсмографом, составляет 600-33 966 км.

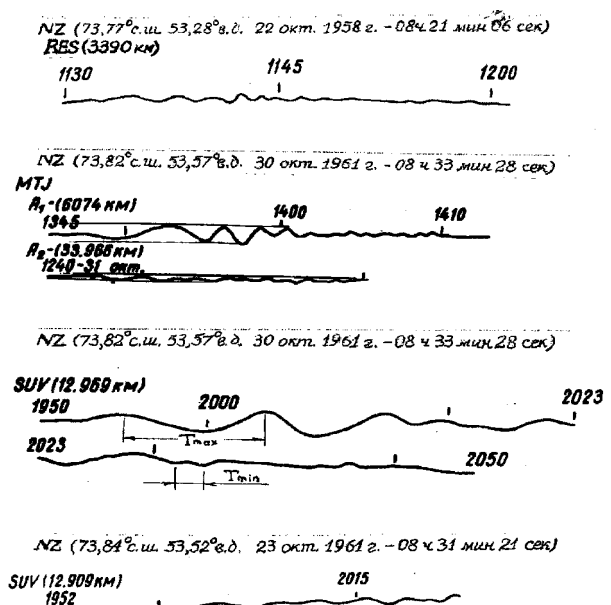


Рисунок 2. Записи воздушной волны длиннопериодным вертикальным сейсмографом на станциях Ламонтской геологической обсерватории RES, MTJ, SUV. Термоядерный взрыв на полигоне Новая Земля

Наименьшая мощность взрыва, при которой воздушная волна зарегистрирована сейсмографом, равна 800 кт. Однако, если учесть факт регистрации воздушной волны сейсмографом от термоядерного взрыва 1953 г (мощностью 400 кт на расстоянии 1000-2000 км), в качестве наименьшей мощности взрыва, при которой регистрировалась воздушная волна, может быть принята мощность этого взрыва, которой соответствует амплитуда инфразвуковой волны порядка 0,1 мбар. Собранный архивный материал позволил заключить, что горизонтальные составляющие в записях сейсмографом воздушной волны также присутствуют, и по форме они подобны вертикальной компоненте. Более глубокий анализ рассматриваемых записей сделать не удалось, так как появились большие сомнения в идентичности АЧХ каналов. Сомнение основывается на резко отличающемся уровне фона микросейсм. К сожалению, данных Ламонтской геологической обсерватории по горизонтальным компонентам не обнаружено.

РАСШИРЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА

Создание инфразвуковой системы мониторинга в рамках ДВЗЯИ, предполагающей объединение 60 станций, расположенных на всех 6 материках Земли, открывает широкие перспективы для использования ее данных не только в целях обнаружения ядерных взрывов, но и в научных, и хозяйственных интересах. Пионерским в этом отношении представляется доклад по акустическому методу, сделанный представителем США мистером Дэйлом Носрупом (Doyle I. Northrup), на Женевском совещании экспертов в 1958 г. Здесь были показаны записи инфразвуковых колебаний от взрывов больших метеоритов и вулканов на расстоянии до 3000-4000 км от источников, а также записи, полученные от вертикальных движений обширных участков земной поверхности эпицентральной зоны землетрясения на расстоянии 300 км [9]. Позднее, в 1995 г., учеными Лос-Аламосской национальной лаборатории был выполнен анализ воздушных волн от взрывов метеоритов, зарегистрированных аппаратурой акустического метода в течение 1960-1974 гг. на расстоянии от 800 до 14000 км. Всего за период мониторинга было выявлено 10 таких взрывов с эквивалентной мощностью от 0,2 кт до 1,1 мвт [9]. Примечательна также работа Пасечника И. П. по предварительной оценке параметров взрыва Тунгусского метеорита путем сопоставления параметров записей воздушных волн, зарегистрированных сейсмографами и барографами, от метеорита и от воздушных ядерных взрывов [8].

Многое может дать одновременное измерение в одном и том же месте и в течение длительного времени (например, года) флуктуаций атмосферного давления и смещений, деформаций и наклонов по

трем составляющим для прояснения картины взаимодействия атмосферы с литосферой, для получения характеристик выбираемого места установки высокочувствительной регистрирующей аппаратуры. Наконец, с помощью глобальной разветвленной сети инфразвуковых станций, вместе с данными о состоянии магнитного поля Земли и ионосферы, можно будет установить поведение верхних инверсионных слоев атмосферы, что имеет важное значение для изучения волноводного распространения акустических волн, а также для прогноза метеорологических катаклизмов. Постоянная работа по обнаружению источников воздушных волн различного происхождения позволит поддерживать инфразвуковой метод обнаружения ядерных взрывов в состоянии постоянной готовности.

Выводы

1. Инфразвуковой метод впервые был применен для обнаружения ядерных взрывов в США в 1947 г. Его родоначальником можно считать Мориса Юинга (США). Большой вклад в развитие этого метода контроля был внесен Франком Прессом, Беньюфом, Грери А., Дэйлом Носрупом.

2. В СССР инфразвуковой метод контроля появился в 1954 г. благодаря факту парадоксальной регистрации длиннопериодным сейсмографом воздушной волны от термоядерного взрыва. У истоков метода стояли Гамбурцев Г.А., Кикоин И.К., Пасечник И.П., Федосеенко Н.Е., Каменев Е.М, Ремин Г.А., Балашев К.И.

3. Причиной регистрации сейсмографом воздушных волн от мощных ядерных взрывов является движение грунта, вызываемое изменением нагружения земной поверхности, при прохождении воздушной волны над местом установки сейсмографа. Запись воздушных волн глобальной сетью длиннопериодных сейсмографов (при отсутствии в пунктах наблюдения микробарографов или при искажении записи из-за недостаточного динамического диапазона) может дать дополнительную информацию о взрывных источниках, вызвавших эти волны.

4. Инфразвуковой мониторинг может дать полезную информацию о взрывах больших метеоритов, извержениях вулканов, сильных землетрясениях и других источниках, связанных с возмущением атмосферы.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность Старовойту О.Е. за предоставление архивных материалов обсерватории "Обнинск" и Осике В.И. за многочисленные полезные советы и заинтересованное обсуждение затронутых в статье вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. - М.: Наука, 1974.
2. Балашов К.И. Сотрудничество у истоков Службы спецконтроля//У истоков контроля за ядерными взрывами, - М., 1995.
3. Балашов К.И. и др. Дистанционная регистрация взрывов атомных и водородных бомб//Курчатовский институт. История атомного проекта. - М., 1996.
4. Блинова Л.П. Акустические измерения, - М.: Стандарты, 1971.

5. Донн, Шоу Исследование атмосферных колебаний, вызванных ядерными взрывами//Распространение и регистрация инфразвуковых волн ядерных взрывов (пер. с англ.). - М.: Атомиздат, 1970.
6. Пасечник И.П., Федосеенко Н.Е. "Электродинамический микробарограф с гальванометрической регистрацией"//Известия АН СССР, сер. Геофизическая, 1958, № 1.
7. Пасечник И.П. Характеристика сейсмических волн при ядерных взрывах и землетрясениях. - М.: Наука, 1970.
8. Пасечник И.П. Предварительная оценка параметров взрыва Тунгусского метеорита по сейсмическим и барографическим данным//Современное состояние проблемы Тунгусского метеорита. - Томск, 1971.
9. A Fifty Year Commemorative History of Long Rang Detection/HQ Air Force Technical Applications Center. - Florida: Patric Air Force Base, 1997.
10. M. Ewing, F. Press Further study of atmospheric pressure fluctuations recorded on seismograph//Trans. Am. Geophys. Un. – 1953. - 34, № 1.
11. Grary, M. Ewing Barometric disturbance recorded on a vertical longperiod seismographs//Trans. Am. Geophys. Un. – 1952. - 33, № 4.
12. PIDC Nuclear Explosion Database (Revision 2)//CMR Technical Report CMR-99/16 May 1999.
13. J. Savino, K. McCany, G. Hade Structures in Earth Noise bevond twenty seconds - window for earthquakes// Bull. of the Seismological Society of America. - 1972. - vol. 62, Februar.

ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРЫН ТАБУ БОЙЫНША ИНФРАДЫБЫСТЫ ӘДІСІНІҢ ПАЙДА БОЛУ ТАРИХЫНА

Васильев А.П.

Ресей Федерациясы Қорғаныс министрлігінің Арнайы бақылау қызметі, Мәскеу қ.

Қазіргі заманда, ядролық жарылыстарын табу бойынша инфрадыбысты немесе акустикалық әдісі, 1996 ж бастап олардың негізінде Ядролық сынауларына бәрін қамтитін тиым салу туралы шарттың (ЯСБТШ) шегінде Халықаралық мониторинг жүйесі жасалған төрт әдістерінің бірі болып табылады. Мақалада АҚШ және Россияда (СССР) акустикалық әдісі пайда болу және дамуының қысқаша тарихы келтірілген.

TO THE HISTROY OF CREATING AN ACUSTIC TECHNIQUE FOR DETECTION OF REMOTE NUCLEAR EXPLOSIONS

A.P. Vasiliev

The Special Monitoring Service, Russian Federation, Moscow

The infrasound or acoustic technique for nuclear explosion detection is currently one of the four techniques, which became a basis for creation of the International Monitoring System for the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTCBT) that is being in the process of development since 1996. This technique, as the oldest one among the others, has its own a more than 50-year history. This paper outlines the history of initiation and development of the acoustic technique in the USA and Russia (former USSR).

УДК 596.551.510.535

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДОПЛЕРОВСКИХ ПОРТРЕТОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ: ИЗУЧЕНИЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ

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

Институт ионосферы МОН РК, Алматы, Казахстан

Рассматриваются возможности ионосферного метода устанавливать различие в «портретах» подземных ядерных взрывов и землетрясений. Теоретически и экспериментально показана высокая эффективность ионосферного метода в решении задачи идентификации. Рекомендуется его использование совместно с сейсмическим методом мониторинга.

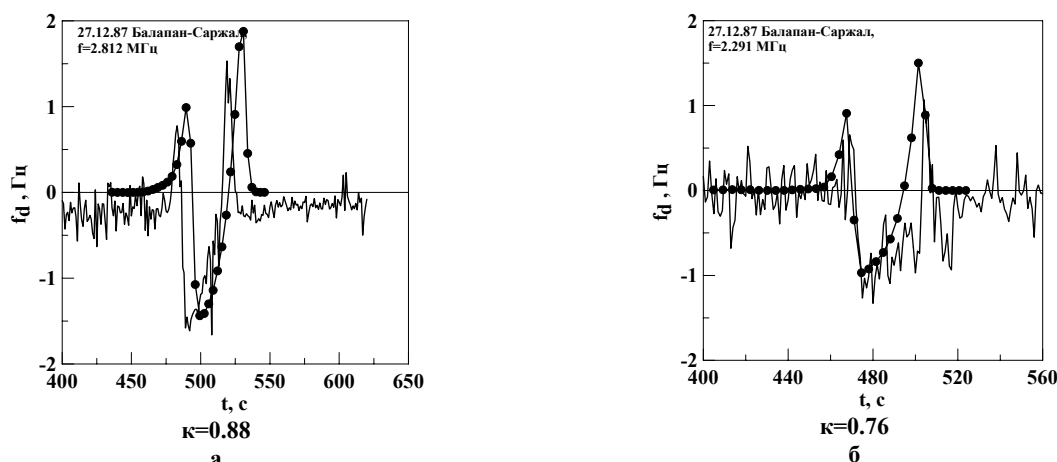
ВВЕДЕНИЕ

Задача определения отличительных признаков землетрясений и подземных ядерных взрывов представляет значительный интерес. Многолетний опыт Службы специального контроля СССР показал [1], что непосредственно в районе ядерного взрыва идентификационные «портреты» электромагнитного излучения, инфразвука, сейсмической волны и других явлений четко выражены. Однако по мере удаления от места взрыва «портреты» искажаются и на каком-то расстоянии перестают отличаться от «портретов» фоновых сигналов. В следствие этого, задача обнаружения сигнала от взрыва на удалении от места события приобретает вероятностный характер, а ее решение перестает быть простым и однозначным. На сегодняшний день самым приоритетным и развитым методом обнаружения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) является сейсмический. Развертывание международной сети сейсмических станций значительно приблизило пункты наблюдений к потенциальным местам проведения ПЯВ и, тем самым, облегчило решение задачи их обнаружения и идентификации. Вместе с тем, даже в новых условиях эта задача в ряде случаев остается достаточно сложной [2]. Главный метод идентификации события - по соотношению амплитуд длиннопериодных и короткопериодных сейсмических волн, - не всегда оказывается достоверным. Приходится

дополнительно анализировать другие факторы, в том числе, местоположение источника сейсмической волны и глубину его заложения. При этом теряется оперативность решения задачи, и могут возникать спорные ситуации. Кардинальный выход из сложившейся ситуации видится в дополнении сейсмического метода ионосферным. Действительно, главным преимуществом ионосферного метода является возможность регистрации идентификационных признаков непосредственно над местом взрыва [3], т.е. регистрация неискаженных «портретов» сигнала. Однако для решения этой задачи необходимо четко представлять особенности акустических и ионосферных возмущений непосредственно в районе взрыва.

ОСОБЕННОСТИ «ИОНОСФЕРНЫХ ПОРТРЕТОВ» ПЯВ

Для исследования особенностей ионосферных «портретов» ПЯВ была создана адекватная эксперименту численная модель генерации акустических волн подземным ядерным взрывом и их воздействия на ионосферу. Работоспособность модели иллюстрируется на рисунке 1, где представлены экспериментальные и расчетные кривые доплеровского сдвига частоты радиозондирующей волны для подземного ядерного взрыва, проведенного на Семипалатинском испытательном полигоне 27 декабря 1987 г.



Сплошные линии – эксперимент; линии с точками - расчет

Рисунок 1. Форма экспериментального и рассчитанного «портрета» доплеровского сдвига частоты радиоволны, зондирующей ионосферу. Подземный ядерный взрыв 27 декабря 1987 г. Частота радиозондирования: (а) - 2.812 МГц; (б) - 2.291 МГц

Значения коэффициента корреляции (κ) между экспериментальными и расчетными «портретами» ПЯВ – 0.88 (рисунок 1 а) и 0.76 (рисунок 1 б) подтверждают хорошее совпадение кривых и их адекватность.

С использованием созданной численной модели, прежде всего, были рассмотрены закономерности диаграммы направленности излучения акустической энергии, создаваемой откольной зоной при подземном ядерном взрыве. На рисунке 2 представлены результаты расчета диаграммы направленности для различных глубин заложения заряда (H) и мощности взрыва (Q), где θ – зенитный угол выхода акустического луча; Q_e – мощность химического заряда, эквивалентная по моменту количества движения акустического импульса; $Q_{\max}$ – мощность излучения в максимуме диаграммы направленности.

Из рисунка 2 видно, что, несмотря на разнообразие условий проведения взрывов, диаграмма направленности излучения сохраняет один и тот же вид и остается узконаправленной – с шириной лепестка около 12° по уровню 0.5. Вторым важным выводом – основная часть акустической энергии взрыва переносится вертикально вверх. Постоянство диа-

граммы направленности излучения при ПЯВ является следствием аксиальной симметрии зоны откола и строгой последовательности синхронных вертикальных движений кольцеобразных зон откола от центра к краю. Эти закономерности придают уникальную особенность диаграмме направленности акустического излучения, вследствие чего она может служить важным идентификационным признаком ПЯВ. Для других источников акустической энергии, подобных колебаниям поверхности излучения акустической энергии ожидать трудно. Например, в случае землетрясения формирование трещин на дневной поверхности происходит, как правило, вдоль направления горизонтального движения отдельных блоков, и соответствующий подъем (опускание) отдельных участков земной поверхности происходит вместе с образованием трещин [4]. В результате, диаграмма направленности акустической энергии при землетрясении не может иметь аксиальную симметрию. Кроме того, картина сильно отличается от картины, получаемой для ПЯВ, из-за асинхронного движения отдельных блоков.

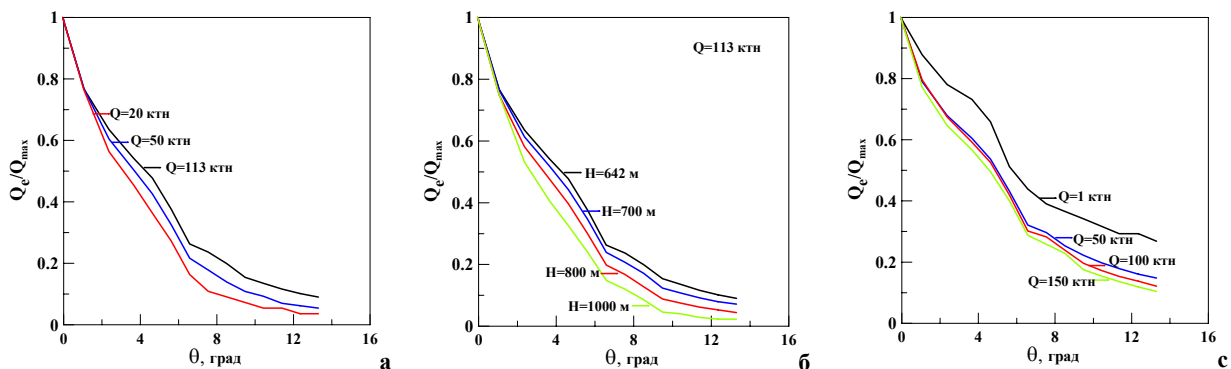


Рисунок 2. Диаграмма направленности излучения акустической энергии подземного ядерного взрыва: (а) – мощность взрыва 20, 50 и 113 ктн TNT, постоянная глубина заложения заряда 648 м; (б) – постоянная мощность взрыва 113 ктн, глубина заложения заряда 543, 700, 800 и 1000 м; (с) – мощность взрыва 1, 50, 100 и 150 ктн, глубина заложения заряд соответствует условию полного камуфлета, следующему из формулы $H = 12 \cdot \sqrt[3]{Q}$

Приведенные обстоятельства позволяют предположить:

- картины возмущений ионосферы от ПЯВ и землетрясения должны существенно отличаться друг от друга;
- параметры акустических и ионосферных возмущений от ПЯВ являются хорошо прогнозируемыми, в то время как прогноз параметров возмущений от землетрясения, практически, невозможен.

Учитывая, что сильные сейсмические и акустические волны одновременно могут излучать только два явления: ПЯВ и землетрясения, – решение задачи их идентификации не представляется сложным. Действительно, если зарегистрированный «ионосферный сигнал» поддается расчету с использова-

нием модели воздействия ПЯВ на ионосферу, то его следует идентифицировать как ПЯВ, если нет, то он должен быть отнесен к землетрясению. Для подтверждения высказанного положения рассмотрен пример интерпретации данных доплеровского радиозондирования ионосферы, проведенного во время Коалингского землетрясения, на основе модели для ПЯВ. Землетрясение с магнитудой 6.2-6.5 произошло 2 мая 1983 г. [5]. Регистрация доплеровского сдвига частоты проводилась на пяти различных радиотрассах, показанных на рисунке 3, на частотах 10.2 и 5.2 МГц. При этом передатчик находился в Las Vegas, а приемники в пунктах SRII, Clear Lake, McClellan, Red Bluff, Quincy.

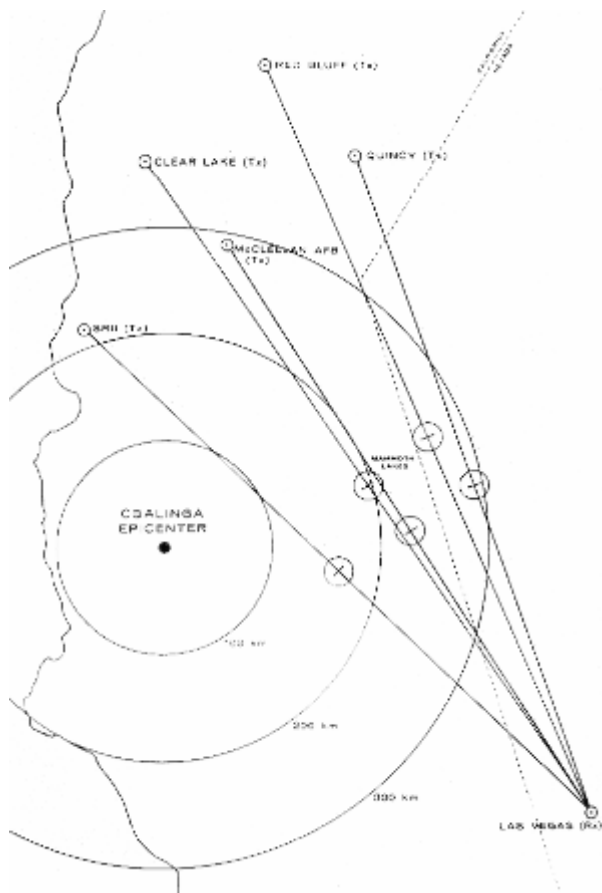
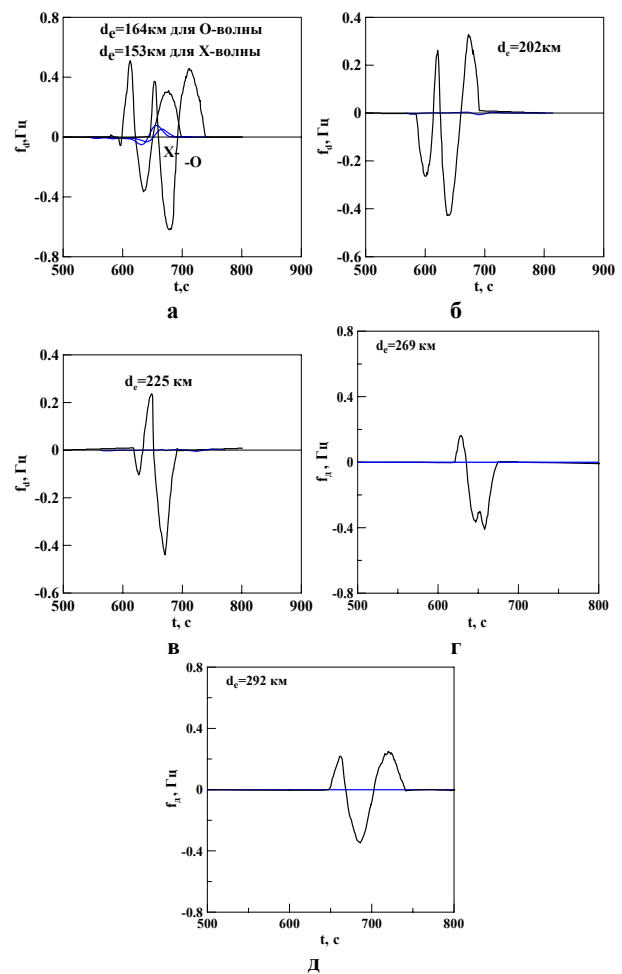


Рисунок 3. Карта-схема радиозондирования ионосферы во время Коалингского землетрясения (02.05.1983 г.)

Результаты измерений на частоте $f=10.2$ МГц представлены на рисунке 4. Прежде всего, при интерпретации полученных записей необходимо было попытаться подобрать эквивалентную мощность излучения акустической энергии ПЯВ, которая обеспечила бы наилучшее соответствие экспериментальным записям.

Из всех исследованных трасс наиболее близко к эпицентру землетрясения расположена радиотрасса SRH - Las Vegas. Инфразвук распространялся по ней под меньшим зенитным углом и кратчайшим путем, и потому должен был иметь наибольшую амплитуду и наибольшее соотношение сигнал к шуму. Поэтому исследования начаты с этой трассы.

Экспериментальная запись, приведенная на рисунке 5 а, представлена двумя последовательными откликами, которые в соответствии с [5] являются результатом последовательного воздействия акустического импульса на обыкновенную и необыкновенную компоненты радиоволны. Расчет траектории распространения радиоволн проведен с учетом геометрии эксперимента и следующих геофизических условий: осредненный за три предыдущих месяца до землетрясения индекс солнечной активности равнялся $F10.7A=106.8$, за день до землетрясения – $F10.7=127.8$; индекс геомагнитной активности – $A_p=14$. Результаты расчета показали, что высота отражения необыкновенной волны равняется 220.7 км, а обыкновенной – 218.3 км.



Черные линии - эксперимент; синие линии - результаты расчета на основе модели для ПЯВ, d_c - расстояние от очага землетрясения

Рисунок 5. Экспериментальные и расчетные формы возмущения доплеровского сдвига частоты. Коалингское землетрясение. Частота радиозондирования $f=10.2$ МГц. Радиотрассы (рисунок 4): а - SRH - Las Vegas; б - Clear Lake - Las Vegas; в - McClellan - Las Vegas; г - Red Bluff - Las Vegas; д - Quincy - Las Vegas

При этом, удаление от эпицентра составляло 153.4 и 164.2 км, соответственно, а зенитный угол выхода акустических лучей 21.3 и 22.4°. Из приведенных данных следует, что путь акустического луча короче до точки отражения необыкновенной радиоволны. Соответственно, первый отклик на доплеровской записи должен соответствовать реакции частоты радиоволны на акустический импульс необыкновенной радиоволны. Для выбора мощности землетрясения, эквивалентной мощности ПЯВ, проведен перебор различных значений мощности взрыва, расчет соответствующей формы доплеровского сдвига частоты, оценка коэффициента корреляции между экспериментальной и расчетной кривыми (использовался специально созданный комплекс программ). Критерием соответствия мощности взрыва являлась максимальная величина коэффициента корреляции. Расчеты для мощности ПЯВ $Q=150$ ктн, 2 Мтн и 10 Мтн дали значения коэффициента корреляции с записями доплеровской частоты необыкновенной волны $k=0.622$, 0.628 и 0.631, соответственно. Столь малое отличие коэффициентов

корреляции при изменении мощности взрыва почти в 66 раз может быть объяснено малым отличием акустических импульсов, излучаемых ПЯВ при зенитном угле 21.2° , - рисунок 6.

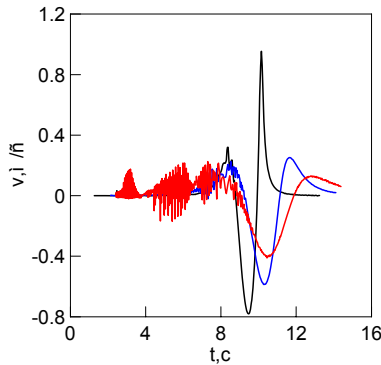


Рисунок 6. Акустические импульсы, излучаемые ПЯВ при зенитном угле 21.2° для мощностей взрыва: 150 ктн (черная линия); 2 Мтн (синяя линия) и 10 Мтн (красная линия)

Видно, что с увеличением мощности взрыва растет длительность импульса, но уменьшается его амплитуда. Рост длительности объясняется увеличением размеров откольной зоны, а уменьшение амплитуды – уменьшением фокусировки акустического пучка по направлениям, отличным от вертикали. Особо необходимо отметить шумовой вид кривой для $Q=10\text{Мтн}$ в начале записи. Шум обусловлен ошибкой расчета из-за недостаточного разбиения на элементарные участки откольной зоны. Для данного случая откольная зона радиусом 32.8 км разбивалась на 4 608 000 элементарных участков. Время счета составило 18 часов. При увеличении количества участков вдвое время расчета акустического импульса увеличится до недели. Такие расчеты по техническим причинам являются сложными и нецелесообразными. Дальнейшее увеличение мощности взрыва при расчетах также представляется неоправданным. Действительно, для землетрясения с известной магнитудой M энергию (E) можно оценить по формуле Гуттенберга-Рихтера [6]

$$\lg E = 1.5M + 11.8,$$

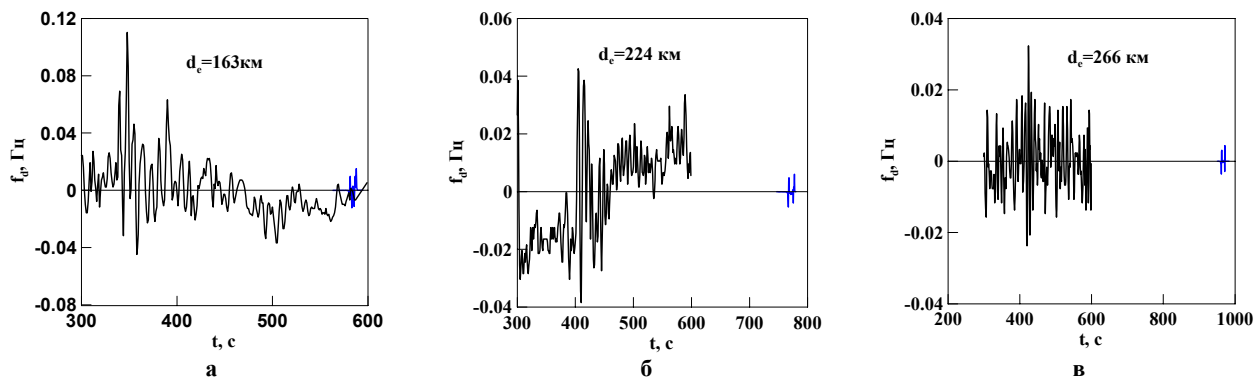
где энергия рассчитывается в эргах. Подставляя значения $M=6.2-6.5$, получим $E=10^{14.1}-10^{14.55}$ Дж. С другой стороны 1 кг ТНТ выделяет $4.15 \cdot 10^6$ Дж.

Для взрыва мощностью 10 Мтн имеем $E=4.15 \cdot 10^{16}$ Дж. Из сравнения полученных величин следует, что в проведенных расчетах, как минимум, на порядок превышена мощность взрыва, но близкого согласия расчетной и экспериментальной кривой не получено - из рисунка 5а видны существенные различия, как по форме кривых, так по амплитуде и длительности.

Для проверки соответствия модельных и экспериментальных кривых проведены также расчеты для обыкновенной радиоволны и других радиотрасс при мощности взрыва 10 Мтн. Представленные на рисунке 5а результаты расчета для обыкновенной компоненты показывают несоответствие расчетов эксперименту, и при этом наблюдается еще запаздывание расчетного «сигнала» на 42 с.

Эксперимент и расчет для трассы Clear Lake - Las Vegas представлены на рисунке 5б, где видны существенные различия между ними. Полностью не подходит модель ПЯВ и для интерпретации записей на радиотрассах McClellan - Las Vegas (рисунок 5 в), Red Bluff-Las Vegas (рисунок 5 г) и Quincy-Las Vegas (рисунок 5 д). Более того, из рисунка 5 видно, что с изменением расстояния до очага землетрясения от 152 до 292 км, амплитуда колебаний экспериментальных кривых мало меняется, в то время как расчетные кривые сильно затухают. В частности, для радиотрасс McClellan - Las Vegas, Red Bluff - Las Vegas и Quincy - Las Vegas амплитуда колебаний близка к нулю. Очевидно, что при столь явных различиях «портретов» и степени затухания «сигналов», можно сделать однозначный вывод, что зарегистрированные «сигналы» не имеют никакого отношения к ПЯВ.

Дополнительно, в подтверждение этого вывода, рассмотрена интерпретация с точки зрения модели ПЯВ результатов эксперимента во время этого же землетрясения на частоте радиозондирования 5.2 МГц. Возмущения доплеровской частоты зарегистрированы только на трех трассах из пяти. На рисунке 7 представлены экспериментальные записи и результаты расчета возмущения доплеровского сдвига частоты. Из рисунка 7 видно, что экспериментальные записи имеют квазисинусоидальный характер.



Черные линии - эксперимент; синие линии - расчет на основе модели для ПЯВ, d_c - расстояние от очага землетрясения

Рисунок 7. Сопоставление экспериментальных и модельных форм возмущения доплеровского сдвига частоты. Коалинское землетрясение. Частота радиозондирования $f=5.2\text{МГц}$. Радиотрассы (рисунок 4): а - SRP - Las Vegas; б - McClellan - Las Vegas; в - Red Bluff-Las Vegas

Квазисинусоидальный характер акустического импульса характерен для условий генерации зоной откола ПЯВ акустической энергии под малыми углами к горизонту. Например, на рисунке 8 представлен акустический импульс, рассчитанный для интерпретации экспериментальной записи доплеровской частоты на радиотрассе SRII - Las Vegas, $f=5.2$ МГц. Высота отражения обыкновенной радиоволны равнялась 91.4 км, расстояние от эпицентра землетрясения $d_e=163$ км, зенитный угол выхода акустического луча $\theta=71.58^\circ$.

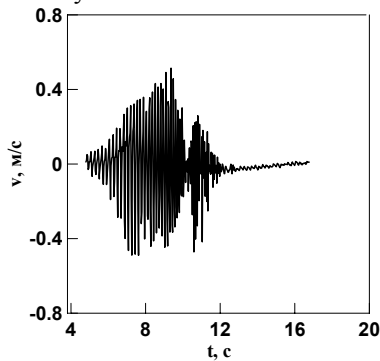


Рисунок 8. Пример квазисинусоидального характера акустического импульса на уровне земли при генерации зоной откола ПЯВ акустической энергии под малыми углами к горизонту

Однако, по мере распространения этого акустического импульса вверх до точки отражения радиоволны, его форма существенным образом изменяется благодаря нелинейным процессам (рисунок 9).

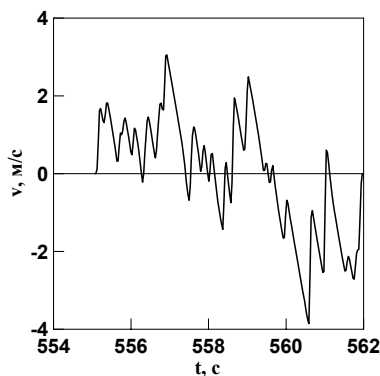


Рисунок 9. Форма акустического импульса на высоте 87 км

Видно, что сигнал становится менее изрезанным и стремится приобрести классическую треугольную форму как для фазы сжатия, так и для фа-

зы разряжения. На высоте ионосферы сигнал вызывает возмущение электронной концентрации, что в свою очередь приводит к возмущению доплеровской частоты радиоволны, показанному синей линией на рисунке 7 а. Хорошо видно, что расчетная и экспериментальная кривые не похожи ни по форме, ни по длительности, ни по амплитуде, ни по времени прихода возмущения. Аналогичная картина наблюдается для радиотрасс McClellan - Las Vegas и Red Bluff-Las Vegas (рисунок 7б и 7в).

Таким образом, расчеты для 8 радиотрасс убедительно показывают, что возмущения доплеровского сдвига частоты при землетрясениях и взрывах различны. Следовательно, эти два явления могут быть легко идентифицированы на доплеровских записях.

На рисунке 10 в качестве примеров представлены записи доплеровской частоты, которые наблюдались во время других землетрясений, заимствованные из [7-9]. На рисунке 10: а – землетрясение 11 августа 1969 г. на Курильских островах (магнитуда 7.8), частота радиозондирования 5 МГц, место регистрации - Honolulu (доплеровская запись - верхняя кривая, сейсмограмма – нижняя кривая) [7]; б – то же землетрясение и частота радиозондирования, место регистрации - Hawaii – верхняя кривая, Kona (нижняя кривая); в - то же землетрясение, частота радиозондирования 10 МГц, место регистрации – Kona (верхняя кривая), Honolulu (нижняя кривая); г, д, е, ж - землетрясение 21 марта 1982г., Urakava-Ok, Японии (магнитуда 7.1) [8], место регистрации - Sendai, Tokyo, Sugadaira, Kyoto, соответственно, частота радиозондирования 8 МГц (верхняя кривая), 5 МГц (нижняя кривая); з – землетрясение 16 мая 1968 г., Nachinohe, Японии (магнитуда 8.25) [9], место регистрации - Kyoto, частота радиозондирования 15 МГц; и - то же землетрясение и место регистрации, частота радиозондирования 10 МГц; к - то же землетрясение и место регистрации, частота радиозондирования 5 МГц.

Из рисунка 10 видно, что все записи доплеровского сдвига частоты при землетрясении носят четко выраженный квазисинусоидальный характер, чего, в принципе, не может быть при ПЯВ.

В целом, можно утверждать, что использование ионосферного метода совместно с сейсмическим методом позволит однозначно разделять возмущения, вызванные ПЯВ и землетрясением.

Figure 1 consists of nine subplots labeled a through i, showing ionospheric data. Subplots a and b show frequency (MHz) on the y-axis (0 to 5) versus time (UT) on the x-axis (2155 to 2205 UT). Subplots v, g, and d show frequency (MHz) on the y-axis (0 to 5) versus time (UT) on the x-axis (0235 to 0245 UT), with labels for Tokyo, Kyoto, and Sugadaira. Subplots z, h, and i show frequency (MHz) on the y-axis (0 to 5) versus time (UT) on the x-axis (0110 to 0135 UT), with labels for HIG-LP-Z and Doppler frequency.

8. Teruya Tanaka, Takumi Ichinose, Takashi Okuzawa, Takashi Shibata, Yoshiaki Sato, Chikao Nagasawa and Toru Ogawa. HF – Dopler observation of acoustic waves exited by the Urakava-Oki earthquake on 21 March 1982. JATP, 1984. - v.46, No. 3. - P. 233-245.
9. P.C. Yuen, P.F. Weaver, R.K. Suzuki and A.S. Furumoto. Continuous, traveling coupling between seismic waves and the ionosphere evident in May 1968 Japan earthquake data//Journal Geophysical Research, 1969. - Vol.74, No 9. - P. 2256-2264.

**ЖЕРСІЛКІНУЛЕРДІҢ ДОПЛЕР СҮРЕТТЕРІН ЖӘНЕ ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ
ЖАРЫЛЫСТАРЫН САЛЫСТЫРУ: АЙЫРМАЛЫҚ БЕЛГІЛЕРІН ЗЕРДЕЛЕУ**

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

ҚР БҒМ Ионосфера институты, Алматы, Қазақстан

Жер астындағы ядролық жарылыстар мен жерсілкінулер «сүреттерін» айырып тануына ионосферлік әдісінің мүмкіншілігі қаралған. Сәйкестендіру мәселелерін шешуінде ионосферлік әдісінің жоғары тиімділігі теоретикалы және экспериментальды көрсетілген. Ионосферлік әдісін сейсмикалық әдісімен бірлестіріп қолдануы ұсынылған.

**COMPARISON OF THE DOPPLER “PORTRAITS” OF EARTHQUAKES AND UNDERGROUND
NUCLEAR EXPLOSIONS: DISTINCTIVE FEATURES STUDY**

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

Institute of Ionosphere MES RK, Almaty, Kazakhstan

The possibilities of ionospheric method are considered to distinguish difference between the “portraits” of underground nuclear explosions and earthquakes. High efficiency of inospheric method was shown theoretically and practically to solve the problem of identification. It is recommended to use the method together with seismic monitoring method.

УДК [534.6+550.388](574.13)

ДИНАМИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА КАНАЛОВ ИНФРАЗВУКОВОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ IS31-АКТЮБИНСК

¹⁾Кунаков В.Г., ²⁾Мартысевич П.Н.

¹⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

²⁾Дивизион Международной системы мониторинга ОДВЗЯИ, Вена, Австрия

В статье приводится описание и результаты применения двух методик динамической калибровки микробарометров, используемых при мониторинге геофизических явлений в инфразвуковом диапазоне. Дается их сравнительный анализ. Показаны возможности динамической калибровки в практике обслуживания акустических систем на примере станции IS31-Актюбинск, входящей в состав Международной системы мониторинга ОДВЗЯИ.

ВВЕДЕНИЕ

В 2001 г. в районе с. Тасай Актюбинской области построена инфразвуковая станция в составе Международной системы мониторинга (МСМ) ядерных испытаний IS31- Актюбинск (регистрационный код I31KZ). Станция состоит из 8 элементов - четырех высокочастотных Н- и четырех низкочастотных L элементов [1]. Каждый из элементов представляет микробарометр с подключенной к его входу системой шумоподавления ветровых помех, различной конструкции для каждого из типов элементов Н и L.

В октябре 2002 г. на станции проведен комплекс работ по проверке и настройке узлов системы. Была

выполнена стандартная для инфразвуковых станций МСМ статическая калибровка микробарометров с использованием высокоточного микробарометра Keller и цифрового мультиметра, а также динамическая калибровка сквозного тракта «микробарометр MB2000 - дигитайзер Aubgas». При статической калибровке определялось соответствие между давлением на входе микробарометра и величиной напряжения на его выходе при постоянном статическом давлении. Результаты статической калибровки представлены в нижеследующей таблице.

*Таблица. Результаты статической калибровки микробарометров MB2000.
Инфразвуковая станция I31KZ, 8 –9 октября 2002 г.*

№ микроба-рометра	Элемент	Положение нуля		Напряжение на контрольной точке		Диапазон	Погрешность, %
		начальное	подстроенное	+10 кПа	-10 кПа		
1	2	3	4	5	6	7	8
1148	H1	-0.779	-0.050	-10.13	9.93	20.06	0.3
1186	H2	-1.777	-0.071	-10.00	10.19	20.19	0.95
1187	H3	-0.453	0.0540	-9.93	10.11	20.04	0.2
1191	H4	-1.130	-0.084	-9.96	9.98	19.94	-0.3
1193	L1	-1.600	-0.062	-10.02	9.98	20.00	0
1190	L2	-1.791	-0.063	-10.08	10.01	20.09	0.45
1199	L3	-0.338	-0.143	-9.99	9.85	19.84	0.8
1192	L4	-1.541	-0.070	-10.03	10.02	20.05	0.25
1188	SPARE	-2.141	-0.138	-10.14	9.89	20.03	0.15

В колонках таблицы 3, 4 приведены значения начального (“нулевого”) уровня сигнала на выходе микробарометра (в точке TP 9) до и после его подстройки. Отклонение от нулевого уровня величины сигнала (колонки 3,4) свидетельствует, о том, что атмосферное давление в момент проведения измерений отличалось от условий предыдущей калибровки, проведенной в октябре 2001 г., когда величина нулевого уровня на выходе микробарометров выставлялась близкой к нулю. В 5 колонке таблицы дана величина напряжения преобразователя сигнала на выходе датчика при изменении давления на его входе. В 8 колонке таблицы приведена погрешность статических параметров микробарометров MB2000, которая оказалась меньше 5%, что, в соответствии с требованиями Международной системы мониторинга, позволяет использовать все исследованные микробарометры в системе Международного монито-

ринга. Настоящая работа посвящена разработке и реализации на практике методики динамической калибровки сквозного тракта инфразвуковых каналов. Ниже описана суть методики и полученные результаты.

Динамическая калибровка позволяет выявить соответствие между давлением на входе микробарометра и цифровой величиной, отражающей это давление, на выходе дигитайзера в полосе частот изменения давления, т.е. характеристику измерительного тракта.

В 1998 г. динамическая калибровка инфразвуковых акустических каналов, включавших российские микробарометры К-301, микробарометры Globe, подключенные к 16-битному дигитайзеру IASPEI, проводилась на станции «Курчатов» с использованием установки МТУ-3 (синусоидальный сигнал) [2]. Динамические калибровки инфразвуковых каналов на станциях «Боровое» и «Курчатов», осуществ-

лены в мае-июле 2002 г. с использованием МТУ-3 и “ступеньки” давления на входе микробарометров

МТУ-3 не единственная установка для динамической калибровки акустических систем. В качестве примера можно привести устройство UAF [3], существуют также установки, в которых в качестве источника звука используется акустический динамик.

Динамическая калибровка станции I31KZ проведена для канала микробарометр-дигитайзер. Использовано два метода – калибровка синусоидальным давлением воздуха на входе микробарометра и калибровка подачей на его вход “ступеньки” давления воздуха.

КАЛИБРОВКА СИНУСОИДАЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ВОЗДУХА НА ВХОДЕ МИКРОБАРОМЕТРА

Для калибровки использовалось малогабаритное устройство МТУ-3 [2] с демпфирующим объемом, равным 50 л. Внешний вид установки МТУ-3 показан на рисунке 1, блок-схема динамической калибровки дана на рисунке 2.

Устройство МТУ-3 представляет собой насос с тремя рабочими цилиндрами, имеющими калиброванные объемы 0.96, 1.92 и 3.84 см³. Поршни в цилиндрах движутся по закону, близкому к синусоидальному, при этом изменение давления воздуха на выходе цилиндров изменяется по такому же закону.

Выходы цилиндров в различных комбинациях подсоединяются к демпфирующему объему.



Рисунок 1. Внешний вид установки МТУ-3

Выход демпфирующего объема подсоединяется к входу микробарометра. Все соединения осуществляются толстостенными резиновыми вакуумными шлангами, что обеспечивает стабильность хода изменения давления воздуха. Период колебаний давления задается сменой шестерен и изменяется от 4.65 до 170 с (0.006 – 0.215 Гц).

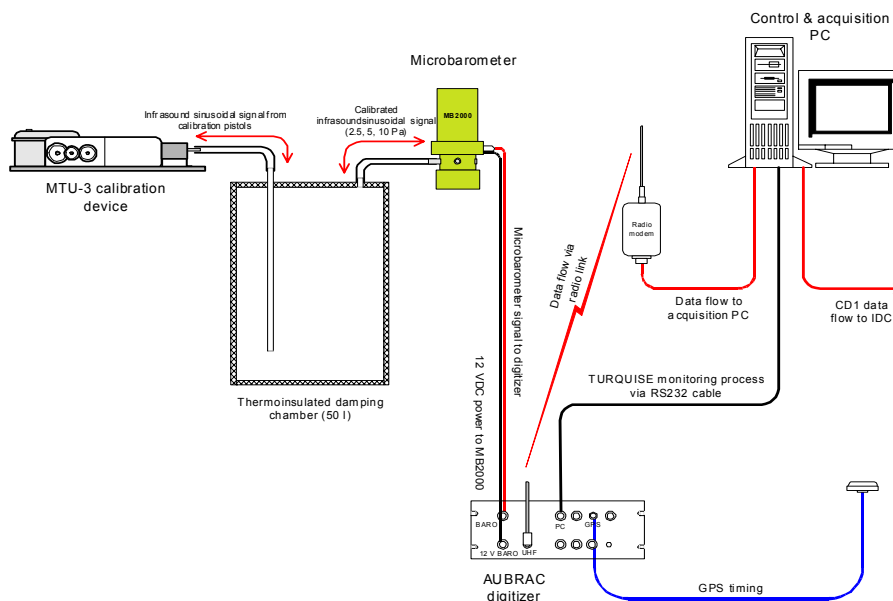


Рисунок 2. Блок-схема динамической калибровки системы с использованием установки МТУ-3

Расчет величины давления на входе микробарометра при использовании установки МТУ-3 проведен исходя из следующего. В замкнутом объеме, состоящем из суммы объемов демпфирующего бака, акустического устройства, подводящих вакуумных шлангов и переменного объема цилиндр-поршень, создаются синусоидальные колебательные изменения давления. Величина изменения давления определяется в основном соотношением между величиной объема воздуха, вытесняемого поршнем, и величиной объема демпфирующего резервуара, поскольку остальные объемы гораздо меньше объема резервуара. Учитывая, что процессы, происходящие в демпфирующем резервуаре

близки к адиабатическим, использовано уравнение адиабатического процесса:

$PV^\gamma = \text{const}$, где $\gamma = C_p/C_v \approx 1.4$ для воздуха, из которого следует:

$$P_0 V_0^\gamma = (P_0 + \Delta P)(V_0 + \Delta V)^\gamma,$$

где ΔV – изменяемый объем, V_0 – объем демпфирующего устройства.

С учетом того, что $\Delta V \ll V_0$, можно получить соотношение, определяющее изменение давления на выходе устройства:

$$\Delta P \approx \gamma P_0 \Delta V / V_0, \quad (1)$$

где $P_0=10^6$ дин/см² – среднее атмосферное давление (10^5 Па); ΔV – половина объема, вытесняемого штоком; $V_0=50$ л – объем демпфирующего резервуара (0.05 м³); ΔP – амплитуда выходных колебаний давления.

Экспериментально определено, что коэффициент γ в реальных условиях имеет значение 1.3, а не 1.4, как следует из соотношения удельных теплоемкостей C_p/C_v . Это связано с тем, что часть воздуха у стенок резервуара успевает принять температуру окружающей среды в процессе сжатия-разрежения. Соответственно, процесс не является чисто адиабатическим.

Подставляя в формулу (1) значения γ , P_0 , V_0 , а также ΔV , которое для установки МТУ-3 имеет значения 0.96, 1.92 и 3.84 см³, получим соответственно:

$$\Delta P_1=1.3 \times 10^5 \times 0.96 \times 10^{-6} / 5 \times 10^{-2}=2.496 \text{ Па};$$

$$\Delta P_2=4.992 \text{ Па};$$

$$\Delta P_3=9.984 \text{ Па}.$$

Для $\Delta V=0.96$ см³ двойная амплитуда будет равна примерно 5 Па. Этот режим и использовался для проведения калибровок.

Для расчета амплитудных характеристик сквозного канала «микробарометр – дигитайзер» во всем рабочем диапазоне частот проводился следующий эксперимент: в демпфирующую емкость, подключенную к микробарометру, резко вдувался и через некоторое время, зависящее от низкочастотных характеристик датчика, выдувался воздух объемом 1 см³. Таким образом, на вход микробарометра подавалась «ступенька» давления. Из расчетов, приведенных выше, можно оценить, что величина этой «ступеньки» равна примерно 2.5 Па. В процессе обработки отклик системы на «ступеньку» давления дифференцировался, далее рассчитывался спектр мощности.

Результаты динамической калибровки сквозных каналов элементов станции устройством МТУ-3 показаны на рисунке 3. Обозначение характеристик, принятое на рисунке 3, соответствует номерам элементов на пунктах станции I31KZ.

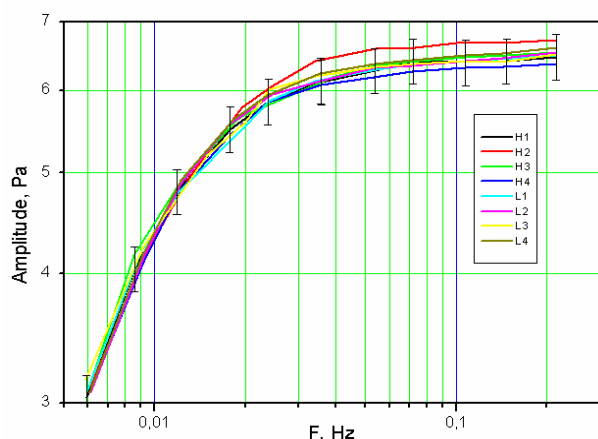


Рисунок 3. Результаты динамической калибровки каналов MB2000-Aubrаs устройством МТУ-3. Показаны границы 5% разброса значений H1

Из рисунка видно, что микробарометр H2 является наиболее чувствительным, а микробарометр H4 – наименее чувствительным. Это согласуется с результатом статической калибровки (см. таблицу). Больший, чем при статической калибровке, разброс значений величин давления вызван, вероятно, различием в характеристиках электронных цепей микробарометров.

КАЛИБРОВКА ПОДАЧЕЙ «СТУПЕНЬКИ» ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА

Амплитудные и фазовые характеристики, рассчитанные по отклику системы на «ступеньку» давления для высокочастотных элементов, показаны на рисунке 4.

Амплитудные и фазовые характеристики, рассчитанные по отклику системы на «ступеньку» давления для низкочастотных элементов, показаны на рисунке 4.

Из рисунков 4, 5 видно, что амплитудно-частотные характеристики микробарометров достаточно хорошо совпадают между собой. Индивидуальность каждого из каналов определяется собственными характеристиками фильтров микробарометров и дигитайзеров.

Дополнительно была проведена калибровка «ступенькой» давления с использованием дигитайзера ORION-3 (Nanometrics). ORION-3 позволяет менять частоту оцифровки сигнала. Кроме того, его амплитудная и фазовая характеристики линейны в полосе частот. Результаты обработки откликов показаны на рисунках 6 (а–в).

На рисунках 6 а,б виден подъем кривой амплитудной характеристики микробарометра MB2000 и пик на частоте 8 Гц. Поскольку частотная характеристика ORION-3 линейная, можно предположить, что на рисунках 6 представлена реальная характеристика микробарометров MB2000. Пологие в высокочастотной части характеристики каналов «микробарометр MB2000–дигитайзер Aubrac» (рисунки 4, 5) сформированы частотной характеристикой дигитайзера Aubrac. Таким образом, микробарометры MB2000, используемые на акустической станции I31KZ, имеют линейную амплитудно-частотную характеристику в диапазоне 0.01-10 Гц. Можно отметить, что ход амплитудно-частотной характеристики микробарометра не менялся при подаче на его вход «ступеньки» с амплитудой от 2.5 до 25 Па (с дигитайзером ORION-3).

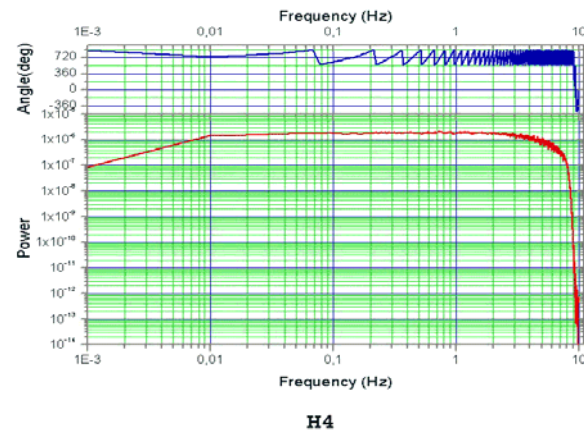
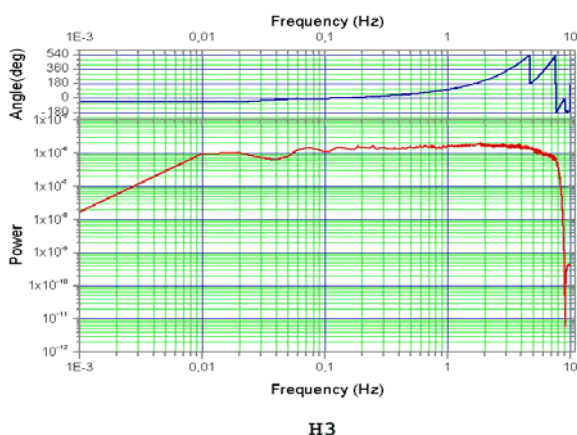
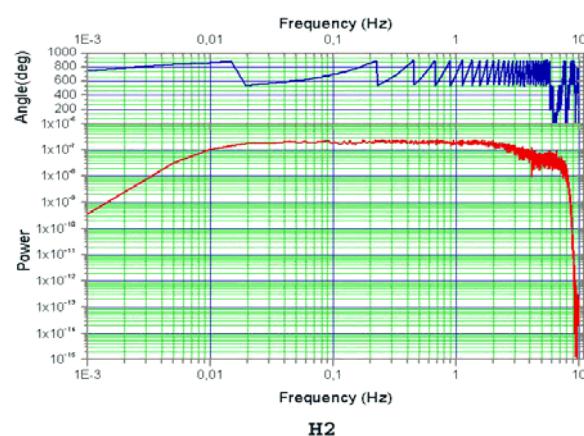
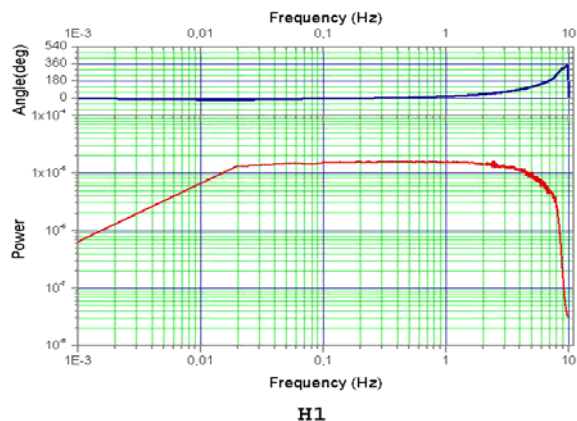


Рисунок 4. Амплитудно-частотные и фазовые характеристики элементов группы "H", рассчитанные по отклику на "ступеньку" давления

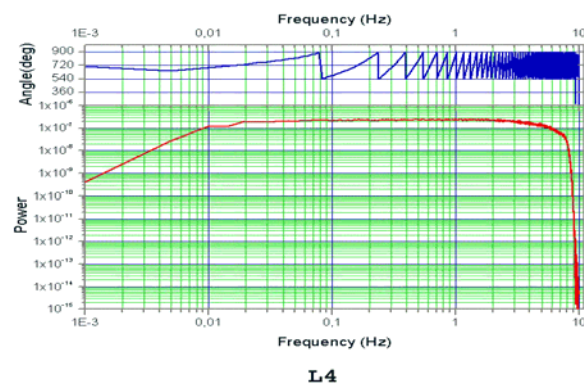
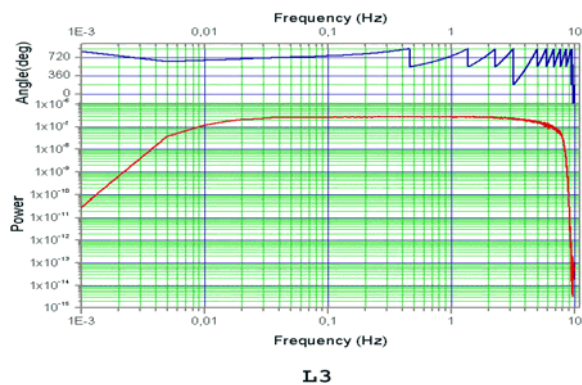
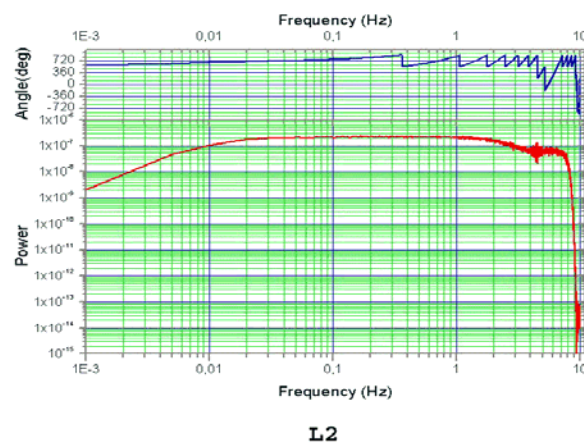
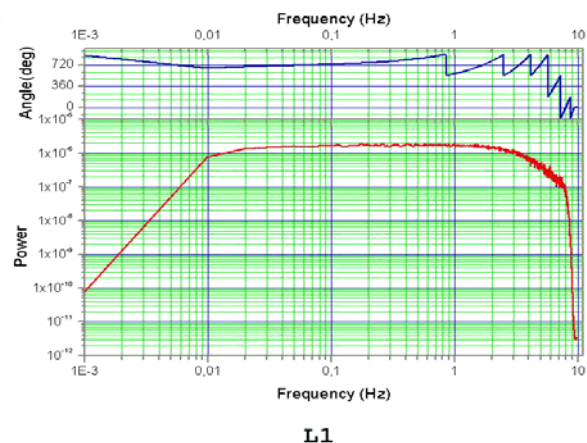


Рисунок 5. Амплитудно-частотные и фазовые характеристики элементов группы "L", рассчитанные по отклику на "ступеньку" давления

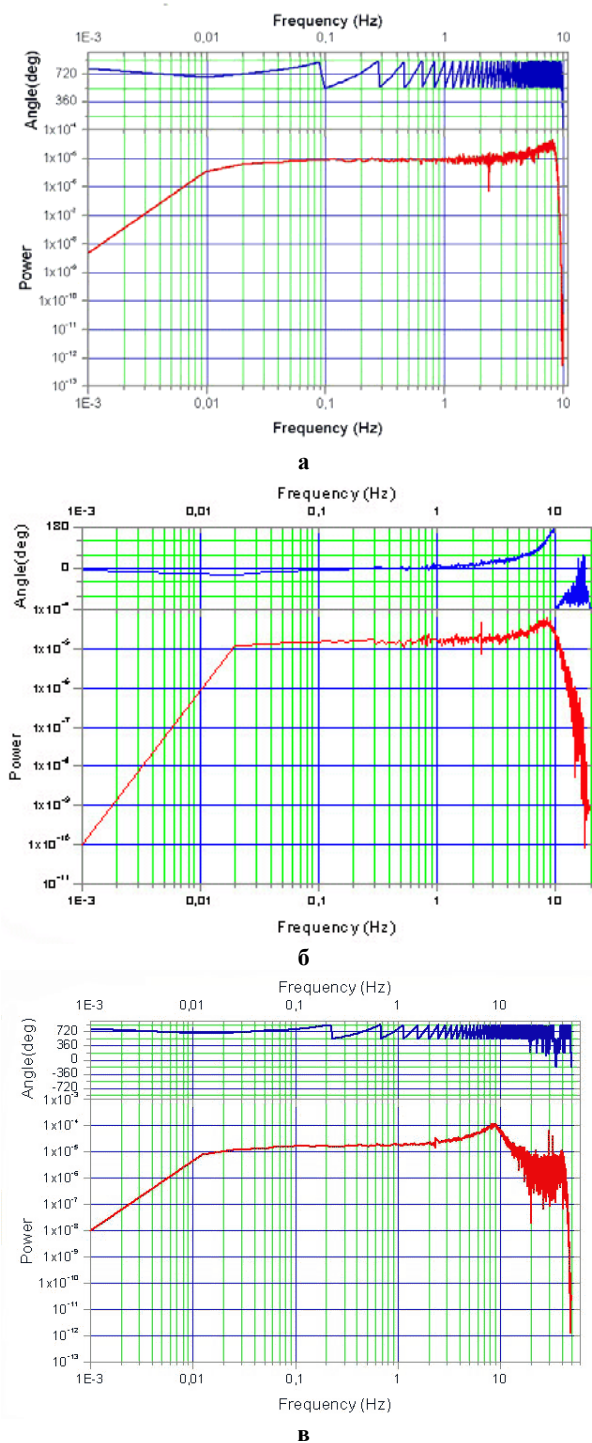


Рисунок 6. Характеристики канала MB2000 + ORION-3:
а - 20 оп/с; б - 40 оп/с; в - 100 оп/с

Фазовые характеристики на большинстве из представленных рисунков практически не информативны. Это связано с тем, что наклон фазовой характеристики при обработке сигналов с использованием быстрого преобразования Фурье зависит от выбора первой точки отсчета. С другой стороны, амплитудная характеристика чувствительна к потере точек переднего фронта сигнала. Выбор сделан в пользу амплитудной характеристики как более информативной, поэтому был сделан упор на получение достоверной формы этой характеристики.

Интересный результат получен при снятии динамической характеристики одного из микробарометров, оказавшегося неисправным (Н4, № 1191 в таблице). На рисунке 7 показана его амплитудная характеристика совместно с характеристикой исправного прибора.

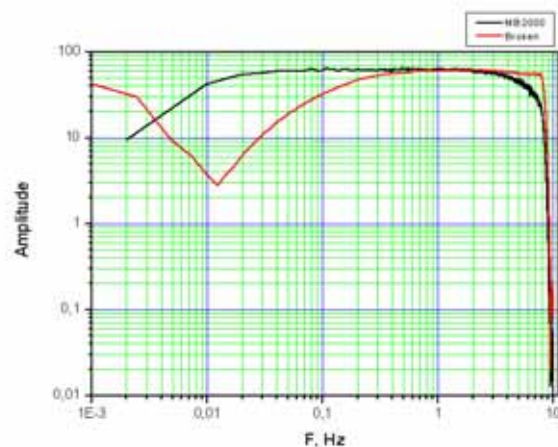


Рисунок 7. Характеристики рабочего (черный) и неисправного (красный) микробарометров

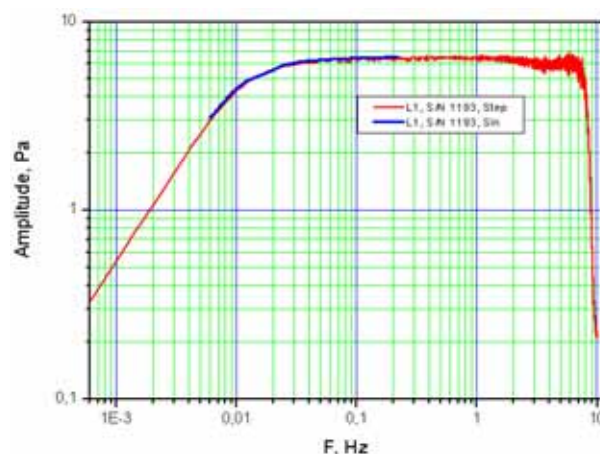


Рисунок 8. Измеренная (синяя) и рассчитанная по отклику (красная) амплитудные характеристики канала «микробарометр MB2000-дигитайзер Aubrac»

Видно, что амплитудная характеристика неисправного прибора сдвинута в сторону более высоких частот. Статическая калибровка этого микробарометра (см. таблицу) не выявила никаких неприятностей.

На рисунке 8 показаны калибровочные характеристики, полученные различными методами – калибровкой синусоидальным сигналом (установка МТУ-3) – синяя кривая, и расчетом по отклику на “ступеньку” давления – красная кривая. Видно, что обе характеристики в пределах частотных параметров установки МТУ-3 совпадают.

Выводы

В октябре 2002 г. на станции акустического мониторинга I31KZ (IS31-Актюбинск, Казахстан) проведена калибровка микробарометров MB2000 и дигитайзера Aubrac.

Процесс калибровки состоял из следующих этапов:

1. Стандартная статическая калибровка микробарометров с использованием прецизионного микробарометра Keller и мультиметра.

2. Динамическая калибровка синусоидальным сигналом. Для этого использовалась установка МТУ-3 с демпфирующим объемом, равным 50 литров, позволяющая выполнять калибровку в диапазоне 0.006-0.215 Гц.

3. Калибровка “ступенькой” давления. При этом, вместо устройства МТУ-3 использовался генератор “ступеньки” давления.

Обработка данных и анализ результатов показали:

1. По отклику на “ступеньку” давления можно рассчитать точную амплитудно-частотную характеристику тракта микробарометр-дигитайзер, при этом, наклон фазовой характеристики зависит от выбора первой точки отсчета.

2. Калибровка синусоидальным сигналом (установка МТУ-3) позволяет получить зависимость выходного значения от давления на входе микробарометра в абсолютных значениях. Однако частотный диапазон МТУ-3 ограничен. Очевидно, это устройство должно быть предварительно откалибровано прецизионными приборами.

3. Результаты, полученные при обоих методах калибровки - синусоидальным сигналом и “ступенькой” давления, дают достаточно хорошее совпадение.

4. Неожиданным результатом можно считать то, что оба метода динамической калибровки выявили неисправный микробарометр в отличие от стандартной статической калибровки, при которой неисправность этого микробарометра не проявилась.

Таким образом, недорогое простое устройство, состоящее из генератора “ступеньки” давления и демпфирующего объема, позволяет снимать амплитудно-частотные характеристики канала микробарометр-дигитайзер. При использовании калиброванного входного сигнала возможно получение точной характеристики сквозного тракта инфразвуковых станций. Устройство может быть использовано с любыми типами микробарометров, причем не только в лабораторных, но и в полевых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демин В.Н., Кунаков В.Г., Смирнов А.А. Новая инфразвуковая станция международной системы мониторинга в Казахстане IS31 «Актюбинск»//Геофизика и проблемы нераспространения/ Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. – С. 14 – 18.
2. Малогабаритная установка МТУ-3. Техническое описание.
3. Charles R. Wilson, John V. Olson. Calibration of the UAF Chaparral microphone calibrator//Infrasound Technology Workshop, De Bilt, The Netherlands, 2002.

ДЕРЕКТЕР ЖИНАУ IS31-АҚТӨБЕ ИНФРАДЫБЫСТЫ КЕШЕНІНІҢ АРНАЛАРЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ КЛИБРЛЕУІ

¹Кунаков В.Г., ²Мартысевич П.Н.

¹ҚР ҰҰО геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан
²ЯЖБТШҰ Халықаралық мониторинг жүйесінің дивизионы, Вена, Австрия

Мақалада, инфрадыбысты ауқымында геофизикалық құбылыстарының мониторингісі үшін қолданылатын микробарометрлердің динамикалық калибрлеуінің екі әдістемесінің сипаттамасы және нәтижелері келтірілген. Олардың салыстырма талдауы берілген. ЯЖБТШҰ Халықаралық мониторинг жүйесінің құрамына кіретін IS31-Ақтөбе станциясының үлгісінде акустикалық жүйелеріне қызмет көрсетуінде динамикалық калибрлеуінің мүмкіншіліктері көрсетілген.

DYNAMIC CALIBRATION OF INFRASOUND SYSTEM CHANNELS OF IS31-AKTYUBINSK DATA ACQUISITION

¹V.G. Kunakov, ²P.N. Martyssевич

¹Institute of Geophysical Researches, National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan
²International Monitoring System Division (IMS), CTBTO, Vienna Austria

This paper represents description and results of the two dynamic calibration methods of microbarometers used to monitor geophysical events within infrasound range. Comparison of the two methods is provided. Dynamic calibration possibilities are shown in practice of acoustic system maintenance as an example of IS31-Aktyubinsk station that is in CTBT International Monitoring System.

УДК 550.34: 681.2.087

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕРИЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Шепелев О.М., Ермоленко Н.А., Болгов В.П.

Научно-производственный комплекс «Прогноз» ГУ «Казселезащита» АЧС РК, Талгар, Казахстан

Описывается опыт применения оборудования общего назначения серийного производства и специального авторского программного обеспечения для регистрации сейсмических данных. Снижение стоимости сейсмометрической аппаратуры достигнуто без ухудшения ее технических характеристик.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из проблем для сейсмологических организаций в странах бывшего Советского Союза является дороговизна современной цифровой аппаратуры, используемой для оснащения сейсмических станций. Как правило, сейсмологические организации, имеющие бюджетное финансирование, не могут себе позволить приобретение современной техники. Высокая стоимость аппаратуры для сейсмических станций объясняется, прежде всего, их узкой специализацией. Как правило, такая аппаратура производится мелкосерийно, а иногда и штучно, что на порядки увеличивает ее стоимость. Один из путей снижения стоимости аппаратуры для сейсмостанций может состоять в использовании АЦП, цифровых устройств регистрации данных и GPS, предназначенных для широкого применения, а также магнито-электрических сейсмометров, созданных во времена Советского Союза. При этом, требуемые технические параметры АЦП и регистрирующей аппаратуры могут быть определены по характеристикам соответствующих устройств производства таких известных фирм, как Refraction Technology Inc. (RefTEK) [1], Kinematics Inc. (Quanterra) [2] и PMD Scientific Inc. (PMD) [3].

Анализ данных об интересующих устройствах, по которым удалось получить информацию, показал, что они построены, как правило, по модульному принципу. Для получения желаемой конфигурации модули могут подключаться в различных комбинациях. Функции модулей также отличаются разнообразием комбинаций. Как правило, в комплекс входят микросхемы АЦП, DSP-процессор, часы, приемник глобальной системы позиционирования (GPS), некое подобие персонального компьютера или полноценный персональный компьютер, обеспечивающие запись на жесткий диск или на другие запоминающие устройства, либо телеметрическую передачу данных различными способами. Обычно АЦП, DSP-процессор и часы объединены вместе, все остальные узлы включены в модули в различных вариантах.

DSP-процессор опрашивает микросхему АЦП, обеспечивает предварительную цифровую фильтрацию данных в соответствии с частотой оцифровки, дополняет данные кодом времени и передает их либо в коммуникационный порт, либо в компьютер по соответствующей шине. Характеристики DSP-процессоров обычно согласованы с АЦП. В некоторых случаях имеется возможность дополнительно

изменять характеристики цифрового фильтра DSP-процессора. Микросхемы АЦП могут опрашивать аналоговые входы последовательно, то есть на каждую микросхему АЦП может приходиться более одного аналогового входа. В этом случае данные оцифровываются с некоторым сдвигом по времени. Более предпочтителен вариант, когда на каждую микросхему АЦП приходится только один вход. Как правило, используют 24-разрядные сигма-дельта АЦП, имеющие динамический диапазон от 110 дБ до 144 дБ. Исключением из правил являются модули семейства Quanterra Q4120, где обеспечен динамический диапазон до 148 дБ за счет применения особых патентованных технологий. Микросхемы АЦП включают, кроме того, усилитель. Выбор усиления, частоты оцифровки и других параметров осуществляется программно. Программное управление системой сбора данных обычно производится через коммуникационные порты RS-232 или подобные им. Аналоговые входы, как правило, имеют гальваническую развязку, чаще всего, оптическую, что, кроме всего прочего, защищает оборудование от скачков напряжения.

Микросхема АЦП в связке с DSP-процессором и таймером обеспечивает поток оцифрованных данных, сопровождаемый кодом времени. Код времени уточняется различными способами с помощью приемника глобальной системы позиционирования (GPS). Затем полученные данные переформатируются в один из общепринятых форматов (CSS, SEED, mini-SEED, SEG Y и т.д. [4, 5]) и, либо записываются в запоминающее устройство, либо отправляются по каналам связи, либо осуществляется то и другое одновременно. Перечисленные задачи выполняет компьютер. Варианты исполнения компьютера отличаются наибольшим многообразием: обычные настольные персональные компьютеры (например, настольная версия PMD DAS6102m), портативные компьютеры в виде отдельного модуля, а также встроенные в один модуль с АЦП; имеющие жесткий диск и не имеющие его; работающие непрерывно и включающиеся только на несколько минут в сутки при заполнении буфера в оперативной памяти для перезаписи данных на жесткий диск (PMD 6502). Передача данных может осуществляться через порты RS-232, RS-485 или подобные им; по локальной сети Ethernet; через модем; по сети RadioEthernet. При этом могут быть использованы различные сетевые протоколы: TCP/IP, HTTP, PPP. Использование этих протоколов

позволяет при необходимости подключить спутниковое телекоммуникационное оборудование.

Перечисленные функциональные узлы входят в состав нескольких модулей в различных комбинациях. Это зависит от условий эксплуатации аппаратуры, от целей сейсмических наблюдений. Так, например, для исследовательских целей, при которых оперативность не имеет большого значения, могут быть установлены автономные сейсмические станции с жесткими дисками или накопителями на магнитной ленте достаточной емкости, без обеспечения средств связи. Необходимо только обеспечить питание такой станции и периодически (например, 1 раз за несколько месяцев) снимать данные. Иной подход требуется для получения сейсмических данных в режиме реального времени. В этом случае необходимы средства связи, жесткие диски могут оказаться ненужными. Имеют значение также условия эксплуатации конкретной сейсмостанции, в частности, наличие отопляемого помещения, сети электропитания и т.д.

Таким образом, задача состоит в подборе доступного модуля АЦП серийного производства с требуемыми параметрами, совместимого с выбранным

персональным компьютером. В качестве устройства, выполняющего переформатирование оцифрованного потока данных, запись на жесткий диск и дальнейшую передачу данных по каналам связи, может быть использован персональный компьютер. РС сможет обеспечить корректировку часов с помощью GPS-приемника, если модуль АЦП такой функции не имеет. Модулем АЦП, удовлетворяющим вышеперечисленным условиям, является модуль Е-24 производства московской фирмы «Л-Кард».

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ МОДУЛЯ Е-24 «Л-КАРД»

Модуль Е-24 «Л-Кард» - это 8-ми канальный измерительный блок АЦП, предназначенный для подключения к COM-порту персонального компьютера с питанием от COM-порта (подобно устройству «мышь»). В модуле установлены 4 микросхемы AD7714 (24-разрядный сигма-дельта АЦП фирмы Analog Devices) и 8-ми битный RISC процессор AVR фирмы ATMEL, который обеспечивает протокол взаимодействия Е-24 с компьютером [6]. Описание технических параметров модуля Е-24 «Л-Кард» приведено в таблице 1.

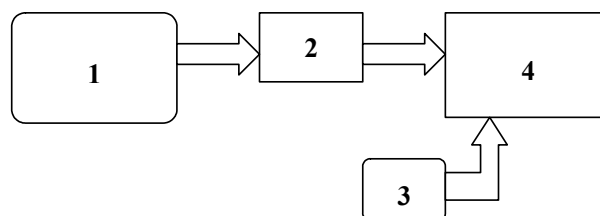
Таблица 1. Технические параметры модуля Е-24 «Л-Кард»

Перечень	Характеристика
АЦП	8 каналов, микросхема AD-7714. Одновременно работают 4 канала АЦП. Диапазон при усилении 1 : ± 2.5 В (биполярный). Разрядность АЦП - 24-битная со смещенным кодом (нулевому напряжению соответствует код 0x800000). Различные режимы калибровки. Программируемое усиление от 1 до 128. Разночастотный ввод от 4.8 Гц до 1000 Гц. FIFO буфер на 40 байт
Микроконтроллер	AVR (производитель - ATMEL). Встроенная Flash память на 2 кБ. ОЗУ команд 2 кБ. Встроенный EEPROM на 128 байт. ОЗУ данных 128 байт. Сторожевой таймер. Последовательный порт (максимальная скорость 57600 бод на кабеле длиной до 1.8 м) с гальванической развязкой.
Синхронизация	4 входные цифровые линии. Вместе с каждым кодом АЦП передается состояние линии. Напряжение на разомкнутых концах линии 3.3 В. Ток в замкнутой линии 30 мА. Напряжение логического нуля - не более 0.4 В. Напряжение логической единицы - не менее 2.6 В. Управление линией внешней синхронизации осуществляется замыканием линии механическими или электронными контактами, гальванически развязанными от аналоговой части модуля Е-24 («сухими контактами»). Встроенный 7-битный таймер с квантом 3 мс, значение которого передается с каждым кодом АЦП.
Питание	Потребление не более 4 мА. Питание с COM-порта, модуль Е-24 совместим с RS-232, при подключении к порту RS-232C, у которого отсутствует двуполярное питание для работы с модулем, необходим внешний блок питания +12В. Порт RS-232C встречается очень редко (на некоторых старых Notebook). Разъем для внешнего блока питания.
Максимальные режимы	Максимальное допустимое входное напряжение при сохранении работоспособности соседних каналов ± 3 В. Максимальное допустимое входное напряжение ± 10 В, или входной ток не более 40 мА (в зависимости от того, какое из ограничений наступает ранее). Максимальный допустимый суммарный ток на все входы не более 120 мА.

Стоимость модуля в РФ (по данным на 05.2003) 10922 руб.

БЛОК-СХЕМА СЕЙСМОСТАНЦИИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

На рисунке 1 приведена блок-схема сейсмостанции, созданной с использованием модуля Е-24 «Л-Кард». К входам модуля подключены катушки сейсмометров СМ-3, дополнительные усилители не требуются. Длина кабеля при правильном подключении может достигать более километра без существенного ухудшения качества сигнала. Модуль Е-24 «Л-Кард» подключается непосредственно к последовательному порту компьютера. Длина кабеля определяется выбранной скоростью работы порта в соответствии с интерфейсом RS-232. Питание модуля Е-24 «Л-Кард» может осуществляться либо через порт, либо через внешний разъем питания.



1 – 3-х компонентный сейсмометр (из 3-х СМ-3),
2 – модуль Е-24 «Л-Кард», 3 – GPS-приемник (Garmin GPS35-USB),
4 – персональный компьютер

Рисунок 1. Блок-схема сейсмостанции

При необходимости вместо кабеля RS-232 могут быть установлены два радиомодема в «прозрачном» режиме. GPS-приёмник может быть подключен к компьютеру двумя способами: через последователь-

ный порт, через порт USB, в зависимости от модели. В приведенной схеме GPS-приёмник Garmin GPS35-USB подключен через порт USB.

Динамический диапазон определяется микросхемой AD7714. При подключении сейсмометров CM-3 программно было установлено усиление 8, при котором уровень собственных шумов микросхемы оказался не хуже –116 дБ. При использовании сейсмометров, имеющих более высокую чувствительность, может быть установлено меньшее усиление. Например, при усилении 1 уровень собственных шумов микросхемы AD7714 не хуже –120 дБ.

Сейсмостанция обеспечена источниками бесперебойного питания (ИБП) типа Back UPS-500, которые были адаптированы и обеспечивали автономную работу сейсмостанции до 8-9 часов.

Стоимость оборудования описанной станции, без стоимости сейсмометров, лишь немного выше \$1000.

ПАКЕТ ПРОГРАММ «СКОРПИОН»

Для регистрации сейсмических данных разработан пакет программ «Скорпион», включающий программы «Скорпион», «Ревизор» и «GPSTime». Программы написаны на языке C++ и предназначены для работы в операционной системе «Windows 98». Несмотря на то, что эта операционная система не является системой реального времени, она справляется со своей задачей. Предполагается, что в дальнейшем программное обеспечение, возможно, будет переведено на платформу UNIX.

Пакет программ позволяет:

- 1) вести непрерывную регистрацию в течение нескольких месяцев;
- 2) самостоятельно обнаруживать программные и аппаратные сбои, при необходимости перезагружать операционную систему «Windows 98» и перезапускаться для устранения сбоев без вмешательства пользователя;
- 3) корректировать ход часов на основе сигналов GPS с заданной пользователем цикличностью и длительностью запросов сигналов GPS для любых моделей GPS-приёмников, поддерживающих интерфейс NMEA 0183 и подключаемых к компьютеру как через порт RS-232, так и через порт USB;

4) вести журнал корректировки хода часов и журнал сбоев;

5) задавать пользовательский режим работы GPS-приёмника и получать с него напрямую любые данные интерфейса NMEA 0183 (координаты, высота, скорость, количество наблюдаемых спутников и т.д.);

6) графически отображать регистрируемые сейсмограммы в реальном времени с задаваемой пользователем разверткой независимо для каждого канала;

7) устанавливать по желанию пользователя параметры 4-х сейсмических или иных каналов (например, температурных датчиков) независимо (усиление, частота оцифровки, код канала и станции, длительность файлов и т.д.);

8) производить амплитудно-частотный анализ входных сигналов с высокой точностью для проведения калибровки и диагностики аппаратуры;

9) вести регистрацию не только в основном формате, но и в коде ASCII.

Формат записи данных – SEG Y, широко известный, легко конвертируемый в любой другой стандартный формат, удобный для регистрации и передачи данных.

Программа «Скорпион»

Программа выполняет регистрацию сейсмических данных по четырем каналам модуля E-24 «Л-Кард», а также может корректировать ход часов с помощью GPS-приемника (рисунки 2 - 4). Эта же программа используется при настройке сейсмометров. С её помощью могут быть замерены собственный период сейсмометра с точностью до 4-го знака, амплитудно-частотная характеристика сейсмометра при калибровке на вибрационном стенде (рисунок 5), проверка полярности подключения.

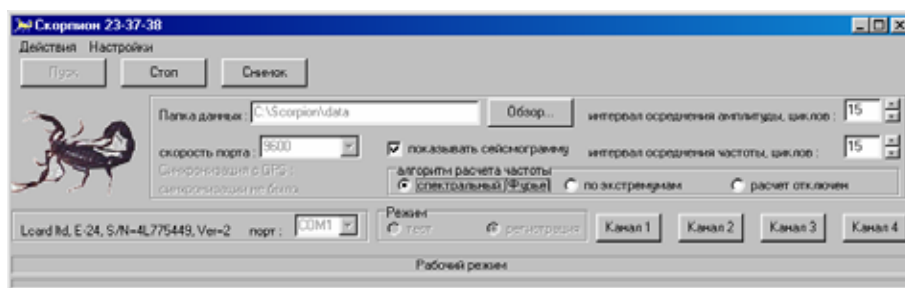


Рисунок 2. Вид основного окна программы «Скорпион» версии 2.0 в рабочем режиме

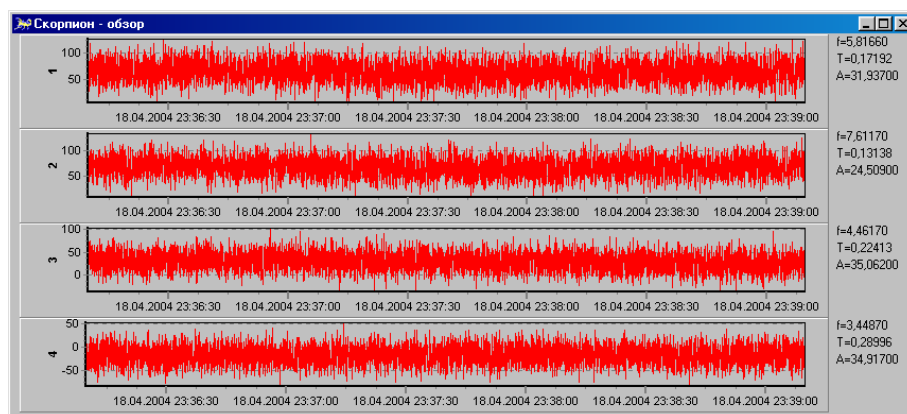
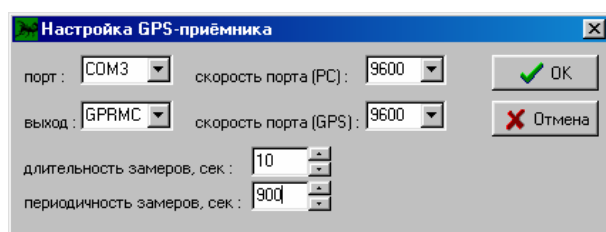
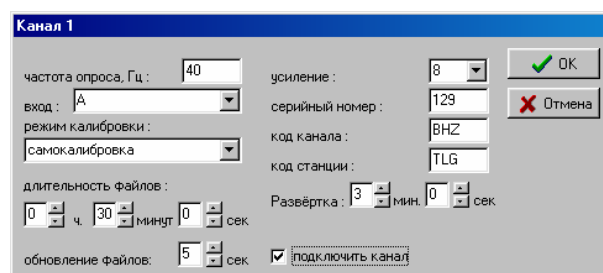


Рисунок 3. Вид окна обзора. Справа от каждой сейсмограммы показаны результаты замера преобладающей текущей частоты, периода и амплитуды на этой частоте



а



б

Рисунок 4. Окна настроек: а - GPS-приёмника; б - сейсмометрического канала

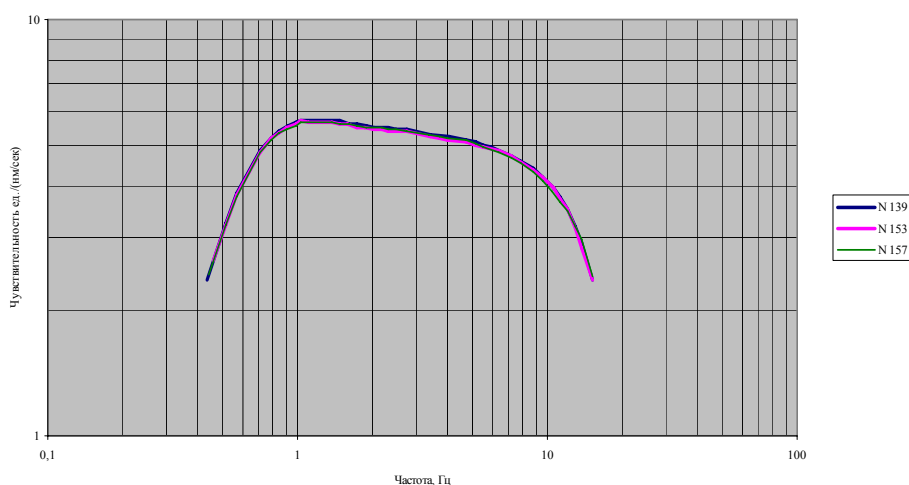


Рисунок 5. Пример амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), полученной с помощью программы «Скорпион» при калибровке на вибрационном стенде. АЧХ комплекта, состоящего из модуля «Л-Кард» Е-24 и 3-х сейсмометров СМ-3. Станция «Новоалексеевка»

Программа «Скорпион» организует одновременно три параллельных процесса. Один непрерывно принимает поток данных от модуля Е-24 «Л-Кард», обрабатывает их, а также выполняет синхронизацию системных часов компьютера и встроенного таймера модуля Е-24. Второй выполняет корректировку хода системных часов компьютера с помощью GPS-приёмника с заданной периодичностью, запуск этого процесса не является обязательным. Третий процесс обеспечивает взаимодействие с пользователем. Все процессы отлажены таким образом, что выполнение на компьютере других задач практически не отражается на функционировании программы.

Программа «Ревизор»

Задача программы «Ревизор», являющейся вспомогательной, — слежение за функционированием программы «Скорпион». В случае обнаружения изменения некоторых параметров в результате возникновения каких-либо аппаратных проблем, накопления ошибок в работе операционной системы и прочих сбоев, программа «Ревизор» осуществляет перезапуск операционной системы, программы «Скорпион» и самой себя, а также выполняет восстановление всех режимов работы. Перезапуск системы осуществляется в течение полутора-двух минут. Тем самым, обеспечивается практически беспрерывный режим работы. При испытаниях система работала без сбоев по несколько месяцев, останавли-

ливаясь лишь при значительных перебоих с электро-снабжением, вмешательстве оператора во время обновления версий программного обеспечения (ПО) и по прочим причинам, не связанным с функционированием ПО.

Программа «GPSTime»

Программа является вспомогательной и при регистрации сейсмических данных обычно не используется. Она может автоматически корректировать ход системных часов компьютера с заданной периодичностью при относительно низкой точности. Но это не основное предназначение программы, эту же функцию со значительно более высокой точностью может выполнять программа «Скорпион». «GPSTime»-программа предназначена для вспомогательной работы с GPS-приёмником. Программа может перенастраивать его на различные режимы работы и выдавать в окне распечатку сообщений, поступающих с GPS-приёмника в реальном времени. Это позволяет, например, получить информацию о координатах и высоте над уровнем моря или оп-

тимально выбрать место для установки GPS-приёмника. Функция особенно полезна для моделей GPS-приёмников, не имеющих собственного дисплея, как в случае с Garmin GPS35-USB.

ОПРОБОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА

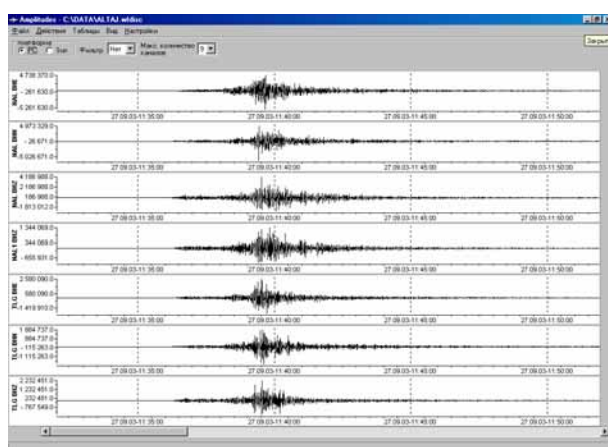
Начиная с лета 2003 г программно-аппаратный комплекс был установлен и испытывался на сейсмических станциях «Талгар» и «Новоалексеевка» (таблица 2).

Непрерывная регистрация данных продолжается. Опыт эксплуатации программно-аппаратного комплекса показал его неплохую надежность. Вмешательство оператора требуется только при запуске, остановке и в аварийных случаях.

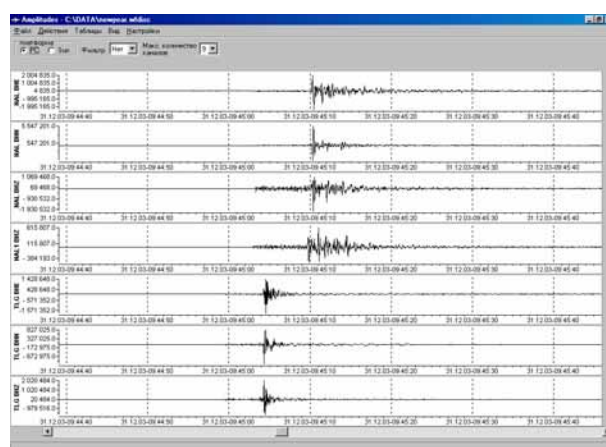
На рисунке 6 приведены примеры сейсмограмм, записанные созданными станциями. Обозначение сейсмостанций TLG - Талгар, NAL – Новоалексеевка (на поверхности), NAL1 – Новоалексеевка (скважина, глубина 704 м)

Таблица 2. Основные данные о сейсмических станциях

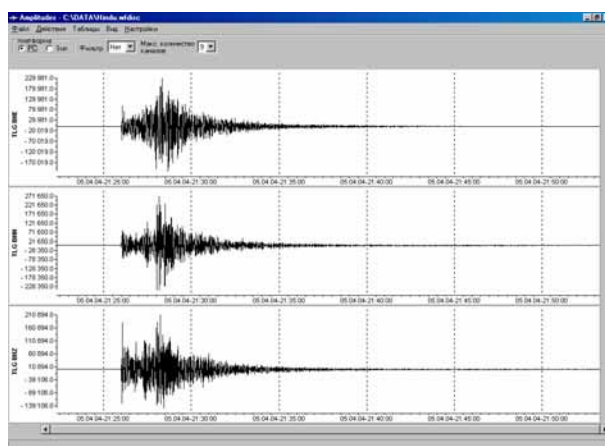
Название станции	Код станции	Высота, м	Широта	Долгота
Талгар	TLG	1210	43,2487	77,2237
Новоалексеевка	NAL	700	43,393	77,2273



а



б



в

Рисунок 6. Записи землетрясений, сделанные описанными программно-аппаратными комплексами:

а - Алтайского, 27-09-2003, $t_0=11:33:35.2$, 50.03N, 87.83E; б - окрестностях г. Алматы, 31-12-2003, $t_0=09:44:53.1$, 42.98N, 77.46E; в - 05-04-2004 $t_0=21:24:06.4$, 36.59N, 70.85E (по данным ИГИ НЯЦ РК [7])

Выводы

В статье рассмотрен опыт создания сейсмической станции, разработанной с использованием серийных электронных блоков общего назначения и специально созданного программного обеспечения.

Как можно видеть из блок-схемы, приведенных характеристик и описания программного обеспечения, аппаратурно-программный комплекс достаточно прост в настройке, установке и использовании, его технические характеристики приемлемы для ведения долговременных наблюдений и получения качественных сейсмических данных.

Аппаратурно-программный комплекс проходит испытание на двух станциях - Талгар и Новоалексеевка. Полученные результаты подтвердили ожидаемые технические характеристики. Опыт эксплуатации показал неплохую надежность программно-аппаратного комплекса. Вмешательство оператора требовалось только при запуске, остановке и в аварийных случаях.

Предложенный подход позволил существенным образом снизить затраты на оборудование без ухудшения технических характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет-сайт Refraction Technology Inc., <http://www.reftek.com>
2. Интернет-сайт Kinometrics Inc., <http://www.kinometrics.com>
3. Интернет-сайт Precision Measurement Devices (PMD) Scientific Inc., <http://pmdsci.home.att.net>
4. Standard for the exchange of earthquake data. Reference Manual. SEED Format Version 2.3. IRIS, 1993.
5. Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manual. J. Anderson, W.E. Farrell et al.// Technical Report C90-01. - Arlington, 1990.
6. ЗАО «Л-Кард». Модуль Е-24. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 1998.
7. Интернет-сайт Центра данных ИГИ НЯЦ РК, <http://www.kndc.kz>

СЕЙСМИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІН ТІРКЕУ ҮШІН ЖАЛПЫ МІНДЕТТЕГІ СЕРИЯЛЫҚ ЖАБДЫҚТАРЫН ҚОЛДАНУ ТӘЖРИБЕСІ

Шепелев О.М., Ермоленко Н.А., Болгов В.П.

ҚР ТЖА «Қазселқорғаныс» ММ «Прогноз» ғылыми-өндірістік кешені, Талгар, Қазақстан

Сейсмикалық деректерін тіркеу үшін жалпы міндеттегі сериялық өндірісінің жабдықтарын және арнайы программалық жасауын қолдану тәжірибесі сипатталады. Сейсмометриялық аппаратурасының құнын төмендетуі оның техникалық мінездемелерін нашарлатпай жеткізілген.

EQUIPMENT APPLICATION EXPERIENCE FOR SEISMIC DATA REGISTRATION USING STANDARD ELEMENT BASE OF GENERAL PURPOSE

O.M. Shepelev, N.A. Ermolenko, V.P. Bolgov

Scientific Forecasting Center, Head Management «Kazselezaschita» Emergency Agency of RK, Talgar, Kazakhstan

Experience of equipment creation and application for seismic data registration with electronic part that was assembled at standard element base of general purpose and special author's software is being described. Seismic equipment cost reduction was reached without degradation of its technical features

УДК 550.34.08(574.2)

**ОБ ОПЫТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКИХ
ПРИБОРОВ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЕ «БОРОВОЕ»****Эльтеков А.Ю., Столяров О.А., Базина З.П., Бреднев С.П., Слепцов В.И.***Научно-исследовательский институт импульсной техники, Москва, Россия*

Приводятся некоторые результаты исследований характеристик собственного шума и нелинейных искажений в измерительных каналах широкополосных сейсмометров, выполненных в 80-90 гг. на экспериментальной базе «Боровое». Благодаря низкому уровню сейсмического фона в районе сейсмической станции «Боровое» удалось получить достаточно точные оценки характеристик сейсмических приборов. Установлены величины погрешности 20-30 % - при измерении характеристик собственного шума, что в 5-6 раз меньше сейсмического фона, и 0,01-0,05 % - при измерении коэффициента нелинейных искажений.

В 70-80-е годы XX столетия проходило бурное развитие длиннопериодных сейсмометров для мониторинга ядерных взрывов, в том числе, скважинных. Главным направлением исследований было улучшение их метрологических характеристик: расширение частотного диапазона, снижение собственных шумов измерительных каналов, уменьшение нелинейных искажений и т.п. Необходимость в сейсмических приборах с высокими техническими характеристиками подчеркнута требованиями Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) [5]. Результатом разработок явилось создание ряда широкополосных сейсмометров-акселерометров - KS-54000 в США, CMG-3TB в Великобритании, EDS-2/BL в ГДР, ДС-3К в СССР и др. Теоретически обеспечивались высокие показатели сейсмических приборов: полоса частот регистрации - от сотых долей Герц до единиц и десятков Герц, собственный шум - на 10-30 дБ ниже минимального сейсмического фона, нелинейные искажения - не более сотых долей процента. В это же время предпринимались шаги по совершенствованию методов и средств экспериментальной оценки и подтверждения перечисленных характеристик. Основными источниками погрешности экспериментальных исследований, являлись сейсмический фон и внешние дестабилизирующие факторы, главным образом, неравновесные тепловые и атмосферные потоки, непосредственно воздействовавшие на корпус сейсмометра.

Одним из путей повышения точности исследования и оценок характеристик сейсмических приборов является организация экспериментов в заглубленных помещениях и в скважинах. При надлежащем выборе места размещения, уже при глубине установки испытуемого сейсмометра 10 м и более отмечается удовлетворительное снижение тепловых и конвекционных потоков, а при надлежащем выборе места эксперимента - многократное снижение сейсмического фона по сравнению с лабораторными условиями. В США местом исследований сейсмических приборов является обсерватория Ла-Хитас Альбукеркской лаборатории (Нью-Мехико). На территории бывшего СССР таким местом служила Геофизическая обсерватория «Боровое» ИДГ РАН в Казахстане (ныне Геофизическая об-

серватория «Боровое» Института геофизических исследований НЯЦ РК).

В 80-х - начале 90-х годов XX века на технической базе Геофизической обсерватории «Боровое» проводились исследования и метрологическое тестирование ряда таких сейсмических приборов, как: электродинамический сейсмометр EDS-2M ($T_0=2,5$ с), емкостный сейсмометр EDS-2/BL ($T_0=10$ с) [6], емкостный сейсмометр ДС-3К ($T_0=4$ с) [2]. Расчетный динамический диапазон регистрации этих приборов составлял от сотых долей нанометра до миллиметров. В ходе исследований определялись амплитудно-частотные характеристики, шумовые характеристики и нелинейные искажения в измерительных каналах сейсмических приборов. Исследования проводились в штольне, а затем в скважинах.

Для подавления мешающего действия сейсмического фона при определении амплитудно-частотных характеристик и характеристик нелинейности приборов использовались методы гармонического анализа и наименьших квадратов. При измерениях характеристик собственного шума сейсмических приборов использовался метод компенсации [3], модернизированный для решения этой задачи. Основой модернизированного метода компенсации является исключение из сейсмических записей на выходе измерительного канала испытуемого прибора составляющих, коррелированных с сигналами на выходе измерительного канала технологического прибора. Кроме того, применялась аналоговая и цифровая полосовая фильтрация.

**ИССЛЕДОВАНИЯ АМПЛИТУДНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК И НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ**

Методика исследований. Исследования проводились как классическим методом одного тона, так и методом разностного тона [4]. Однако из-за сейсмического фона метод одного тона обеспечивал погрешность измерения нелинейности амплитудных характеристик не менее 1 %, а для малых амплитуд - десятки процентов. Преимущество метода разностного тона обуславливалось тем, что сейсмический фон по ускорению (на выходе сейсмометра-акселерометра) имеет значительный спад в области частот 0,02-0,05 Гц, а для некоторых мест - 20-30 дБ по сравнению с фоном на частотах 1 Гц и выше [1],

что позволяет регистрировать малые нелинейные искажения в измерительных каналах.

В состав используемого измерительного оборудования входили: генераторы синусоидальных сигналов, сумматор, фильтр-усилитель, аналого-цифровой преобразователь, ЭВМ. Измерения проводились в следующем порядке. Сейсмометр устанавливался в скважине на глубине 100 м. Амплитуда синусоидальных сигналов была $(1 \pm 0,1)$ В, частота первого сигнала - 1,0 Гц, второго - 1,032 Гц. Генератор подключался к выходу сумматора, и суммарный сигнал подавался на калибровочную катушку сейсмометра. Затем измерялась амплитуда сигналов $U(f_1)$ и $U(f_2)$ на выходах сейсмометра. Во время измерений уровень сейсмического фона контролировался по сигналу с выхода второго сейсмометра. В

качестве оценки амплитуды принималось среднее значение по серии наблюдений. Далее измерялась амплитуда гармонического сигнала с частотой 0,032 Гц. Коэффициент интермодуляции (по методу разностного тона) K_{PT} рассчитывался по формуле

$$K_{PT} = \frac{A(f_1 - f_2) / K(f_1 - f_2)}{A(f_1) / K(f_1) + A(f_2) / K(f_2)} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где: $A(f)$ – измеренная амплитуда гармоник с частотой f ; $K(f)$ – коэффициент усиления канала от входа сейсмометра до входа АЦП.

Результаты измерений нелинейных искажений сейсмометра ДС-3К по методу разностного тона приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерений нелинейных искажений сейсмометра ДС-3К по методу разностного тона

Частота f_2 , Гц	$\sigma_f(0,02-0,005)$ Гц, нм/с	$A(0,03 \text{ Гц})$, нм/с	$K_{PT}, \%$	$\Delta_{PT}, \%$	$\Delta_{PT} - \varepsilon_{CT}, \%$
1,0	10	4,5	0,01	0,05	0,005
	18	13	0,03	0,06	0,01
	16	8	0,02	0,06	0,01
	10	3	0,01	0,05	0,005
	17	5	0,01	0,05	0,005
	25	13	0,03	0,06	0,01
0,5	11	9	0,03	0,04	0,01
10,0	22	13	0,03	0,3	0,01

Оценка погрешности. Абсолютная погрешность определения коэффициента интермодуляции рассчитывалась по формуле:

$$\Delta_{PT} = \pm \sqrt{\varepsilon_{U_A}^2 + \frac{1}{4} \varepsilon_{U_1}^2 + \frac{1}{4} \varepsilon_{U_2}^2 + \varepsilon_{CT}^2} \cdot \frac{K_{PT}}{100}, \quad (2)$$

где Δ_{PT} – абсолютная погрешность измерения K_{PT} при $P=0,95$; ε_A , ε_{U_1} , ε_{U_2} – относительная погрешность измерения амплитуд гармоник с частотами Δf , f_1 , f_2 ; ε_{CT} – неисключенная систематическая погрешность, вносимая стендовой аппаратурой.

Систематическая погрешность, вносимая стендовой аппаратурой, контролировалась путем подачи на калибровочный вход второго сейсмометра сигнала от генератора и последующего измерения амплитуды гармоники выходного сигнала на разностной частоте. Экспериментальные исследования стендовой аппаратуры показали, что при $f_1=1$ Гц и $\Delta f=0,03$ Гц величина ε_{CT} не превышает 20 % при K_{PT} , она имеет значение не менее 0,1 % и 80 % при K_{PT} 0,01 %. При этом основной вклад в погрешность вносит гармоническая составляющая разностной частоты, возбуждаемая генератором сигналов. Величины ε_{U_1} , ε_{U_2} составляли не более 1 %. Величина ε_A достигала 10-20 %, поскольку измерения амплитуды разностного тона проходили под фоном. Абсолютная погрешность измерений интермодуляционных

искажений на разностной частоте 0,032 Гц с вероятностью 0,95 не превышала 0,06 % для значений $K_{PT} \leq 0,03$ %. При исключении систематической погрешности стенда абсолютная погрешность составляла 0,005-0,01 %.

ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМОВ СЕЙСМОМЕТРОВ

Методика исследований. Испытуемый и технологический сейсмометры устанавливались либо на одном постаменте, либо в двух близко расположенных скважинах на одинаковой глубине в монолитном слое. При этом оси максимальной чувствительности двух сейсмометров были взаимно параллельны. Электрические сигналы с выхода каждого сейсмометра поступали на вход усилителей-фильтров. Усиленные сигналы поступали на входы двухканального аналого-цифрового преобразователя. Затем оцифрованные с частотой дискретизации f_s сигналы вводились в компьютер для обработки и вычисления среднеквадратичного значения собственного шума испытуемого сейсмометра. Результаты расчетов выводились на дисплей и печатающее устройство.

Вычисление среднеквадратичного значения собственного шума испытуемого сейсмометра по выходу осуществлялось по формуле:

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{\delta^2}{(N-1)k_H^2} \sum_{i=1}^N U_H^2(t_i) - \left[\frac{\delta^2}{Nk_H^2} \sum_{i=1}^N U_H(t_i) \right]^2 - \frac{1}{k_H k_T} \left[\frac{\delta^2}{N} \sum_{i=1}^N U_H(t_i) U_T(t_i) - \frac{\delta^2}{N^2} \sum_{i=1}^N U_H(t_i) \sum_{i=1}^N U_T(t_i) \right] - \frac{\delta^2}{12k_H^2} - \sigma_{cm}^2}, \quad t_i = t_0 + \frac{i}{f_s}, \quad (3)$$

где: σ_U – среднеквадратичное значение собственного шума сейсмометра по выходу; δ – цена младшего

разряда цифрового кода АЦП; N – количество пар отсчетов сигналов; K_H – коэффициент усиления

фильтра-усилителя по каналу "И"; $U_{II}(t_i)$ – цифровой код напряжение в канале "И" в момент времени t_i ; k_T – коэффициент усиления фильтра-усилителя по каналу "Т"; $U_T(t_i)$ – цифровой код напряжения в канале "Т" в момент времени t_i ; σ_f – среднеквадратичное значение шума фильтра-усилителя по входу; t_0 – начальный момент времени.

Определение собственных шумов в узких частотных полосах осуществлялось с использованием цифровой фильтрации оцифрованных записей. При исследованиях использовалась процедура полосового БИХ-фильтра Баттерворта пятого порядка. Оценки спектров собственных шумов проводились путем деления квадрата полученного среднеквадратичного значения собственного шума в соответствующей полосе цифрового фильтра на ширину полосы по уровню 0,7.

Расчет среднеквадратичного значения собственного шума сейсмометра по входу проводилось по формуле:

$$\sigma_c = \frac{\sigma_U}{k_C}, \quad (4)$$

где: σ_c – среднеквадратичное значение собственного шума сейсмометра по входу; σ_U – среднеквадратичное значение собственного шума сейсмометр по выходу; k_C – коэффициент преобразования сейсмометра.

При проведении исследований использовался аппаратно-программный комплекс, разработанный в НИИИТ и обладающий следующими характеристиками:

- коэффициент усиления фильтров-усилителей – 10-2000

- амплитудная неидентичность каналов фильтров-усилителей не более – 1 %
- фазовая неидентичность каналов фильтров-усилителей не более – 0,5°
- среднеквадратичное значение шума по входу не более:
 - в полосе 0,02-0,1 Гц – 0,1 мкВ
 - в полосе 0,1-1,0 Гц – 0,15 мкВ
 - в полосе 1-10 Гц – 0,1 мкВ
- цена младшего разряда АЦП – 62,5 мкВ.

Исследования проводились в штольне и в экспериментальных скважинах Геофизической обсерватории «Боровое». Температура воздуха в штольне составляла около 5° С в течение всего времени измерений. Глубина исследовательских скважин 75 м, расстояние между скважинами 6 м. Скважины сухие, диаметр обсадных труб 350 мм. В обеих скважинах на глубине 50-60 м устанавливались специальные замковые устройства, обеспечивающие установку и ориентацию сейсмометров. Температура на глубине установки сейсмометров составляла около 6° С.

Для снижения влияния сейсмического фона измерения проводились, как правило, в ночное время. При этом уровень сейсмического фона составлял: в полосе частот 0,02-1,0 Гц – 20-30 нм в скважинах и 100 нм в штольне; в полосе частот 0,1-1,0 Гц – 40-60 нм в скважинах и 100-120 нм в штольне; в полосе частот 1-10 Гц – 0,3-0,4 нм в скважине и в штольне. Результаты измерений собственного шума некоторых сейсмометров, полученные в ходе выполненных исследований, приведены в таблице 2.

Таблица 2. Экспериментально-расчетные спектры шумов некоторых сейсмометров (нм/Гц^{1/2})

Полоса частот, Гц	Тип сейсмометра (условия измерений)				Сейсмический фон
	EDS-2 (в штольне)	EDS-2M (в штольне)	EDS-2M (в скважине, цифровая фильтрация)	ДС-ЗК (в 2-х скважинах)	
0.01-0.014	х	хх	800	х	5000-8000
0.014-0.02	х	хх	260-300	х	2800-3000
0.02-0.028	130-250	120	80-90	90-130	900-1000
0.028-0.04	60-120	60	24-28	60-90	180-230
0.04-0.056	10-20	12	8-10	40-60	60
0.056-0.08	5-10	6	3-4	12-15	45-50
0.08-0.1	3-6	3-6	1.8	10-12	10-30
0.1-0.14	10-12	6-12	1.0-1.2	7-8	30-50
0.14-0.2	5-6	3-6	0.12	5-6	80-90
0.2-0.28	7-10	1.7-2.5	0.16	3-4	60-70
0.28-0.4	3-5	0.9-1.2	0.02	2-3	14-18
0.4-0.56	х	0.6-0.7	0.07	1-2	3.0-3.6
0.56-0.8	х	0.3-0.4	0.02-0.03	1-1.5	1.0
0.8-1.0	х	0.15-0.2	0.02-0.03	0.5-1.0	0.8-1.0
1.0-1.4	х	0.04	0.06-0.08	0.04-0.06	0.9-1.4
1.4-2.0	х	0.02	0.01-0.04	0.03-0.04	0.27-0.3
2.0-2.5	х	0.01	0.01-0.02	0.02-0.03	0.2-0.3
2.5-10	х	х	х	0.02-0.03	0.05-0.1

Примечание: х - вне частотного диапазона, хх – корреляции нет

На рисунке приведены экспериментальные спектрограммы собственного шума некоторых сейсмометров.

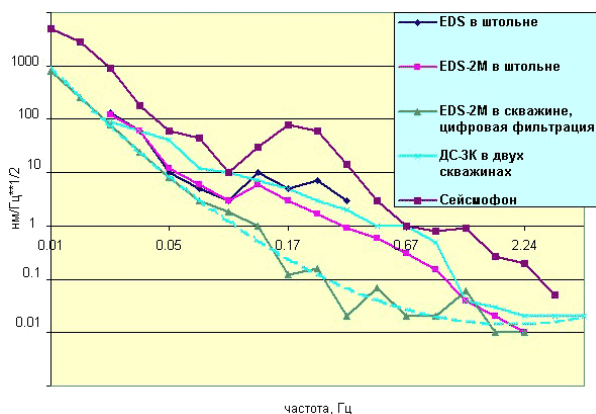


Рисунок. Экспериментальные спектрограммы собственного шума некоторых сейсмометров

Оценка погрешности. Вычисление неисключенной систематической погрешности измерений ($P=0,95$) осуществлялось по формуле:

$$\theta = 0,55 \frac{\sigma_s^2}{\sigma_c^2} \sqrt{\left[\frac{\delta\varphi_{op}^4}{4} + \left(\varepsilon_A + \frac{\delta\varphi^2}{2} \right)^2 + \varepsilon_k^2 \right]} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где: $\varepsilon_{сл}$ – относительная случайная погрешность измерений среднеквадратичного значения собственного шума сейсмометра, %; σ_c – среднеквадратичное значение собственного шума испытуемого сейсмометра; f_s – частота дискретизации; f_e – верхняя граница частотного диапазона; n – количество измерений; N – число отсчетов в каждом наблюдении.

Оценка суммарной погрешности измерения ($P=0,95$) проводилась по формуле

$$\theta_{изм} = \sqrt{\theta^2 + \varepsilon_{сл}^2}, \quad (7)$$

где: $\theta_{изм}$ – относительная погрешность измерения среднеквадратичного значения собственного шума сейсмометра, %; θ – определяется по формуле (5); $\varepsilon_{сл}$ – определяется по формуле (6).

При выполнении измерений количество отсчетов N составляло не менее 1500, количество измерений n не менее 3. Составляющие погрешности измерений в формуле (5) были равны: ε_A – не более 1 %, $\delta\varphi_{op}$ – не более 0,04 рад при установке в скважинах и не более 0,01 рад при установке сейсмометра в штольне, $\delta\varphi$ – не более 1 % и не более 0,2 % при цифровой фильтрации, ε_k – не более 0,3 %. Эффект повышения точности измерений при использовании цифровой фильтрации хорошо виден на рисунке.

Таким образом, обеспечивалась оценка характеристик собственного шума с погрешностью не более 20-30 % при отношении среднеквадратичного зна-

где: θ – относительная систематическая погрешность измерений; σ_s – среднее значение сейсмического фона во время измерений; σ_c – полученное среднеквадратичное значение собственного шума сейсмометра по входу; $\delta\varphi_{op}$ – погрешность взаимной ориентации осей максимальной чувствительности испытуемого и технологического сейсмометра, рад; ε_A – относительная погрешность определения отношения коэффициентов усиления фильтров-усилителей по каналам "И" и "Т"; $\delta\varphi$ – максимальная разность фазовых характеристик фильтров-усилителей в каналах "И" и "Т" в рабочих полосах частот, рад; ε_k – относительная погрешность определения коэффициента преобразования испытуемого сейсмометра.

По результатам математического моделирования выявилось, что основной вклад в систематическую погрешность вносит неидентичность измерительных каналов, как сейсмометров, так и стандовой аппаратуры. Использование одного многоканального АЦП позволило устранить погрешность, связанную с неидентичностью и несинхронностью отсчетов.

Случайная погрешность измерения ($P=0,95$) определялась по формуле

$$\varepsilon_{сл} = \sqrt{\frac{2 + \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_c} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_c} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_c} \right)^2 \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_c} \right)^2 + \frac{f_s}{\pi f_e}}}{n \cdot N} \cdot 100\%, \quad (6)$$

чения собственного шума к среднеквадратичному значению сейсмического фона минус 16 дБ, а при использовании цифровой фильтрации минус 20 дБ. Такая точность оценок вполне приемлема для метрологического тестирования погрешности сейсмических приборов.

Выводы

Сейсмологические и технические условия на экспериментальной базе «Боровое» позволили отработать методики и аппаратуру для измерения характеристик нелинейности и собственного шума измерительных каналов широкополосных сейсмических приборов.

Условия экспериментальной базы «Боровое» обеспечивают возможность выполнения измерений собственных шумов и нелинейных искажений в измерительных сейсмических каналах с удовлетворительной точностью. Экспериментальная база «Боровое» является одним из перспективных мест для проведения метрологических исследований и аттестации современных сейсмических приборов.

Описанные методики выполнения измерений характеристик собственного шума и нелинейных искажений измерительных сейсмических каналов могут быть использованы для технологических и метрологических испытаний высокочувствительных сейсмометров, для оценки их соответствия требованиям, предъявляемым Организацией по ДВЗЯИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология//Теория и методы, ч.1. – М.: Мир, 1983.
2. Белоносов А.И., Михайлов В.Н. Автоматический сейсмический комплекс//Геофизические приборы, 1992.
3. Жовинский, В.Н., Араховский В.Ф. Корреляционные устройства. - М.: Наука, 1973.
4. Рубичев Н.А. Оценка и измерение искажений радиосигналов. – М.: Советское радио, 1978.
5. PTS requirements. – Vienna: CTBTO, 2000.
6. M. Schmidt, M. Bhol, S.P. Brednev, A.Yu. Eltekov, O.A. Stolyarov Some best results of EDS-2 seismometer family//Proceedings of XXI-th General Assembly of ESC, - Sophia, 1988.

«БУРАБАЙ» ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬДЫ БАЗАСЫНДА СЕЙСМИКАЛЫҚ АСПАПТАРЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ ТӘЖРИБЕСІ ТУРАЛЫ

Эльтеков А.Ю., Столяров О.А., Базина З.П., Бреднев С.П., Слепцов В.И.

Импульсы техника ғылыми-зерттеу институты, Москва, Ресей

80-90 жж. «Бурабай» экспериментальды базасында орындалған кең жолақты сейсмометрлердің өлшеуіш арналарындағы өзіндік шулары мен сызықты емес бұрмалануының сипаттамаларын зерттеуінің кейбір нәтижелері келтірілген. «Бурабай» сейсмикалық станциясы ауданында сейсмикалық аясының төмен деңгейі арқасында сейсмикалық аспаптардың сипаттамаларының дәлді бағалауын алуға сәті болды. Сейсмикалық аясынан 5-6 рет кіші өзіндік шуларының сипаттамаларын өлшеуінде – 20-30% және сызықты емес бұрмалануының коэффициентін өлшеуінде – 0,01-0,05% қателіктерге қол жеткен.

ON RESEARCH OF SEISMIC EQUIPMENT CHARACTERISTICS AT BOROVOYE EXPERIMENTAL BASE

A.Yu. Eltekov, O.A. Stolyarov, Z.P. Bazina, S.P. Brednev, V.I. Sleptsov

Research Institute of Pulse Equipment, Moscow, Russia

The paper provides some results of study of intrinsic noise characteristic and nonlinear distortions in measuring channels of broadband seismometers carried out in '80-'90s at experimental base Borovoye. Thank to a low seismic background around Borovoye seismic station it was possible to obtain sufficiently precise estimations of seismic equipment response. It was achieved 20-30% error values at measuring intrinsic noise characteristic that 5-6 times lower than seismic background, and 0.01-0.5% at measuring non-linear distortion factor.

УДК 550.34:621.039.9

**ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛОКАЦИИ
И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ**¹Хайретдинов М.С., ²Клименко С.М.¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия*²*Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*

Разработаны основные этапы технологии автоматизированной локации сейсмических источников, основанной на выделении и измерении волновых параметров сигнала на фоне шумов, расчете географического положения и отображения источников на цифровой карте. Высокая точность, обеспечиваемая предложенной технологией, подтверждена в процессе анализа множества событий.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема локации сейсмических источников разного типа – землетрясений, ядерных и промышленных взрывов, – является одной из ключевых в современной сейсмологии. В ее основе лежит решение обратной задачи восстановления параметров источника (географических координат, глубины, мощности, времени в очаге) по результатам регистрации сейсмических сигналов сетью сейсмических станций либо сейсмическими группами. При этом проблема снижения погрешности локации источника является одной из основных. Трудность ее решения обусловлена присутствием техногенных шумов и иных событий, которые являются фоновыми по отношению к полезному сигналу от события. Другая специфика связана с использованием данных малой сейсмической группы, представляемой в виде пространственно распределенной системы сейсмоприемников, охватывающих ограниченную линейную базу.

Решение задачи локации сейсмических источников, учитывающее отмеченные особенности, содержит ряд основных этапов [1]:

- выделение и измерение времен вступления сейсмических волн Р и S;
- идентификация источника;
- определение параметров очага;
- отображение координат источника на цифровой карте.

Необходимость учета влияния фоновых событий и сейсмических шумов определяет большую потребность в автоматизированной технологии решения задачи локации в помощь человеку – оператору, чтобы снять множество рутинных операций обработки данных в условиях непрерывного мониторинга событий. Ниже рассматриваются некоторые вопросы, относящиеся к созданию такой технологии.

Проблема автоматизации процедуры обнаружения и измерения параметров сейсмического источника решалась и ранее, например в [2]. Основная идея подхода к выделению и измерению параметров сейсмических волн, изложенная в [2], базируется на использовании многооконного частотного анализа сейсмических волн с последующим пороговым методом принятия решения. Очевидно, что эффективность обработки в этом случае зависит от оптимальности выбора параметров частотных окон. Другой подход к определению моментов вступлений сейс-

мических волн основан на применении алгоритма определения момента разладки временной последовательности по максимуму специально формируемой решающей функции, представляемой в виде ряда функции авторегрессии со скользящим средним [1]. Такой алгоритм обладает высокой точностью, но в вычислительном плане характеризуется достаточно большой трудоемкостью, что предъявляет высокие требования к быстродействию процессора при реализации метода обработки в режиме реального времени.

В отличие от [1,2], в данной работе для описания и определения параметров сейсмических волн предлагается использовать вейвлет-преобразование [3]. Этот вид преобразования позволяет эффективно описывать и выделять полезный сигнал импульсной природы на фоне шумов благодаря тому, что в его основе лежит система локализованных базисных функций, обеспечивающих естественность их использования для представления импульсных сейсмограмм. Как и Фурье-преобразование временных сигналов, вейвлет-преобразование обладает фильтрующими свойствами полезного сигнала на фоне шумов (микросейсм).

**ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В ОБРАБОТКЕ
ИМПУЛЬСНЫХ СЕЙСМОГРАММ**

Вейвлет-преобразование одномерного сигнала состоит в его разложении по базису, сконструированному из обладающей определенными свойствами солитоноподобной функции (вейвлета) посредством масштабных изменений и переносов. Каждая из функций этого базиса характеризует как определенную пространственную (временную) частоту, так и ее локализацию в физическом пространстве (времени).

Таким образом, в отличие от традиционно применяемого для анализа сигналов преобразования Фурье, вейвлет-преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом частота и координата рассматриваются как независимые переменные. В результате появляется возможность анализировать свойства сигнала одновременно в физическом (время, координата) и в частотном пространствах [3].

Интегральное вейвлет-преобразование записывается следующим образом:

$$X(\tau, s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{\tau, s}(t) dt, \quad (1)$$

где

$$\psi_{\tau, s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right), \quad \tau, s \in R \quad \psi \in L^2(R) \quad (2)$$

Таким образом, базис функционального пространства $L^2(R)$ может быть построен с помощью непрерывных масштабных преобразований и переносов вейвлета $\psi(t)$ с произвольными значениями базисных параметров – масштабного коэффициента s и параметра сдвига τ .

Выбор анализирующего вейвлета, как правило, определяется тем, какую информацию необходимо извлечь из сигнала. Каждый вейвлет имеет характерные особенности во времени и в частотном пространстве. При этом наиболее подходящими для

аппроксимации сейсмических сигналов являются вейвлеты Добеши [4].

Формула материнского вейвлета задается следующим способом:

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2M-1} g_k \varphi(2t-k), \quad (3)$$

где

$$g_k = (-1)^k h_{2M-k-1}, \quad \varphi = \begin{cases} 0, & x < 0 \text{ и } x \geq 1 \\ 1, & 0 \leq x < 1 \end{cases} \quad (4)$$

M (целое число) - число коэффициентов h .

Для дискретного вейвлет-преобразования Добеши 4-го порядка (при $M=2$) коэффициенты h_k имеют следующие значения: $h_0=0.48$, $h_1=0.84$, $h_2=0.22$, $h_3=-0.129$ (рисунок 1).

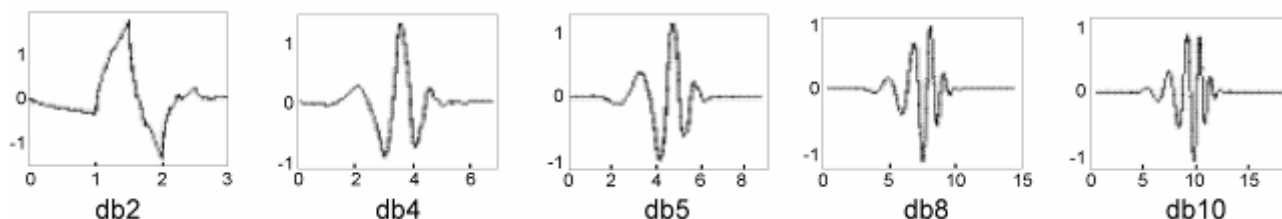


Рисунок 1. Семейство вейвлетов Добеши

На рисунке 1 приведены вейвлеты семейства Добеши 2-го, 4-го, 5-го, 8-го и 10-го порядков. С повышением порядка (число нулевых моментов) повышается гладкость функций. Таким образом, подбором порядка материнского вейвлета можно добиться наилучшего приближения.

В результате множества экспериментов среди вейвлетов Добеши 3, 5, 8, 12 было принято решение об использовании вейвлета Добеши 8, так как более высокий уровень вейвлета не вносит дополнительной информации и, следовательно, является избыточным.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ВРЕМЕН ВСТУПЛЕНИЯ ВОЛН

В качестве парадигмы шумоподавления была использована парадигма Донохо-Джонстона [5,6]. Данная парадигма является достаточно простой для реализации, экономичной в вычислительном отношении, поскольку подразумевает использование лишь быстрых алгоритмов вейвлет-преобразования, и содержит три шага, которые, будучи последовательно примененные к исходному сигналу, создают эффект шумоподавления.

В частности, на первом шаге данной парадигмы отыскивается одно- двухуровневое или более глубокое разложение сигнала, затем, на втором шаге, к каждому из коэффициентов детализации уровня j , а иногда коэффициентам аппроксимации того же

уровня, применяется процедура трешолдинга, и, наконец, в заключение восстанавливается сигнал, характеризуемый, как ожидается, более высоким значением отношения сигнал/шум.

Вычисление времен вступления Р и S волн непосредственно после вейвлет-преобразования может быть выполнено вручную, но не в автоматическом режиме. Для выполнения вычисления времен вступления волн в автоматическом режиме необходимо найти огибающую исследуемого сигнала.

$$A(t) = \sqrt{f^2(t) + f^{*2}(t)} \quad (5)$$

– огибающая сигнала, где

$$f^*(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(x)}{t-x} dx \quad (6)$$

– преобразование Гильберта

В качестве примера рассмотрено обнаружение волн и измерение их времен вступлений по отношению к взрывам мощностью 4 и 12 тонн с задержкой между ними 52.843 с. Записи произведены в точках, удаленных от источников на расстояние 230 км и 240 км. Исходная запись взрыва в полосе частот 1-10 Гц приводится на рисунке 2а.

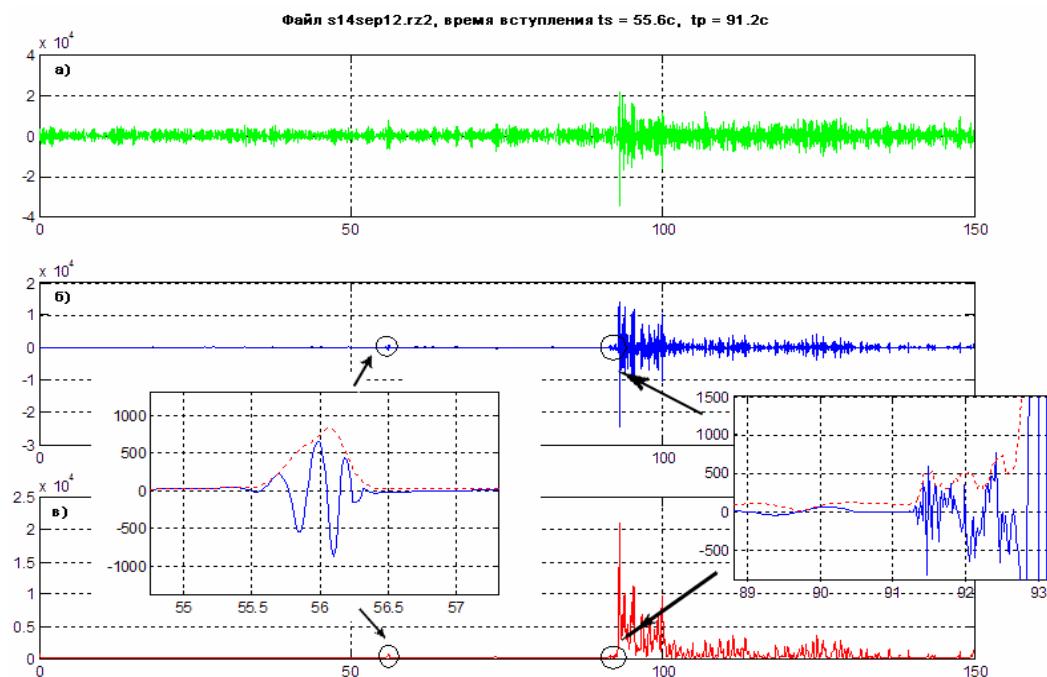


Рисунок 2. Пример вычисления времен вступления P и S волн: (а) исходный сигнал, (б) сигнал после удаления шума с использованием вейвлет-преобразования, (с) огибающая сигнала (пунктирная линия)

На рисунке 2 в графическом виде отображен процесс обнаружения прихода волн с помощью вейвлет-преобразования. Выделенные фрагменты иллюстрируют моменты вступления сейсмических волн от первого и второго взрывов, зарегистрированных на компоненте Z_2 . Следует отметить, что первая волна на исходной сейсмограмме (рисунок 2а) не обнаруживается. Погрешность оценивания времен вступления оценивалась по калибровочным временам пробега волн для данного региона и составила 0.9%.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА

Азимут на источник определяется по направлению максимума диаграммы направленности (ДН) регистрирующей линейки сейсмоприемников, выступающей в качестве малой сейсмической группы. При этом вводится нормированный коэффициент направленного действия группы из n приемников в виде

$$K.H.D._n = E_{\Sigma} / E_{\max}, \quad (7)$$

где:

$$E_{\max} = \left[\sum_{k=1}^n \mu_k \right]^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt;$$

$$E_{\Sigma} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\mu_1 f(t) + \mu_2 f(t + \Delta t_1) + \dots + \mu_n f(t + \Delta t_{n-1}) \right]^2 dt$$

соответственно максимальная и суммарная энергия на выходе группы приемников, каждый из которых регистрирует в среде амплитуду колебаний μ_k . Образец диаграммы, построенной по результатам регистрации колебаний от мощного вибратора с использованием малой сейсмической группы (МСГ), приведен на рисунке 3. В данном примере расстояние «источник-приемник» составляло 355 км. МСГ представляла собой профильную сейсмическую антенну с ли-

нейной базой 1000 м и азимутальной ориентацией на источник, равной 185 град. Вычисленный по положению максимума ДН азимут на источник в данном конкретном случае составил 5 град., что совпадает с истинным географическим азимутом.

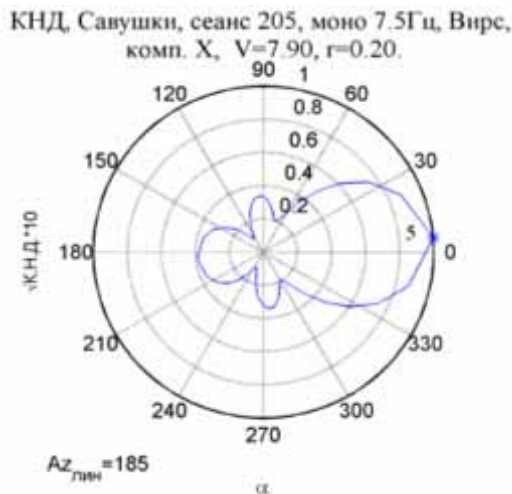


Рисунок 3. Диаграмма направленности малой сейсмической группы

СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Составной частью разрабатываемого комплекса является система визуализации, обеспечивающая отображение сейсмического источника на цифровой карте. Взаимодействие между системой визуализации и системой расчета координат источника осуществляется с использованием базы данных, обеспечивающей хранение информации о каждом источнике (Рисунок 4).

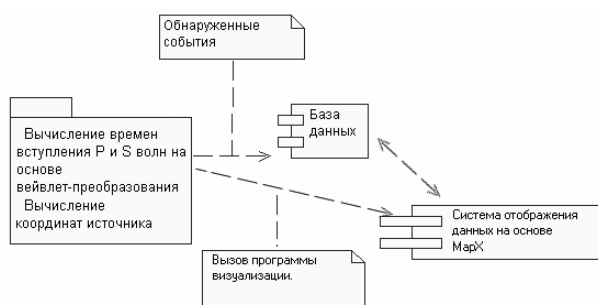


Рисунок 4. Схема взаимодействия компонентов системы визуализации

Ядром системы визуализации является пакет программ для работы с цифровыми картами MapX компании Эсти Мэп (Esti Map), обеспечивающий полную интеграцию с ГИС системой Map-Info. Последовательность действий при отображении полученных результатов является следующей. После

определения времен вступления Р и S волн, вычисленные координаты источника передаются в базу данных, после чего происходит вызов программы визуализации, отображающей координаты, сохраненные в базе данных, на карте. Система визуализации может работать также независимо, что позволяет использовать результаты, полученные ранее. При этом в базе данных хранится только сейсмическая информация об источнике, а сама цифровая карта – в системе визуализации. Это позволяет отображать одни и те же сейсмические данные на различных картах без каких-либо дополнительных затрат времени, а так же использовать одни и те же сейсмологические данные в различных системах визуализации. Образец цифровой карты с нанесенными источниками (карьерными взрывами) представлен на рисунке 5.

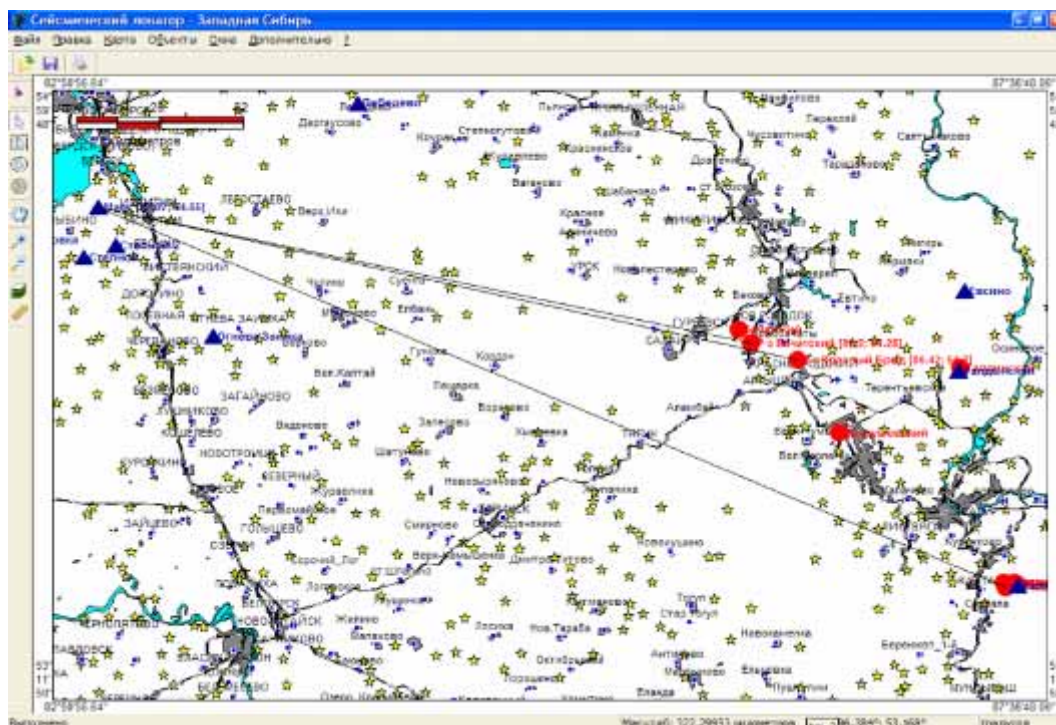


Рисунок 5. Пример визуализации сейсмических источников

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

С применением разработанной технологии локации сейсмических событий набрана статистика измерений времен вступлений волн и расстояний до источника по отношению ко многим промышленным взрывам с известными координатами и временами в источнике. Использованы взрывы, которые производились в открытых угольных разрезах Кузбаса, включая Бачатский, Талдинский, Калтанский, Кедровский, Ерунаковский. Регистрация взрывов осуществлялась с помощью передвижных сейсмостанций в диапазоне расстояний 150-350 км. Более подробные данные о расположении источников и сейсмических станций приведены в [7, 8].

Результаты измерений, полученные по предлагаемому алгоритму, сравнивались с аналогичными ре-

зультатами, полученными по алгоритму кумулятивных сумм. В таблице приведены данные по некоторым измерениям времен вступления волн $P_S - T_P, T_S$ и разницы между ними. При этом использованы записи компоненты Z. Приведены три группы данных, для которых указано три наименования пунктов взрыва, регистрации и географическое расстояние между ними. Расстояние «источник – приемник» оценивалось в соответствии с известным соотношением: $R = V \cdot (T_S - T_P)$, где V – усредненная скорость, принятая для данного азимутального направления (на восток), равной 7.9 км/с. Измерения, выполненные с использованием вейвлет-анализа, даны в графе «Вейв», с использованием алгоритма кумулятивных сумм – в графе «АКС». Оценки расстояния по обоим методам представлены в двух последних графах таблицы.

Таблица. Результаты регистрации карьерных взрывов

Наименование файлов	Tp, сек		Ts, сек		(Ts - Tp), сек		R, км	
	АКС	Вейв	АКС	Вейв	АКС	Вейв	АКС	Вейв
Взрыв на разрезе «Бачатский», регистрация в Быстровке, R=227.3 км								
10aug.mz1	38.08	36.8	66.84	65.2	28.76	28.4	227.2	224.36
10aug.mz2	37.58	36.8	66.78	65.5	29.2	28.7	230.7	226.73
10aug.mz4	37.92	36.2	67.12	64.2	29.2	28.0	230.7	221.2
10aug.mz5	38.0	37.0	66.46	64.8	28.46	27.8	225.0	219.62
Взрыв на разрезе «Калтанский», регистрация в Быстровке R=333.3 км								
6jul.b5	56.28	58.0	98.76	101.0	42.48	43.0	335.6	339.7
23jul.b1	54.26	53.6	96.24	95.9	41.98	42.3	331.6	334.17
31jul.b1	54.29	53.9	97.62	96.5	43.33	42.6	342.3	336.54
Взрыв на разрезе «Кедровский», регистрация в пос. Маяк R=219 км								
08jn1425.vx1	38.66	39.4	66.14	66.2	27.48	26.8	217.1	211.72
08jn1425.vz3	37.78	36.9	65.74	65	27.96	28.1	220.9	221.99

Как следует из таблицы, результаты измерений времен вступления основных типов волн по обоим алгоритмам отличаются в среднем в пределах 1%. Расхождение между полученными оценками и истинным географическим расстоянием между источником и приемником сейсмических волн не превышает 3%. Однако следует подчеркнуть более высокую вычислительную трудоемкость алгоритма кумулятивных сумм

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен и реализован в работах по калибровке сейсмических трасс алгоритм определения моментов вступлений основных типов волн на основе вейвлет-анализа. Проанализирована точность работы алгоритма по отношению к промышленным взрывам Кузбасса. Показано, что предложенный способ обработки сейсмических сигналов обеспечивает такую же точность вычисления времен вступления Р и S волн, что и применявшийся ранее в работах по калибровке сейсмических трасс алгоритм кумулятивных сумм. Погрешность определений в том и в другом случае составляет около 1%.

Основное преимущество предложенного метода заключается в более высокой скорости его работы по сравнению с алгоритмом кумулятивных сумм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хайретдинов М.С., Омельченко О.К., Родинов Ю.И. Автоматизированная технология локации сейсмического источника//Труды международной конференции Математические методы в геофизике. Ч. II. - Новосибирск: Изд. ИВМиМГ СО РАН, 2003. - С. 529-535.
2. Кедров О.К., Поликарпова Л.А., Стеблов Г.М. Алгоритм обнаружения слабых короткопериодических сейсмических сигналов на основе частотно-временного анализа трехкомпонентных записей в режиме реального времени//Физика земли, 1998. - № 2. - С.30-45.
3. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения //УФН, 1996. - т. 166, N 11.
4. P.J. Oninex Automatic phase detection in seismic data using the discrete wavelet transform//CWI Report PNA-R9811, October 1998.
5. D.L. Donoho De-noising by soft-thresholding //IEEE Trans. on Inform. Theory, 1995, #3. - P. 613-627.
6. D.L. Donoho., Johnstone I.M. Neo-classical minimax problems, thresholding, and adaptation // Bernoulli, 1996, #1, - P. 39-62.
7. Глинский Б.М., Еманов А.Ф., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С. Экспериментальные исследования по калибровке сейсмических трасс в Западной Сибири и Алтае-Саянском регионе (настоящий сборник).
8. Создание технологий калибровки сейсмических станций и сейсмических трасс с использованием мощных сейсмических вибраторов: Отчет по проекту МНТЦ №1067, часть 2/Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН. - Новосибирск, 2001.

Так, например, время вычисления вступления волн методами АКС и вейвлет-преобразования для сигнала длительностью 50 сек. составляет 8 сек. и <1 сек, для сигнала длительностью 100 сек – 28 и <1 сек, соответственно. Для сигнала длительностью 450 сек. время вычисления с использованием вейвлет-преобразования так же меньше одной секунды. Так как обработка данных мониторинга осуществляется в режиме реального времени, целесообразность использования вейвлет-анализа для обработки импульсных сейсмограмм очевидна.

Разработано сопряжение с ГИС-системой Map-Info для визуализации сейсмических источников на цифровой карте местности. Система оперирует с данными в виде времен вступлений основных типов волн и азимутов линий «источник-приемник». Последние рассчитываются в рамках созданной системы обработки, встроенной в среду Mathlab. Отображение обеспечивается на русско- и англоязычных цифровых картах.

Созданные программы обработки представляют собой отдельные звенья технологии локации сейсмических источников.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 03-05-65292-а

**СЕЙСМИКАЛЫҚ КӨЗЕРІН КӨРСЕТУ ЖӘНЕ ЛОКАЦИЯЛАУЫНЫҢ
АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ПРОГРАММАЛЫҚ ЖҮЙЕСІ**

¹⁾Хайретдинов М.С., ²⁾Клименко С.М.

¹⁾*РФА СБ Есептеуіш математика және математикалық геофизика институты, Новосибирск, Ресей*

²⁾*Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті, Новосибирск, Ресей*

Шулар аясында толқындық параметрлерін шығару және өлшеуінде, географиялық орналасу және цифрлы картада көздерін бейнелуінде негізделген сейсмикалық көздерін автоматтандырылған локациялау технологиясының негізгі кезеңдері әзірленген. Ұсынылған технологияның жоғары дәлдігі көп санды оқиғаларын талдау процессінде расталған

PROGRAM SYSTEM OF SEISMIC SOURCE AUTOMATED LOCATION AND VISUALIZATION

¹⁾M.S. Khairtdinov, ²⁾S.M. Klimenko

¹⁾*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB RAS, Novosibirsk, Russia*

²⁾*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

It was developed the basic stages of seismic sources automated location technology, which was based upon picking and measuring of wave parameters against the background of noises, calculation of geographic location and source visualization on a digital map. The multiple event analyses that had been conducted using the proposed technology provided high-accuracy results.

УДК 528.8(15):621.039.9(574.41)

**ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЛОГО–СТРУКТУРНОЙ ОБСТАНОВКИ ВОКРУГ
ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА МЕТОДОМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ****Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н.***Институт динамики геосфер Российской академии наук, Москва, Россия*

Проведение подземных ядерных взрывов (ПЯВ) приводит к необратимым нарушениям геологической среды вокруг скважин. В реальных условиях прослежена неоднородность изменений состояния массива горных пород, зависящая от параметров подземного ядерного взрыва (ПЯВ), анизотропии среды и наличия разрывных нарушений. Привлечение автоматизированного выделения и статистического анализа непротяженных линеаментов на космоснимках высокого разрешения посредством специализированного программного пакета LESSA позволяет уточнять особенности геолого-структурного строения Семипалатинского испытательного полигона (СИП), проводить ранжирование выделенных зон трещиноватости, оконтуривать и анализировать зоны поствзрывных деформаций поверхности.

Наряду с прослеживанием разрывных нарушений, традиционно картируемых при инженерно-геологической съёмке территории, важно установить распределение и ориентировку естественных и техногенных разрывов и трещин различных масштабов, выделенных как в пределах отдельных объектов, так и на уровне исследуемого массива. Эти многочисленные зоны слишком велики для наблюдений в образцах пород, но малы для представительного фиксирования при площадной съёмке. Именно для изучения распределения таких объектов (зон повышенной трещиноватости, микроформ рельефа различного генезиса) предлагается автоматизированное выделение и статистический анализ линейных элементов на космоснимках высокого разрешения по технологии LESSA.

Программный пакет LESSA предназначен для поиска и определения на полутоновом изображении непротяженных линеаментов и протяжённых линейных зон, анализа их пространственного распределения и концентраций, угловой и плотностной статистики. Технология LESSA позволяет получать плотности линеаментов по восьми секторам направлений, строить розы-диаграммы распределения линеаментов и различные коэффициенты угловой статистики в скользящем окне различного размера, выделять векторные поля удлинённости роз-диаграмм, количественно оценивать выраженность протяжённых линеаментов в изображении по степени группировки сопряженных линеаментов близких направлений.

Программный пакет LESSA обладает большой вариативностью параметров анализа линейных элементов изображения и ориентирован на интерактивный анализ изображений, что позволяет подбирать параметры выделения объектов в соответствии с поставленными геологическими задачами и строго контролировать масштабность линейных объектов, рассматриваемых при анализе космоснимка [1, 5]. Минимальный размер автоматически выделяемых линейных объектов в 5–7 раз превышает разрешающую способность используемого снимка. В нашем случае это объекты протяжённостью в первые десятки метров. Методической сложностью использо-

вания данной программы является высокая зашумлённость космических изображений СИП линейными объектами антропогенного характера (дороги, границы полей, траншеи и др.). Но при содержании указанных объектов менее 30 % от общей массы автоматически определяемых линеаментов статистические закономерности геолого-структурной обстановки и последствия проведения ПЯВ выделяются достаточно уверенно.

Для апробования методики автоматизированного дешифрирования и статистического анализа непротяженных линеаментов был подобран космоснимок высокого разрешения (6 метров) периода существования тонкого снежного покрова. Такая ситуация благоприятна для дешифрирования зон трещиноватости и анализа изменений поствзрывных деформаций поверхности, так как элементы изображения, связанные с состоянием растительности, затуснёваны, а микроформы рельефа, покрытые снегом, подчеркнуты оттенками фототона. В данном случае снежный покров выступает в качестве индикатора при выделении линеаментов, выраженных в рельефе участка. Немногие дороги легко исключаются из рассмотрения в интерактивном режиме.

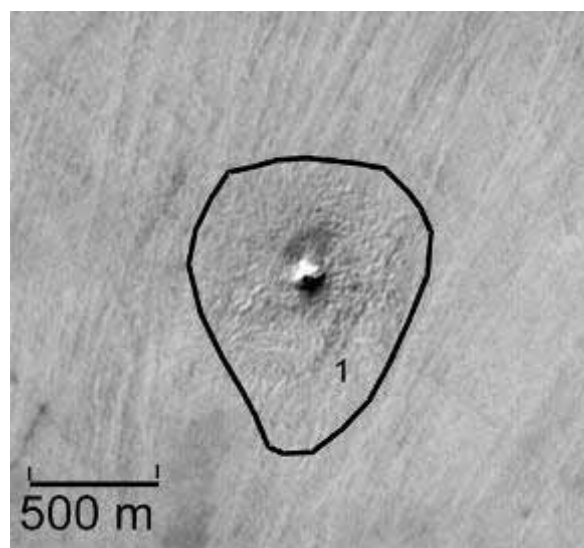
Для анализа последствий воздействия ПЯВ на геологическую среду были выбраны участки расположения испытательных скважин 1050 и 1388 с радиусом два километра от эпицентра взрыва. Обе скважины расположены в пределах Иртыш-Зайсанской складчатой системы. Скважиной 1050 вскрыты породы терригенно-угленосного комплекса нерасчленённой толщи среднего-верхнего карбона (майтубинская свита), пронизанные малыми интрузиями габбро-диоритов верхнего палеозоя. Экспериментальная скважина 1388 пройдена в вулканогенно-осадочных отложениях нижнего карбона (кояндинская свита). В целях совершенствования ядерного оружия (СЯО) в скважине 1050 в июле 1974 г. было проведено испытание ядерного заряда мощностью в диапазоне 0,001 – 20 кт, в скважине 1388 - в декабре 1987 г. зарядов мощностью в диапазонах 0,001 – 20 кт и 20 – 150 кт [3].

Скважина 1050 расположена в юго-восточной части участка Балапан СИП в пределах аллювиально-пролювиальной равнины. На участке распространены преимущественно глинистые грунты, степная растительность. В подошве рыхлых образований кайнозоя мощностью до 40 м ограниченно развит водоносный горизонт миоценовых отложений, приуроченный к опесчаненным прослоям.

Применение автоматического дешифрирования космоснимка для района скважины 1050 позволило выявить аномалию в поле плотностей непротяженных линеаментов концентрического строения, совпадающую с полем развития поствзрывных деформаций поверхности, установленных путем визуального анализа текстурных признаков (рисунки 1, 2а).

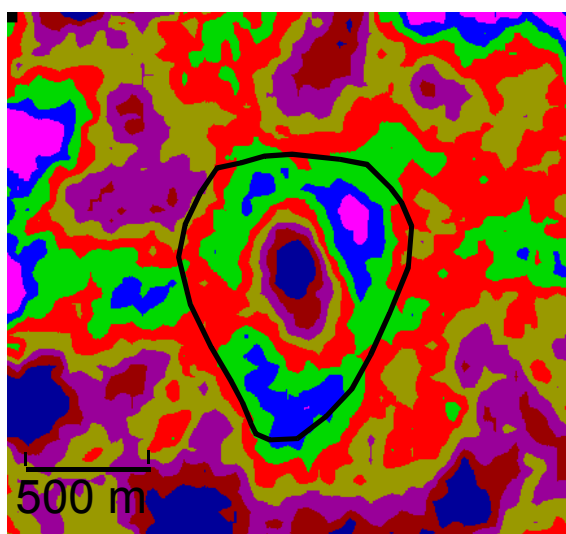
Последовательное рассмотрение плотности трещиноватости различного направления позволило выявить трещинные системы, активизированные при взрыве и предопределившие анизотропию зоны поствзрывных деформаций поверхности. Установлено, что мегатрещиноватость субширотного и восток–северо–восточного простирания внесла наи-

большой вклад в формирование аномальной зоны (рисунки 2б).

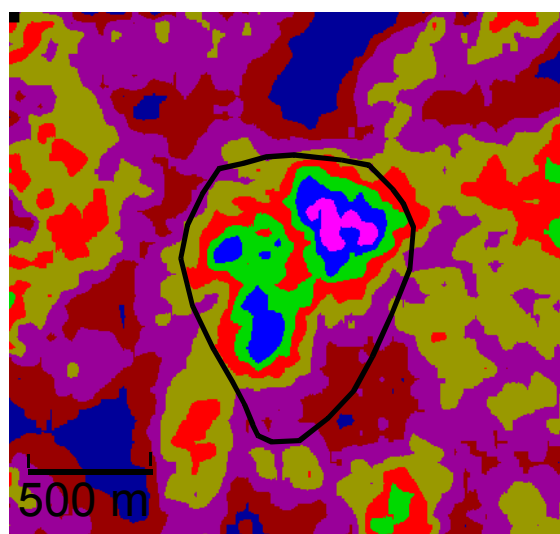


1 – зона поствзрывных деформаций поверхности, выделенная по текстурным признакам

Рисунок 1. Схема визуального дешифрирования космоснимка участка расположения скважины 1050



а



б

Рисунок 2. Выраженность зоны поствзрывных деформаций поверхности в поле плотности непротяженных линеаментов, выделенных программой LESSA: а– всех направлений, б– восток-северо-восточного направления

Установленная концентрическая аномалия имеет минимальные значения плотности линеаментов в эпицентре взрыва, где поствзрывная трещиноватость пород наиболее высока. При автоматическом дешифрировании эти изменения в виде отдельных линеаментов не выделяются не только из-за их малых размеров по сравнению с разрешающей способностью снимка, но и, вероятно, в связи с наличием обводненных песчаных отложений миоцена, плащеобразно покрывающих породы палеозоя и затухивающих индикацию взрывного воздействия в эпицентре взрыва.

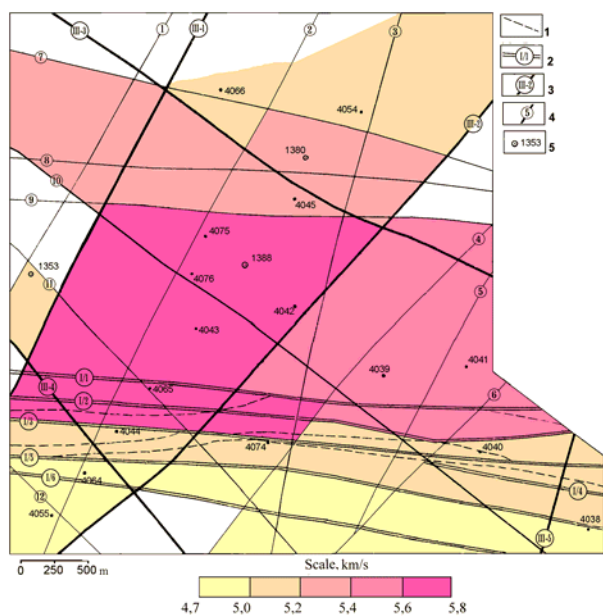
Напротив, кольцевая зона высоких значений плотностей непротяженных линеаментов на пери-

ферии аномалии, соответствующая более редким и крупным линейным элементам, хорошо регистрируется при автоматическом дешифрировании и косвенно подтверждает формирование воронки проседания над гипоцентром взрыва в скважине 1050. Размеры аномальной зоны вокруг скважины, выделяемой программой LESSA, составляют около 1 км в диаметре, что сопоставимо с данными по скважинам полигона США в Неваде, где зона поствзрывных деформаций определялась методом спутниковой радарной интерферометрии по вертикальным смещениям поверхности [4].

В качестве другого примера изучения воздействия ПЯВ на геологическую среду рассмотрен участок

расположения скважины 1388, характеризующийся высокой степенью изученности массива. На указанном объекте выполнен комплекс геолого-геофизических и гидрогеологических исследований в два этапа, до и после проведения ПЯВ, что позволило оценить поствзрывные изменения в массиве и на поверхности. С 2002г. в районе скважины 1388 в рамках проекта МНТЦ К-810 выполняются экспериментальные работы, связанные с оценкой миграции радионуклидов с подземными водами. Соответственно, особый интерес представляет трассирование зон трещиноватости, ответственных за возможное распространение ореола радиоактивного загрязнения.

Скважина 1388 расположена на крайнем юго-западе участка Балапан СИП в пределах долины реки Чаган. Центральная часть изученного участка приурочена к надпойменной террасе. Поверхность террасы ровная, местами слабоволнистая с уклоном 1-3° на северо-восток, частично задернована, почва супесчаная. На юге участка распространена пойма, поверхность которой слабо наклонена к реке. Поверхность поймы кочковатая, слабо бугристая, суглинистая. Степная растительность (ковыль, типчак и др.) произрастает на кочках. Незадернованная поверхность имеет белесый налет, засолена, покрыта сеткой извилистых трещин усыхания с включением дресвы, щебня кварца и кремнистых пород. Левый склон поймы при переходе к руслу реки выражен крутым, правый – пологим уступами. Глубина русла реки Чаган составляет 0,2 – 0,5 м. Вдоль русла развит гравийно-песчаный пляж.



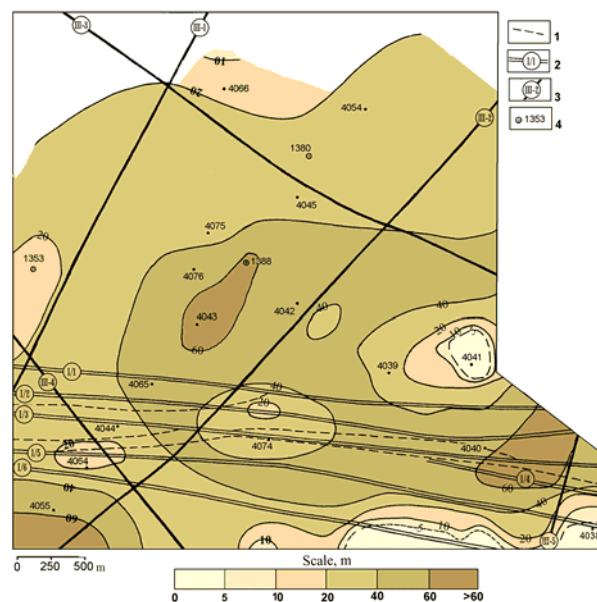
1 – геологическая граница; 2-4 – разломы, их ранги и номера: 2 – I порядка, 3 – III порядка; 4 – более высокого порядка; 5 – скважина и ее номер

Рисунок 3. Схема структурно-тектонического строения участка расположения скважины 1388

С поверхности распространены четвертичные аллювиально-пролювиальные отложения, представленные песком, супесью с включением дресвы и щебня мощностью до 10-12 м. Верховодка и грунтовые воды в пределах участка исследований отсутст-

вуют. Четвертичные отложения подстилаются толщей глин миоцена мощностью до 40-60 м, которые служат водопором и выступают в качестве пластичного слоя, экранирующего воздействие ПЯВ на дневную поверхность.

В соответствии с представленной схемой структурно-тектонического строения участка (рисунок 3), высокие значения граничных скоростей зафиксированы в центральном структурно-тектоническом блоке.



1 – геологическая граница; 2,3 – разломы, их ранги и номера: 2 – I порядка, 3 – III порядка; 4 – скважина и ее номер

Рисунок 4. Схема палеорельефа участка

Исключение составляет северная часть, находящаяся в зоне влияния сети разломов субширотного простирания. Поверхность кровли пород палеозоя в пределах центрального структурно-тектонического блока осложнена погребенным эрозионным врезом, возможно, сопряженным с палеодолиной реки Чаган (рисунок 4).

Перепад высот между северной и южной границами блока достигает 40 м.

При выполнении инженерно-геологического обследования дневной поверхности на I этапе (до ПЯВ в скважине 1388) на западе участка выделена зона поствзрывных деформаций, связанная с проведением в скважине 1353 в декабре 1984 г. ПЯВ мощностью в диапазонах 0,001 – 20 кт и 20 – 150 кт с целью отработки промышленных зарядов и СЯО [3]. Техногенные формы рельефа представлены рядом протяженных валов и бугров пучения, сопровождаемых воронками проседания и протяженными трещинами с извилистыми очертаниями. По визуальным наблюдениям радиус зоны деформаций дневной поверхности достигает 600 м.

По данным съемки, выполненной на II этапе работ, техногенно-измененная поверхность, сформированная проведением ПЯВ в скважинах 1353 и 1388, наложена на изначально ровную надпойменную террасу. Среди техногенных форм рельефа преимущественное развитие получили валы пучения, провальные понижения и извилистые трещины. Пучения имеют вид бугров и вытянутых валов про-

тяженностью от первых метров до 10 - 15 м, шириной 1 – 2 м, высотой от 0,5 до 1,5 м (рисунок 5). Выделяются формы пучения с различными типами локализации разрывов сплошности грунта – со стенкой срыва вдоль оси свода. Зафиксированы провальные понижения овальной, реже округлой формы радиусом до 1-3 м с разрывом и без разрыва сплошности грунта (рисунок 6).

В окрестности скважины 1388 условно могут быть околонтурены участки, различающиеся по степени выраженности поствзрывных деформаций. В эпицентральной части развита интенсивно деформированная, перепланированная поверхность с превышением до 2 м первоначального положения и системой радиально расходящихся трещин. В следующей зоне дневная поверхность деформирована локально и представлена непротяженными формами техногенного рельефа, расположенными преимущественно концентрически относительно эпицентра взрыва. На остальной территории исследований дневная поверхность осложнена развитием извилистых единичных трещин.



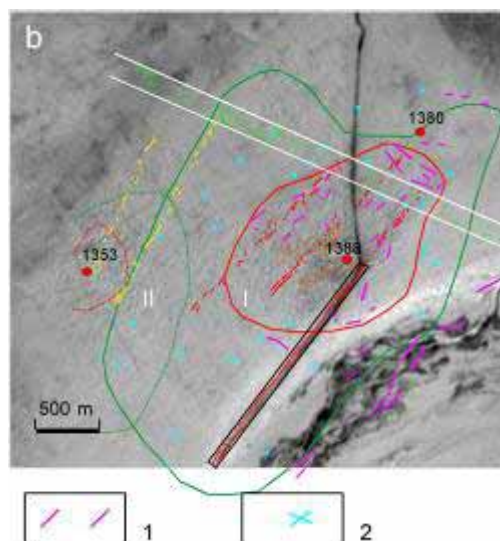
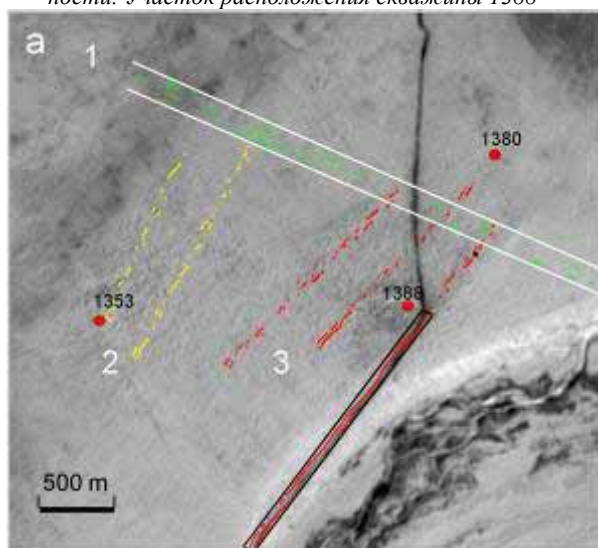
Рисунок 5. Общий вид поствзрывных деформаций поверхности. Участок расположения скважины 1388



Рисунок 6. Провальные понижения поверхности. Участок расположения скважины 1388

Поверхностная зональность является косвенным отражением техногенного изменения состояния массива, зафиксированного в виде зон наведенной трещиноватости на уровне проведения ПЯВ. Палеорельеф участка, вероятно, контролирует асимметричность (вытянутость) контуров зон поствзрывных деформаций дневной поверхности в северо-восточном направлении. Основные формы техногенного микрорельефа приурочены к погребенному склону палеодолины и представлены валами пучения и провальными понижениями.

Данные автоматизированной обработки космоснимка позволяют провести зонирование территории объекта с выделением и прослеживанием линеаментов естественного и техногенного происхождения. Протяженные линеаменты, выделяемые по технологии LESSA, обладают различной внутренней структурой, анализ которой даёт дополнительную информацию о генезисе разрывных нарушений и их влиянии на изменение состояния массива и поверхности (рисунок 7).



а – по технологии LESSA, б – сопоставление данных дешифрирования с результатами визуальной съемки. Зоны поствзрывных изменений: I – эпицентральной, II – периферической. Деформации поверхности: 1 – различного морфологического типа техногенного и естественного генезиса, 2 – извилистые трещины

Рисунок 7. Схема дешифрирования космоснимка участка расположения скважины 1388 с ранжированием зон группирования непротяженных фотолинеаментов по степени выраженности: 1 – низкая, 2 – средняя, 3 – высокая

В частности, в районе скважины 1388 автоматическим дешифрированием установлена зона запад-северо-западного простирания, ограничивающая распространение активизированных зон трещиноватости северо-восточного направления (рисунок 7а) и являющаяся разделом областей с различной ориентировкой поствзрывных линейных микро- и мезоформ рельефа (валов и бугров пучения, трещин) - рисунок 7б. Указанный линейament заметно отличается от выделенных зон северо-восточных направлений, установленных непосредственно около скважин 1388 и 1353 по внутренней структуре и степени выраженности, представленной меньшим средним размером составляющих его линейных элементов.

Технологией LESSA выявлены протяжённые (около 1,2 – 1,5 км) зоны группирования линейных элементов вблизи эпицентров взрывов в скважинах

1353 и 1388, сопоставимые с данными наземных наблюдений (рисунки 7,8). Отмечается совпадение общей вытянутости областей развития поствзрывных деформаций с направлением линейных зон группирования непротяженных линейных объектов, выделенных при дистанционном зондировании.

Предположительно, на конфигурацию техногенных форм рельефа на участке расположения скважины 1388 оказало влияние наличие зоны поствзрывных деформаций, сопряженных с проведением ПЯВ в скважине 1353. Так, одна из активизированных систем трещиноватости, выявленная автоматизированным дешифрированием восточнее скважины 1353 на расстоянии порядка 300 м, является западной границей для распространения поствзрывных деформаций от экспериментальной скважины 1388 (рисунок 8).

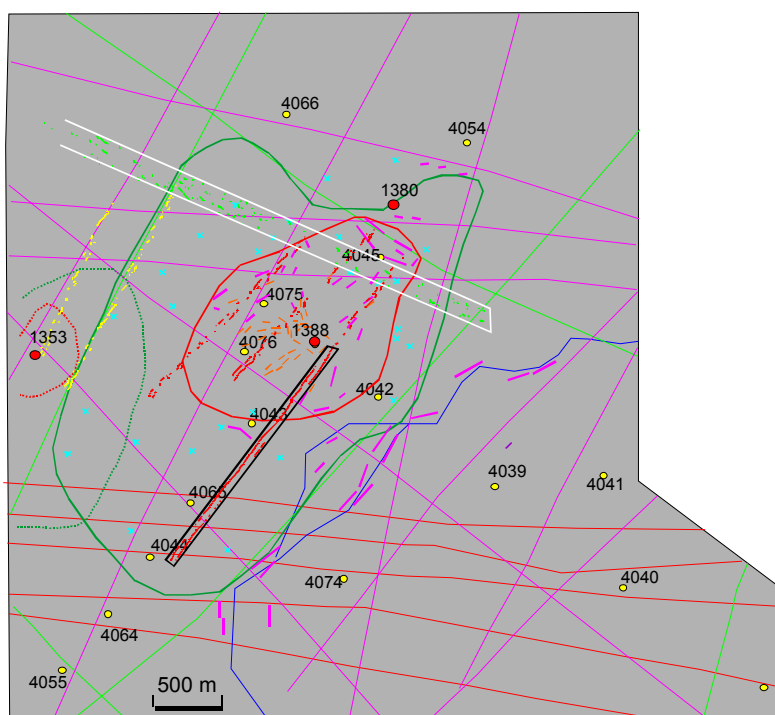


Рисунок 8. Результаты сопоставления структурно-тектонического строения участка расположения скважины 1388 с данными дешифрирования и визуальной съемки

Четко выраженная зональность новообразованных форм рельефа зависит от расстояния по отношению к эпицентру взрыва. Геометрические размеры зоны распространения поствзрывных деформаций поверхности обусловлены техногенным изменением состояния массива, параметрами взрыва (назначение, глубина, мощность), геолого-структурным строением участка (наличием разрывных нарушений, состава, мощности, физико-механических характеристик перекрывающих рыхлых отложений и вмещающих пород палеозойского фундамента) и палеорельефом [2].

Применение программы LESSA позволяет подтвердить наличие систем трещиноватости, установленных при интерпретации геолого-геофизических материалов, и выделить участки (зоны) активизации,

вызванные проведением ПЯВ. Полученные результаты демонстрируют возможность привлечения данных автоматизированной обработки космических снимков для анализа изменений параметров геологической среды и регистрации зон поствзрывных деформаций на поверхности.

Дистанционными методами достаточно надёжно определяются размеры, зональность и анизотропия техногенно-нарушенных областей, сформированных при проведении ПЯВ. Сопоставление данных дешифрирования с результатами полевых исследований свидетельствует о хорошей сходимости результатов и указывает на возможность привлечения дистанционного метода зондирования территории СИП для выделения, прослеживания и уточнения поствзрывных изменений геологической среды после ПЯВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированный анализ природных линейamentных систем. - Л.:ВСГЕИ (Всесоюзный геологический институт), 1988. - 131 с.
2. Горбунова Э. М. Особенности деформирования массива горных пород при воздействии взрывом (на примере участка Заречье Семипалатинского испытательного полигона)//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК - Курчатов: НЯЦ РК, 2003. - Вып.2. - С.113-122.
3. Ядерные испытания СССР. М.: ИздАТ. - 1997. - 304 с.
4. Vincent P., Larsen S., Galloway D., Lacznia R.J., Walter W.R., Foxall W. And Zucca J.J. New signatures of underground nuclear tests revealed by satellite radar interferometry//Geophysical research letters – 2003. - vol.30, no.22. – P. 2141.
5. Zlatopolsky A. Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA// Computers & Geosciences, 1977. - v.23, no.1. - P.45-62.

**ҒАРЫШТЫҚ ТҮСІРІМДЕРІН АВТОМАТИКАЛЫҚ БАЖАЙЛАУ
ӘДІСІМЕН СЕМЕЙ ПОЛИГОНЫНЫҢ СЫНАУ ҰҢҒЫМАЛАРЫНЫҢ
АЙНАЛАСЫНДАҒЫ ГЕОЛОГИЯ-ҚҰРЫЛЫМДЫ ЖАҒДАЙЫН ЗЕРДЕЛЕУ**

Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н.

Ресей ғылыми академиясының геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей

Жер астындағы ядролық жарылыстар (ЖЯЖ) ұңғымалар айналасындағы геологиялық ортасын қайтарымсыз бұзылуына келтіреді. Нақты жағдайларда, жер астындағы ядролық жарылыстар (ЖЯЖ) параметрлеріне, ортаның анизотропиясына және айырылымды бұзылыстар болуына байланысты тау жыныстар массивтері күйінің өзгеруі бір тетікті емес болуы анықталған. Арнайы программалық LESSA пакеті арқылы жоғары ажыратуындағы ғарыштықты түсірімдеріндегі созылмаған линейamentттердің автоматикалық бөлуі мен статистикалық талдауын қолдануы Семей сынау полигонының (СП) геология-құрылымды құрылысының ерекшеліктерін дәлелдеуге, анықталған жарықшақты белдемдерін дәрежесі бойынша тәртіпке келтіруге, жер бетіндегі жарылыстардан кейінгі деформациялану белдемдерін контурлауына және талдауына мүмкіндік береді.

**STUDY OF GEOLOGIC-STRUCTURAL SITUATION AROUND SEMIPALATINSK
TEST SITE TEST - HOLES USING SPACE IMAGES AUTOMATED DECODING METHOD**

E.M. Gorbunova, G.N. Ivanchenko

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

Performance of underground nuclear explosions (UNE) leads to irreversible changes in geological environment around the bore-holes. In natural environment it was detected inhomogeneity of rock massif condition changes, which depended on characteristics of the underground nuclear explosion, anisotropy of medium and presence of faultings. Application of automated selection and statistic analysis of unstretched lineaments in high resolution space images using special software pack LESSA allows specifying the geologic-structural features of Semipalatinsk Test-Site (STS), ranging selected fracture zones, outlining and analyzing post-explosion zone surface deformations.

УДК 539.5:621.039.9(574.41)

ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННОЙ ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ НЕДР СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Горбунова Э.М.

Институт динамики геосфер Российской академии наук, Москва, Россия

Проведение подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) привело к необратимому деформированию геологической среды [5]. Выполненный объем экспериментальных исследований по изучению воздействия ПЯВ на массив горных пород позволил установить основные закономерности техногенной дестабилизации недр, выраженной в изменении физико-механических параметров и фильтрационной структуры вмещающей среды, гидрогеодинамической и радиационной ситуации. Последствия поствзрывных деформаций, зафиксированные в массиве, сопряжены не только с эпицентральной зоной ПЯВ, но и приурочены к структурным границам разного ранга (разрывным нарушениям, литологическим контактам, границам неоднородных сред), частично прослежены и на дневной поверхности.

На территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) в период 1970-1980-х гг. проводились работы, связанные с изучением строения фильтрационной структуры центральной зоны ПЯВ [9], включающие:

- бурение вертикальных и горизонтальных скважин;
- вскрытие и проходку горных выработок;
- гамма-каротаж;
- поинтервальное гидрогеологическое опробование;
- отбор проб керна и воды для определения содержания радионуклидов.

Так, на площадке Сары-Узень было изучено строение центральной зоны подземного ядерного взрыва (ЦЗ ПЯВ) на 6 объектах, в которых проводились испытания в интересах совершенствования ядерного оружия (таблица 1). При обследовании объекта 102 установлено смещение сформированных зон необратимого деформирования массива горных пород относительно вертикальной оси взрыва. Максимальная высота столба обрушения достигла 138 м, но над центром взрыва составила 90 м [9,10] (рисунок 1).

Таблица 1. Данные об изученных объектах на площадке Сары-Узень

Номер скважины	Сведения о ПЯВ		Год бурения прободоотборной скважины
	Дата проведения	Диапазон мощностей, кт	
102	16.09.67	0,001-20	нет сведений
105	22.09.67	0,001-20	нет сведений
106	22.11.67	0,001-20	1968
107	28.12.69	20-150	1971
108	31.05.69	0,001-20	нет сведений
110	06.06.71	0,001-20	1972

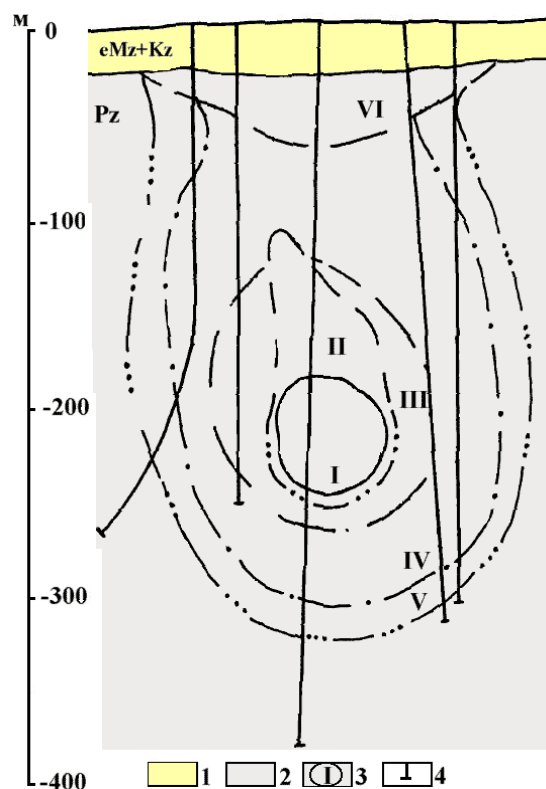
В пределах горного массива Дегелен исследование ЦЗ ПЯВ проводилось путем проходки горных выработок (скважин и обходных штолен). В качестве примера на рисунке 2 представлена схема деформирования массива по данным повторного обследования штольни 504П [9,10]. По результатам выполненных геолого-геофизических работ в штольне 507 определены геометрические размеры, физико-механические и скоростные характеристики зон деформирования (значения трещинной пустотности, средних скоростей продольных волн). В целом, зависимость изменения параметров горных пород от эпицентрального расстояния соответствует логнормальному распределению (рисунки 3,4). На уровне горной выработки в зоне интенсивной трещиноватости зафиксировано раскрытие техногенных трещин до 15 см, на дневной поверхности – до 30 см [9].

Аналогичные работы, связанные с изучением проницаемости и загрязненности сформированных зон, выполнялись на полигоне Невада в США. По результатам проходки горных выработок – скважин и штолен в центральной зоне ПЯВ «Рейниер», произведенного в штольне на приведенной глубине 204

м/кт^{1/3}, определено распределение радиоактивности и температуры. При реализации программы «Плаушер» изучались негативные последствия ПЯВ [6]. Повторные гидродинамические работы, выполненные через год после взрыва на объекте «Хардхэт» в гранитах на глубине 280-300 м, подтвердили стабильность фильтрационных параметров в пределах установленных зон необратимого деформирования массива.

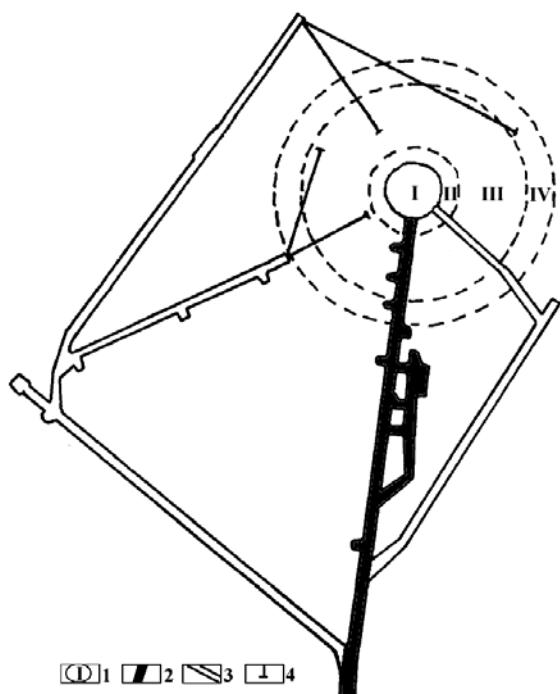
На территории СИП после проведения ПЯВ по результатам повторных исследований в скважинах и штольнях были определены:

- параметры механического действия взрыва;
- проницаемость выделенных зон необратимого деформирования массива;
- распределение радиоактивных продуктов в породе и воде в зависимости от эпицентрального расстояния.



1 – отложения мезо-кайнозоя; 2 – породы палеозоя; 3 – зоны необратимого деформирования массива: I – полость, II – столб обрушения, III – зона дробления, IV – зона интенсивной трещиноватости, V – зона блоковой трещиноватости, VI – зона откола; 4 – пробортборные скважины

Рисунок 1. Схема строения центральной зоны ПЯВ на объекте 102 [по 10]



1 – зоны необратимого деформирования массива: I – полость, II – зона дробления, III – зона интенсивной трещиноватости, IV – зона блоковой трещиноватости; 2 – основной ствол; 3 – обходные выработки; 4 – пробортборные скважины

Рисунок 2. Схема строения центральной зоны ПЯВ на объекте 504П [по 9, 10]

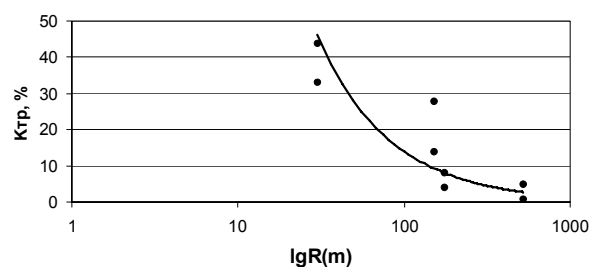


Рисунок 3. Изменение коэффициента трещинной пустотности в зависимости от эпицентрального расстояния

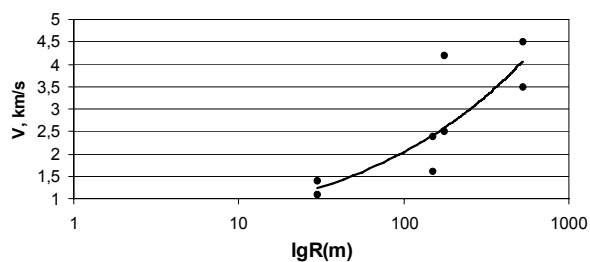


Рисунок 4. Изменение значений средней скорости продольных волн в зависимости от эпицентрального расстояния

Установлено, что размеры зон техногенной трещиноватости зависят не только от характеристики и глубины заложения заряда, но и от физико-механических свойств горных пород и структурно-тектонического строения массива [1]. Каждая из зон наведенной трещиноватости (блоковой, интенсивной и зон развития отдельных трещин, откола и откольных явлений) характеризуется определенным диапазоном фильтрационных характеристик. Наиболее высокие значения проницаемости, достигающие десятки-сотни квадратных микрометров, зафиксированы в пределах столба обрушения. Проницаемость пород на границе столба обрушения превышает естественную примерно на 2-3 порядка, уменьшаясь за его пределами по экспоненциальному закону.

Выделенные зоны необратимого деформирования массива асимметричны. Профиль проницаемости центральной зоны ПЯВ характеризуется фильтрационной неоднородностью. Экспериментальные данные по содержанию радионуклидов свидетельствуют о загрязненности геологической среды в пределах сформированных техногенных зон и, в отдельных случаях, по зонам подновленной тектонической трещиноватости. При камуфлетном взрыве продолжительность существования свода полости определяет степень конденсации летучих радионуклидов и, соответственно, специфику радиоактивного загрязнения вмещающей среды [4].

На основании анализа экспериментальных данных радиационных исследований проб, отобранных из различных зон необратимого деформирования массива, установлена фиксация тугоплавких радионуклидов при ПЯВ, в основном, расплавом горных пород, содержащим до 95-98 % от общего количества радионуклидов [6]. Линза расплава составляет менее 5 % объема полости и формируется в нижней части полости, частично проникая по трещинам массива [4]. Радиоактивность продуктов деления взрыва мощностью 1 кт за год уменьшается на 3 порядка. Удельная концентрация тугоплавких ра-

дионуклидов в неизменной породе в приконтактной зоне с полостью на 6 порядков ниже [6].

В ближней к эпицентру взрыва зоне расположены радионуклиды, соединения которых обладают собственной летучестью (^{125}Sb , ^{103}Ru , ^{106}Ru). В дальней – тритий, радиоактивные изотопы йода, радиоактивные инертные газы и продукты радиоактивного распада (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{140}Ba). Радионуклиды прослежены практически во всем объеме выделенных зон деструкции массива [4].

Выявлено обогащение радиоактивными инертными газами не только зон наведенной и естественной трещиноватости пород, но и микротрещин отдельных минералов, характеризующихся хорошей спайностью [2]. Причем, газообразные предшественники радионуклидов с большим периодом полураспада характеризуются более глубоким проникновением в кристаллическую структуру минералов. Для породообразующих минералов прослежен следующий ряд уменьшения содержания ^{137}Cs : биотит > магнетит > полевой шпат > кварц.

Свойства радионуклидов, образующихся при ПЯВ, зависят в определенной степени от фазового

состояния (твердые, жидкие и газообразные) и периода полураспада (долго- и короткоживущие) [4]. В процессе постепенного обводнения центральной зоны ПЯВ происходит десорбция радионуклидов с поверхности трещин и возможна миграция с подземными водами не только трития и радионуклидов, имеющих летучих (газообразных) предшественников по цепочкам радиоактивных превращений, но и радионуклидов, обладающих собственной летучестью.

Миграция радионуклидов на протяжении десятилетий происходит в техногенно-нарушенной среде. С 2002 г. на выбранных объектах СИП проводится изучение миграции радионуклидов с подземными водами в рамках Проекта К-810 МНТЦ. По полученным данным на протяжении стационарного цикла наблюдений за уровнем поверхности, химическим составом и загрязненностью подземных вод на одном из объектов установлена локализация радионуклидов в пределах сформированной воронки депрессии, приуроченной к эпицентральной зоне ПЯВ, проведенного в декабре 1987 г. (рисунок 5).

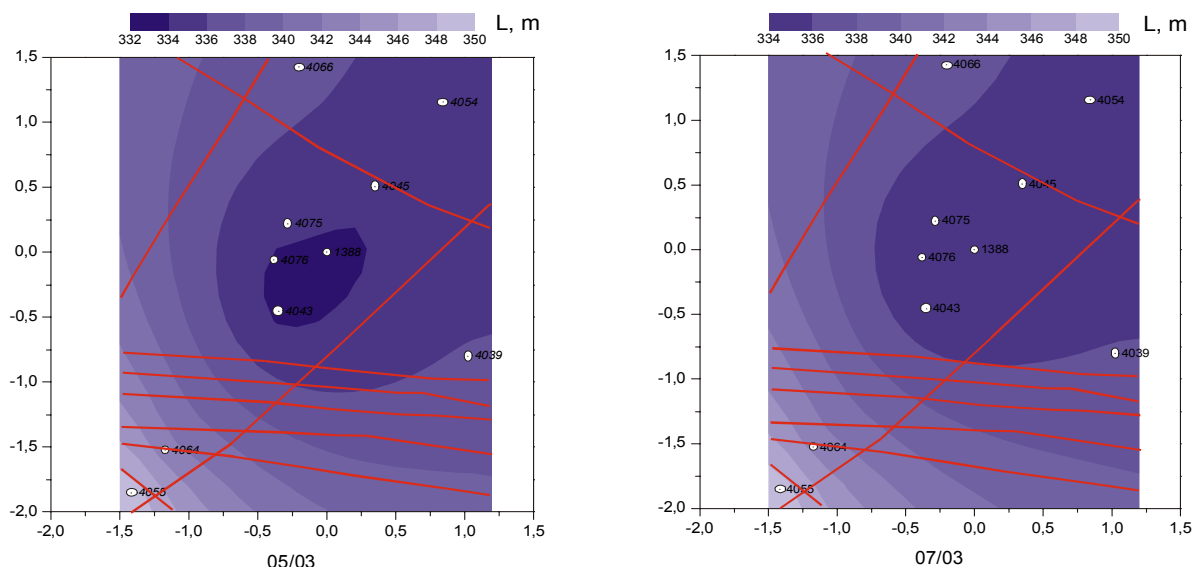


Рисунок 5. Схема пьезометрической поверхности на объекте 1388 (по состоянию на 05/03 и 07/03)

Выявленный ореол радиоактивного загрязнения подземных вод имеет ограниченное распространение в центральном структурно-тектоническом блоке (СТБ), характеризующемся наиболее высокими значениями напоров (рисунок 6).

Повышенные концентрации ^3H , ^{90}Sr и ^{137}Cs зафиксированы в водоносном горизонте, приуроченном к зоне экзогенного выветривания палеозойских пород на расстоянии до 500 м от эпицентра взрыва. Вариации содержания ^3H коррелируются с изменением положения пьезометрической поверхности (рисунок 7). За пределами центрального СТБ загрязнение подземных вод находится в пределах точности определения радионуклидов.

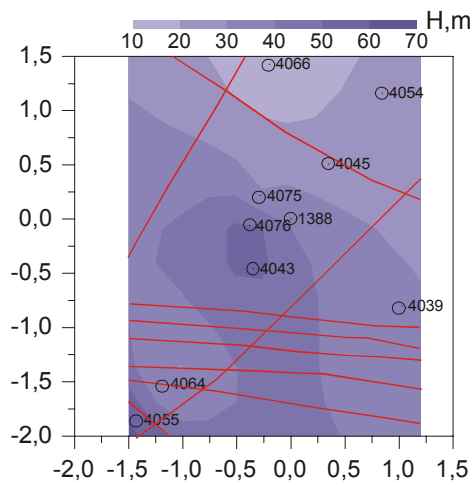


Рисунок 6. Схема распределения напоров на объекте 1388 (по состоянию на 11/03)

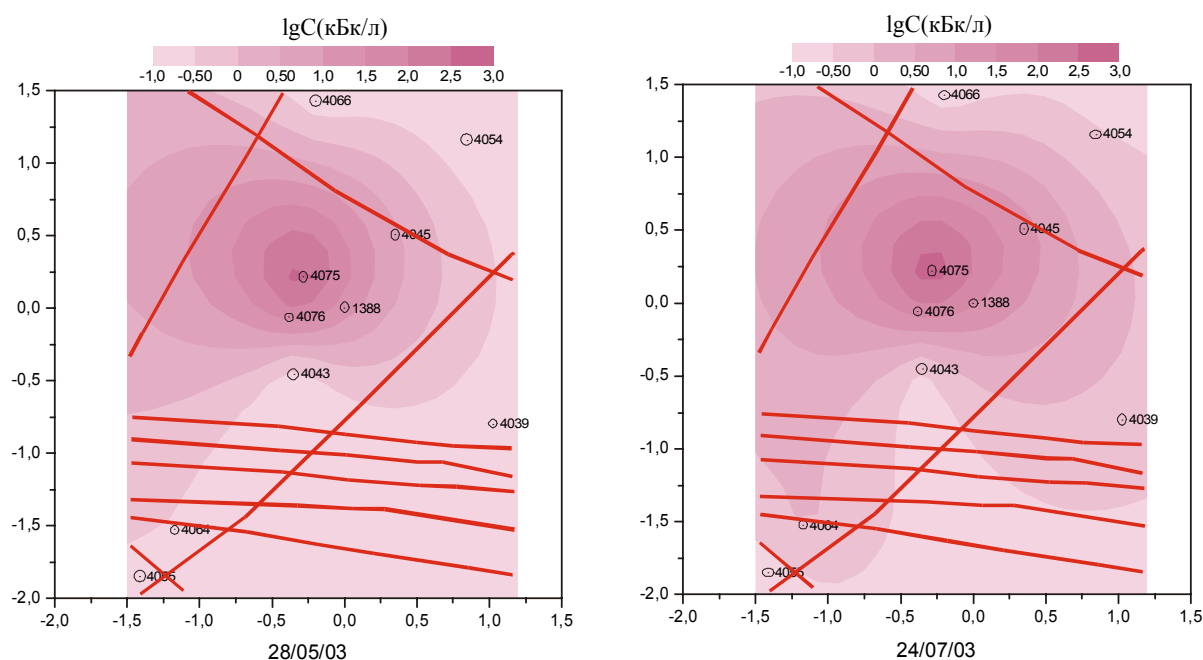


Рисунок 7. Схема распределения трития в подземных водах на объекте 1388 (по состоянию на 05/03 и 07/03)

Для получения объективной и достоверной информации о последствиях техногенной дестабилизации недр СИП целесообразно предусмотреть постановку и проведение комплексных исследований по изучению напряженно-деформированного состояния геологической среды, вмещающей эпицентры ПЯВ, и радиационной ситуации.

Особый интерес вызывают закономерности, связанные с радиоактивным загрязнением различных зон деструкции. В связи с этим в 2004 г. планируется разработка Проекта МНТЦ по теме: “Специфика распределения радионуклидов в зонах деструкции горных пород”. Предполагается поэтапное выполнение работ по изучению центральной зоны ПЯВ (полного камуфлета и с экскавацией грунта) с постановкой следующих задач:

- систематизация и обобщение данных по проницаемости зон деструкции и распространению радионуклидов в пределах центральной зоны ПЯВ;
- разработка методики проведения полевых и лабораторных работ по изучению измененности фильтрационных параметров геологической среды при взрывном воздействии и свойств пеплообразной антропогенной почвы, распределению радионуклидов в зонах необратимого деформирования массива горных пород и почвенном слое;
- проведение экспедиционных работ по оценке проницаемости зон деструкции и радиоактивного загрязнения геологической среды и почвы на выбранных объектах;
- обработка экспериментальных данных с целью определения надежности консервации радионуклидов в подверженной деструкции центральной зоне ПЯВ и в пеплообразной антропогенной почве, распространенной на участках проведения ПЯВ с экскавацией грунта;

- определение основных закономерностей распределения радионуклидов в массиве горных пород и в почвенном слое при взрывном воздействии для оценки возможных последствий радиоактивного загрязнения геологической среды.

В работах по Проекту примут участие сотрудники Института радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ НЯЦ РК), Института геофизических исследований (ИГИ НЯЦ РК), Института глобального климата и экологии (ИГТЭ) и Института динамики геосфер (ИДГ РАН). В 2003 г. было проведено рекогносцировочное обследование участков расположения пробоборных скважин площадок Сары-Узень и Балапан. В целом, плотность загрязнения дневной поверхности техногенными радионуклидами близка к фоновой. Повышенные значения гамма-активности зафиксированы только на двух приустьевых площадках скважин. Сохранившиеся пробоборные скважины доступны для измерений. После восстановления (чистки и прокачки) указанные скважины могут быть использованы для экспериментальных исследований с последующим включением в режимную сеть наблюдений.

Ретроспективный анализ архивной информации по изучению загрязненности геологической среды при проведении ПЯВ будет направлен на выделение ряда объектов СИП, перспективных для изучения распространения радионуклидов в зонах необратимого деформирования массива. По фондовым данным предполагается оценить техногенно-измененную обстановку, включающую характеристику проницаемости сформированных зон деструкции и выделение ореолов радиоактивного загрязнения геологической среды на разных уровнях по глубине, включая и почвенный слой.

Для определения изменчивости радиационной ситуации в пределах центральной зоны ПЯВ планируется разработка методик комплексирования полевых и лабораторных работ по отбору и последую-

щему анализу представительных проб породы, воды и почвы. Наряду со стандартным определением радионуклидов предполагается проводить измерения низких концентраций радионуклидов, близких к порогу чувствительности измерительной аппаратуры. При выборе основных видов геолого-геофизических, гидрогеологических и радиометрических исследований будут учитываться экспериментальные данные по пройденным на СИП прободотборным скважинам и полученные в ходе работ по Проекту К-810 технологии и требования по выполнению норм радиационной безопасности.

Проведение экспедиционных работ на ряде объектов СИП позволит детализировать характеристику условий распространения радионуклидов, обусловленную техногенной нарушенностью геологической среды при взрывном воздействии. Планируется рассмотреть основные пути миграции радионуклидов как в зонах деструкции горных пород, так и в пеплообразной антропогенной почве – новообразованном слое, сформированном при проведении ПЯВ с экскавацией грунта.

Повторный комплекс геолого-геофизических, гидрогеологических и радиометрических работ, расширенный за счет привлечения дополнительных видов исследований, на выбранных объектах будет выполняться с учетом существующих технологий. Полевые изыскания предполагается проводить при постоянном дозиметрическом контроле за радиационной ситуацией на технологических площадках.

По завершению экспериментальных исследований по проекту необходимо предусмотреть выполнение работ по ликвидации прободотборных скважин и рекультивации технологических площадок. Скважины могут быть сохранены в качестве наблюдательных только при обосновании необходимости и целесообразности их последующего использования при организации службы мониторинга полигона.

Обработка экспериментальных данных при сопоставлении с архивными сведениями по радиоактивной загрязненности геологической среды позволит оценить надежность консервации радионуклидов в массиве и прочность их фиксации в пеплообразной почве. Сравнительный анализ содержания и распределения радионуклидов в пробах почв, отобранных на приустьевых площадках, в пробах воды и керна из скважин необходим для определения “чистоты” экспериментальных исследований в пределах центральной зоны ПЯВ.

Установление основных закономерностей распределения радионуклидов в пределах зон деструкции будет использовано для оценки возможных последствий радиоактивного загрязнения геологической среды и почвенного разреза. Особое внимание планируется уделить анализу взаимодействия радионуклидов с породами массива и частицами почвы.

Данные экспериментальных исследований центральной зоны ПЯВ имеют особую научную ценность и достоверность, так как при ПЯВ вся совокупность радионуклидов локализована в ограничен-

ном объеме геологической среды. Уникальность проектируемых работ заключается:

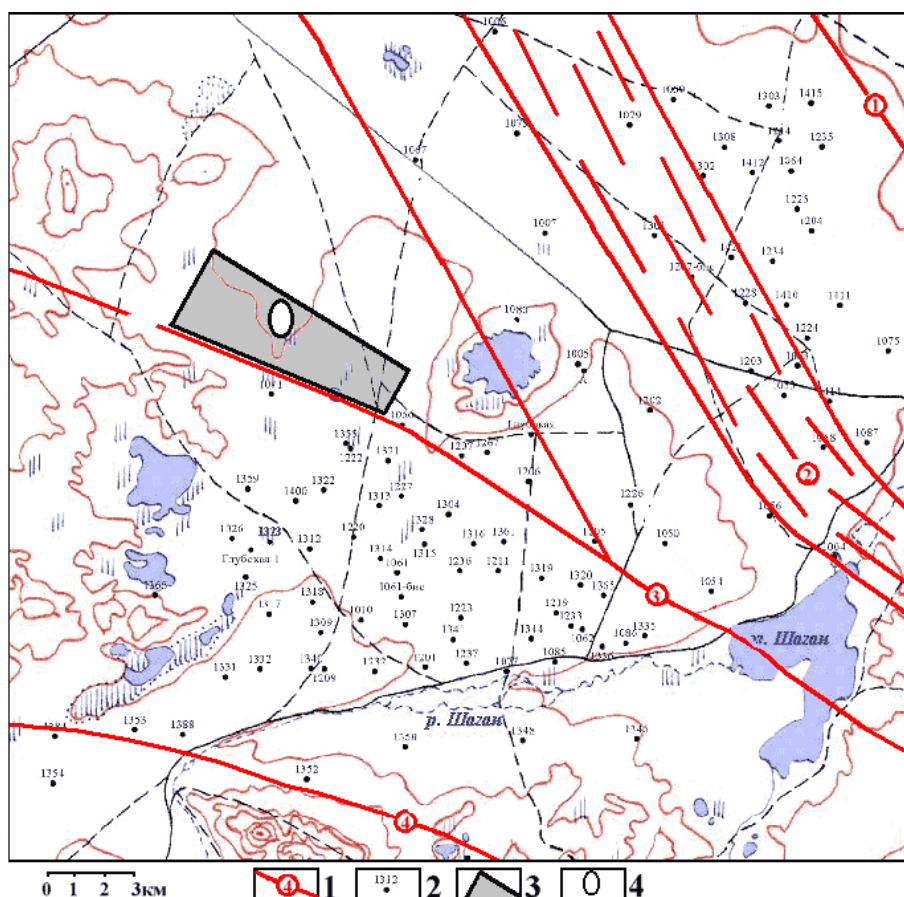
- в получении экспериментальных данных по проницаемости массива и распределению радионуклидов в зонах деструкции через 40 лет после ПЯВ;
 - в проведении сравнительного анализа между современной и ранее существовавшей радиационной ситуацией в пределах центральной зоны ПЯВ;
 - в выделении основных закономерностей измененности фильтрационной структуры массива при взрывном воздействии и пространственно-временной трансформации радионуклидов;
 - в определении характеристик новых антропогенных почв, формирующихся в районе ядерного взрыва с экскавацией грунта;
 - в выявлении закономерностей миграции радионуклидов в зонах деструкции и почвенном слое.
- Предусматривается выполнение экспериментальных исследований, связанных:

- с подготовкой имеющихся и бурением дополнительных прободотборных скважин;
- с проведением скважинных геофизических, гидрогеологических и радиометрических исследований;
- с отбором проб керна и воды с заданных глубин, почвы, грунта и растительности с поверхности в пределах приустьевых площадок;
- с проведением лабораторных анализов отобранных проб керна, грунта, растительности и воды.

Будут уточнены основные параметры сформированных зон деструкции, зависящие от напряженно-деформированного состояния массива, вмещающего центральную зону ПЯВ, определено радиоактивное загрязнение различных зон разрушенной при взрыве породы, подземных вод и почвы, получены новые данные о распределении радионуклидов в выделенных зонах необратимого деформирования массива, подземных водах и в почвенном разрезе, выполнен анализ соотношения радионуклидов, определенных в системе почва – вода – порода.

Практическую значимость приобретет сопоставление полученных экспериментальных данных по радиоактивной загрязненности геологической среды с имеющимися фондовыми материалами. Проведение повторных исследований на выбранных объектах позволит определить устойчивость ранее выделенных интервалов радиоактивного загрязнения геологической среды. На основании сравнительного анализа содержания радионуклидов в образцах керна, отобранных из заданных интервалов, будет прослежена трансформация ранее выделенного ряда радионуклидов в изучаемых зонах деструкции и в почвенном слое.

Полученная информация позволит классифицировать выделенные зоны необратимого деформирования массива по степени проницаемости для различных типов радионуклидов. Результаты исследований дополняют существующие подходы к оценке радиозоологической обстановки в местах проведения ПЯВ, которые могут рассматриваться как полигоны долговременного подземного захоронения особо опасных отходов.



1 – разломы: 1- Байгузин-Булакский, 2- Жананская зона смятия, 3- Чинрауский, 4- Калба-Чингизский;
2 – боевая скважина и ее номер; 3 – угольное месторождение Каражыра; 4 – карьер

Рисунок 8. Схема структурно-тектонического строения площадки Балапан (по [3,7,8])

В связи с отсутствием методик долгосрочного прогноза гидрогеодинамической и радиационной ситуации на СИП участки проведения ПЯВ должны быть отнесены к потенциально неустойчивым объектам и скрытым источникам радионуклидов. Так, проводимая разработка угольного месторождения Каражыра в западной части участка Балапан сопряжена не только с угрозой возможного подтягивания загрязненных подземных вод в пределы формирующейся воронки депрессии за счет проводимых дренажных работ, но и с возможными авариями – обрушениями бортов карьера, выбросами углеводородных газов. Следует подчеркнуть, что ПЯВ были проведены в скважинах, расположенных южнее и юго-восточнее карьера. При этом гипоцентры ПЯВ по абсолютным отметкам сопоставимы с глубиной разработки месторождения. Преобладающая направленность региональных разрывных нарушений северо-западная, совпадающая, в целом, с генераль-

ным простираем пород (рисунок 8). Целесообразна организация и проведение комплексных инженерно-геологических и геофизических работ, направленных на геоэкологическую оценку условий дальнейшей эксплуатации месторождения Каражыра в техногенно-нарушенных условиях.

В целом, для выработки рекомендаций по рациональному природопользованию территорий, прилегающих к СИП, необходимо предусмотреть разработку целевой программы для анализа последствий техногенной дестабилизации недр. В частности, следует продолжить скоординированные научные исследования с учетом существующих технологий по оценке радиационной обстановки и надежности консервации радионуклидов в пределах центральной зоны ПЯВ. Создание базы экспериментальных данных послужит основой для разработки эффективных решений, направленных на реабилитацию геологической среды СИП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В. Влияние геологических факторов на распространение радиоактивных продуктов при подземных ядерных взрывах//Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях/Труды международной конференции. Москва. 24-26 апреля 2000г. - С.-Пб.: Гидрометеиздат, 2000. - т.1. - с.585-593.
2. Ананьева Л.А., Дубасов Ю.В., Савоненков В.Г., Смирнова Е.А. Выщелачивание радионуклидов из продуктов подземных ядерных взрывов в гранитных породах. 1. Эксперименты с образцами породы из околоразрывного пространства //Радиохимия, 2000. - т.42, №5. - с.462-465.
3. Жаутиков Т.М., Фомичев В.И. Металлогения Семипалатинского испытательного полигона//Геофизика и проблемы нераспространения/ Вестник НЯЦ РК – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - вып.2. - с.100-108.

4. Израэль Ю.А., Стукин Е.Д. Феноменология загрязнения подземных вод после подземного ядерного взрыва //Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях/Труды международной конференции. Москва 24-26 апреля 2000г.- С.-Пб.: Гидрометеоздат. – 2000. - т.1. - с.616-623.
5. Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. – М.: ИКЦ Академкнига, 2003. – 423 с.
6. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении. М.: ИздАт, 2001. – 519 с.
7. Семипалатинский испытательный полигон (создание, деятельность, конверсия). Под ред. проф. В.С. Школьника. – Алматы, 2003. – 344 с.
8. Стрильчук Ю.Г., Птицкая Л.Д., Осинцев А.Ю. Оценка радиационной обстановки на испытательной площадке Балапан//Международная научно-практическая конференция Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и проблемы нераспространения. 7-9 октября 2003 г. – Курчатов: ИРБиЭ НЯЦ РК - издан на CD-диске.
9. Ядерные испытания СССР. М.: ИздАт, 1997. - т.1, - 304с. Begell-Atom, LLC-publishing, 1997 - т.2. - 302с.
10. V.V. Adushkin, W. Leith The containment of Soviet Underground Nuclear Exxplosions/ Open file report 01-312 U.S. Reston, Virginia, 2001. – 52 p.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНЫҢ ЖЕР ҚОЙНАУЫНЫҢ ТЕХНОГЕНДІК ТҰРАҚСЫЗДАНУЫНЫҢ ЗАРДАПТАРЫН ЗЕРДЕЛЕУІ

Горбунова Э.М.

Ресей ғылыми академиясының геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей

Семей сынау полигонының аумағында жер астындағы ядролық жарылыстарын (ЖЯЖ) өткізуі геологиялық ортаның қайтарымсыз өзгеруіне келтірген [5]. ЖЯЖ-дың тау жыныстар массивтеріне ықпалын зерделеу бойынша экспериментті зерттеулердің орындалған көлемі, физика-механикалық параметрлері мен сыйыстырушы ортаның сүзілу құрылымы, гидродинамикалық және радиациялық жағдайы өзгеруінде көрсетілген жер қойнауының техногенді тұрақсыздануының негізгі заңдылығын анықтауға мүмкіндік берген.

Массивтерде тіркелген жарылыстардан кейінгі тұрақсыздану зардаптары ЖЯЖ-дың тек қана эпиорталық белдеміне ілеспейді, олар әр дәрежелі құрылымды шекараларына (айырылымды бұзылыстарына, литологиялық жапсарларына, бір текті емес орталар шекараларына) ұштастырылған да жарым-жартылай жер бетінде де байқалған.

STUDY OF THE MAN-CAUSED DESTABILIZATION CONSEQUENCES TO THE SEMIPALATINSK TEST SITE SUBSURFACE

E.M. Gorbunova

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

Conduction of underground nuclear explosions (UNE) at the territory of the Semipalatinsk Test Site (STS) has led to irreversible deformation of the geological environment [5]. The carried out experimental researches on study of the UNE effect on the rocks massif allowed to ascertain the basic mechanisms of man-caused subsurface destabilization, which is a change in the physic-mechanical characteristics and filtering structure of the background medium, hydrogeodynamic and radiation situation. The consequences of the post-explosion deformations detected in the massif conjugate not only with the epicenter zone of UNE, but are also related to the structural boundaries of various range (to faults, lithologic contacts, boundaries of inhomogeneous media). The consequences were partially detected on the ground surface as well.

УДК 504.75:621.039.9

FE02 AND VISUAL OBSERVATION FOR A CTBT OSI

Kuang F.

Northwest Institute of Nuclear Technology, China

FE02 field experiment conducted in Kazakhstan provided useful experience according to different OSI procedures. The effectiveness of conducting a visual observation during an OSI affects the accomplishment of the inspection mandate directly and substantially. The paper gives description of basic functions, stages and visual observation peculiarities at OSI pseudoreal and real scenario. An essential question on basic requirements to visual inspectors was also reviewed.

INTRODUCTION

The On-site Inspection (OSI) is one of the verification measures of CTBT verification regime, which involves a great deal of technical methods, and has highly intrusiveness to the Inspected State Party (ISP) and the most complicated procedures. Even though broad and deep studies have been taken on the OSI, there are many aspects still remained for further studying, especially the procedures and the operational manual (OM) of OSI. From this consideration, a "2002 OSI Field Experiment (FE02)" was held in Kazakhstan. The experiment was ended; however, the lessons and enlightenments which it remained were profitable and useful. All in a word, the experiment was basically successful. It provides much instructive knowledge on the procedures of conducting an OSI, establishing OSI OM, and training inspectors. However, the disadvantages which arise from the experiment are obviously. These aspects include the administration and

arrangement of daily activities, the clear search logic, the syncretising of all kinds of information and the synergic function of the whole Inspection Team (IT). From the visual observation point of view, visual observation is one of the technical measures of OSI. The effectiveness of conducting a visual observation during an OSI affects the accomplishment of the inspection mandate directly and substantially. This was very impressed on the IT members during the FE02.

OBJECTIVES AND FUNCTIONS OF VISUAL OBSERVATION

The figure 1 illustrates the general procedure of an OSI. Because of its directivity and effectivity, visual observation plays an important role during an OSI. The objectives and functions of conducting visual observation are multiple; however, the main aspects should be as follows.

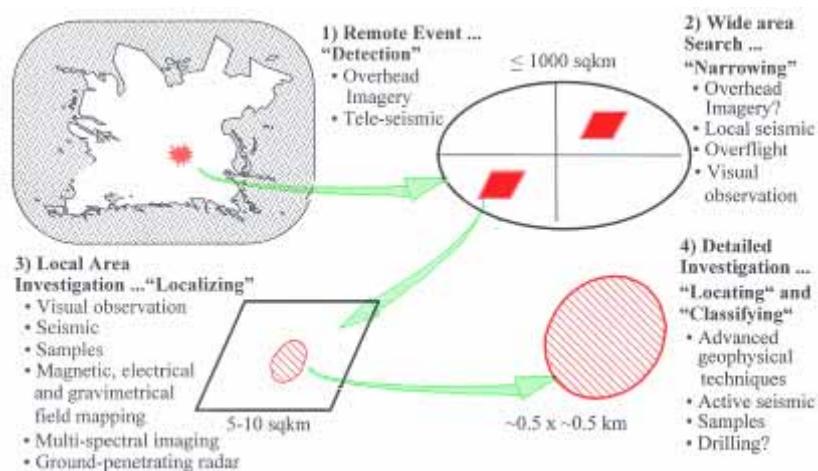


Figure 1. The general procedure of an OSI

Understanding and managing the information of an inspection area (IA)

At the very beginning of an OSI, the IA would be totally strange to all of the IT members. Therefore, the visual inspectors should conduct visual inspection as soon as possible in order to understand the information of the IA, including nature, cultural and geographic environment, to give help to other inspection sub-teams entering into the IA and fulfilling their inspection activities.

Finding and estimating abnormal areas related to the inspection mandate

This is the main objective of conducting visual observation. It is easy to find out those abnormal areas within the IA. However, it is much more difficult to determine whether those areas are inspection mandate related or trigger event related. To fulfill the goal not only requires that visual inspectors should have abundant knowledge and experience on the explosion phenomenology and nuclear test methodology, but also relates to whether the ISP has made camouflages within the IA.

Cooperating with other techniques to fulfill the inspection mandate

In order to achieve the inspection mandate, the OSI regime needs the synergy of all OSI techniques. Any single technique could not work well if no cooperation from other measures.

LESSONS AND ENLIGHTENMENTS FROM FE02

The FE02 gave us a lot. As a visual inspector during the experiment, the following aspects impressed on me the most.

Visual observation should be conducted in advance of others

Because of the extreme time limitation of an OSI, it is a way with high efficiency that the visual sub-team should master the information of the IA via visual observation as soon as possible at the beginning of an OSI, and lead the other sub-teams entering into the IA to deploy equipments and to carry out their tasks. Therefore, visual observation should be conducted as soon as the base camp is established, and before the other sub-teams start their field inspection activities (Figure 2). As we experienced during the FE02, it took us almost 2 hours for the 20-kilometers' distance from the base camp to an entrance of the IA, and another one hour to find the first deployment point. Undoubtedly, this low efficiency will hinder the progress of the OSI.



Figure 2. Which direction?

Visual inspector should keep an open mind

All kinds of explosion-related ground surface anomalies depend strongly on the yield of the explosions, the depth of the device buried underneath and the geological properties of the test medium. Under some conditions, the observable explosion-caused surface anomalies would be very few. Furthermore, in a real OSI scenario, it is most probably that the ISP would make camouflages within the IA. It will make the real OSI scenario much more complicated. Therefore, visual inspector should have an open mind, absolutely do not concentrate only on finding the clear explosion-caused anomalies, and also avoid focusing on irrelevant evidences. As from the FE02, the 200-meters underground and 12-ton's chemical explosion caused no fractures and cracks on the surface, let alone craters. However, the traces of engineering and camouflages were around the ground zero obviously (Figure 3). Because we focused on finding the obvious explosion-caused features at the very beginning, even

though we had been to the ground zero and checked something around it, we did not pay any attention to those artificial traces.



Figure 3. The traces of engineering and camouflages were around the ground zero obviously

The initial over flight (IOF) should be well-prepared

After the establishment of the base camp, and under the precondition of understanding the basic situation of the IA, the IOF should be conducted as soon as possible in order that the IT masters the information of the IA in a shortest period. Because of the totally differences of the ground surface vision from the air and from the ground, the IOF should be well-prepared. Those preparations include how to position the ground objects from the air, how to trace the flight route, how to fix the camera and video devices on board, etc. The most important thing is how to position the ground objects from the air. If it couldn't be solved adequately, it would be very difficult to determine or impossible to find those on-air-found anomalies on the ground. Thus, conducting IOF would be meaningless. In this regard, we were very impressed on the example of finding the "Bull's Eye" during the FE02 (Figure 4). Because of the velocity and the height of the flight, we could only position the helicopter, not the "Bull's Eye" itself, when the "Bull's Eye" was found. Even though there was only one kilometer's distance, which was found later, between these two points, it took us almost a whole morning to find the "Bull's Eye" on the ground. In order to position effectively, some high contrastive objects should be deployed on the ground within the IA. We placed some of these objects before the IOF during the FE02, however, they were too small (only 1 or 2 square meters) to be identified from the air. Moreover, the height of the flight should not be so high if the measures of positioning still remain unsolved before an IOF. Because the higher the flight goes, the larger the positioning error is. Even though there are some anomalies found from the air, it will be very difficult to locate them on the ground.



Figure 4. The “Bull’s Eye” and the undistinguishable blue square from the air

Visual inspectors should be equipped adequately

To a visual inspector, field glass, binoculars, ranging system, camera, video camera and position finding devices are important, however, not enough. For example, the ordinary shovel would be useless if a mock area (such as those scraped areas in the FE02) must be judged to check if there are any subsurface fractures or craters existence. In this case, a survey rod or even a metal stick is extremely needed to ascertain the subsurface status. We have got very impressed on it during the FE02. Moreover, video camera is a very useful tool during an IOF. It is able to record everything on the ground from the air continuously. It will be very helpful for the IT to understand the whole IA and to position the ground anomalies.

All sub-teams should act in close coordination

As mentioned above, because of the complexity of the real OSI scenario, any single technique or sub-team could not fulfill the inspection mandate. It extremely needs the close cooperation among all inspection sub-teams, and further, all inspectors in the IT. Therefore, we should not only have clear search logic to ascertain the whole IA systematically, but also analyze synthetically all kinds of information gained from the inspection, in order to narrow down the search area and determine the highly suspected areas as soon as possible.

VISUAL OBSERVATIONS FOR A REAL OSI SCENARIO General Approach for a CTBT OSI

As it is written down in the Treaty, the sole purpose of an OSI shall be to clarify whether a nuclear weapon test explosion or any other nuclear explosion has been carried out and, to the extent possible, to gather any facts which might assist in identifying any possible violator. Considering the complexity of an OSI scenario and the time limitation of conducting an OSI, in order to conduct an OSI efficiently and fulfill its sole purpose, the whole OSI should be divided into three stages as follows.

Step one, narrowing down the inspected area through general searching within the IA;

Step two, determining possible ground zero areas of explosion through detail research within those small areas;

Step Three, collecting evidences around the ground zero areas.

A possible OSI scenario

A real OSI scenario is complicated. Generally, it is less possible that a violation event with large yield, shallow depth of burial, causing crater or large scale of surface fractures or cracks occurs. Even though this occurs, it is very easy to verify whether the explosion is a nuclear one or not, because this kind of nuclear explosions always accompany with a high level of radioactive seepage. Therefore, referring to underground explosions, we should pay more attention to the following aspects.

Explosions with small yield, deep depth of burial or decoupled

The surface anomalies resulted from these kinds of events would be very few and easily be ignored. If conditions were adequate and the small scaled underground nuclear explosion was completely contained, it would be no or very few radioactive seepage. In this case, the artificial features around the ground zero will be hot spots for visual inspectors to investigate. However, if the ISP made some camouflages or other treatments around the ground zero and within the IA, inspectors would be very difficult to find the true point. Anyhow, if only the trigger event was a nuclear test explosion, the traces of engineering and human activities must be left. Those anomalies include boreholes, roads, tracks, testing yards, cable ditches, floral/faunal disturbance and remains.

Camouflages and areas with newly treatment

It is most probably that a guilty ISP makes many kinds of camouflages in order to puzzle or mislead the IT, as we experienced during the FE02. Under this circumstance, inspectors should give judgments synthetically towards those suspected areas on the basis of the information which the IT has got from the inspection and their own knowledge and experience. These information include the size of the suspected area, the fluffy status of the subsurface, the status of heavy roads and tracks around the area, etc.

Road with dead end or towards a suspected area

There would be a large amount of tracks on a road which is used for a nuclear test. The road won’t be a small path. It must look like a main road.

Conducting a visual observation

First of all, the IT’s operations and communications centre should be run as an operational headquarter with some main operational maps on the wall during a real OSI. The major information’s synthesis and analysis and some meetings or discussions will be held here. One or two of inspectors act as liaison officers (only within the IT) in charge of collecting information from each sub-team’s daily inspection activities and marking them on the operational maps clearly. Because of the importance of the information and the limitation of the OSI timeline, the information should be refreshed and analyzed timely and synthetically, so that the Inspection Team Leader (ITL) can make right decisions in time.

Generally, the main steps and activities of conducting a visual observation during a CTBT OSI should be as follows.

Step One

Entering into the IA, determining the border of the IA and understanding the environment of the IA as soon

as possible. At the first step, roads will be the most important objects to be ascertained.

Step Two

Leading the other sub-teams entering into the IA, deploying equipment; meanwhile, placing high contrastive objects on the ground separately, in order to prepare a forthcoming IOF, etc.

Step Three

Preparing and conducting an IOF as soon as possible. If necessary, ask for an additional overflight. Studying the information attained from the overflight care-

fully, finding those abnormal areas, and marking them on the maps clearly. Thereafter, the main inspection activities should be taken around these areas.

Step Four

Ascertaining those anomalies one by one systematically and in a planned way; excluding those irrelevant areas; meanwhile, cooperating with other sub-teams, synthesizing all kinds of information, narrowing down the search areas, in order to determine the highly suspected areas.

Table. The methods of inspecting anomalies and suspected objects through visual observation are simply listed as follows.

ANOMALIES	STATUS and CHECKING	JUDGEMENT
Borehole	New or old. Many fresh traces of human activities and remains around	Suspected
	Old. No fresh traces around	Unsuspected
Cables	Fresh cross-section	Suspected
	Old cross-section	Unsuspected
Roads	New. Heavy tracks and towards a suspected area	Suspected
	Old. Deserted for some time	Unsuspected
Prepared ground	Small area. Stiff subsurface, no traces and floral/faunal disturbance around	Unsuspected
	Large area. Fluffy subsurface, many artificial traces and floral/faunal disturbance around	Suspected
Engineering remains	Such as mud pit, stemming material (cement or rubble), cable ditches, perimeter fencing. Would be wiped away or fakes by the ISP.	Highly suspected
Testing facilities	Such as trailers, testing equipment. Would be wiped away by the ISP.	Highly suspected
Craters, fractures and cracks, ground fluff, etc.	Fresh. Radioactive abnormality around	Highly suspected
	Old. No radioactive abnormality around	Unsuspected
A large amount of rock falls, rock movement, floral/faunal disturbance	It won't exist separately. There must be some abnormal areas nearby.	Suspected

THE BASIC REQUIREMENTS FOR A VISUAL INSPECTOR

As a qualified visual inspector, one should meet the following basic requirements.

Mastering the general knowledge of nuclear explosion phenomenology

Possessing the general knowledge of nuclear explosion phenomenology and understanding some main kinds of nuclear-explosion-related anomalies and their origins are prerequisites for an eligible visual inspector.

Skilled map reading capability

The maps of the IA are one of the most important tools for visual inspectors to carry out their inspection activities, especially at the very beginning of an OSI. Those map reading skills include understanding all kinds of information in the map, identifying anomalies, changing the unit of map scale, positioning a particular point according to the map, marking information on the map accurately, etc.

Operating visual devices skillfully

This is a basic capability for a visual inspector. Understanding the functions, performance and technical specifications of the visual inspection used devices is one of the preconditions to operate them skillfully. Also, this is an assurance for visual inspectors to fulfill their tasks.

A nice practice of recordation

Visual inspectors should record any finding of anomalies and information in detail. These records in-

clude the daily inspection routes, the time, location and situation of finding an anomaly and the initial judgment to the anomaly. These will be very useful for further ascertaining.

Persisting in a reporting regulation

After every day's inspection activities, visual inspectors should report anomalies which were found and routes which were took during the day to the visual sub-team or the whole IT. This reporting regulation should be observed by every visual inspector.

Taking a certain number of training courses

In order to become a qualified visual inspector, taking some training courses of OSI is necessary.

CONCLUSIONS

The real OSI scenario would be very complicated. It is a great challenge for the IT to fulfill its inspection mandate. It requires all of our inspectors who should have not only clear search logic, but also a team spirit and cooperating with each other to get its achievements.

Acknowledgement. I would like to thank the PTS that gave me the opportunity to experience a quasi-real OSI scenario, and most importantly, to give my great acknowledgements to all of my FE02 colleagues, and to appreciate the friendship which we have had since then on.

**FE02 ДАЛАЛЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТІ: ЯДРОЛЫҚ СЫНАУЛАРЫНА БӘРІН ҚАМТИТЫН
ТИЫМ САЛУ ТУРАЛЫ ШАРТЫ БОЙЫНША ОРНЫНДАҒЫ ИНСПЕКЦИЯСЫН
ӨТКІЗУІНДЕ КӨЗКӨРІМ БАҚЫЛАУЛАРЫ**

Куанг Ф.

Ядролық технологияларының солтүстік-батыс институты, Синьзянь, Қытай

Қазақстанда өткізілген FE02 эксперименті Орнындағы инспекциясының әр түрлі рәсімдері бойынша пайдалы тәжірибеге жеткізген. Көзкөрім бақылаулары, оның тиімділігі тікелей және мәні бойынша инспекциялық мандатын орындау сапасына ықпал ететін Орнындағы инспекциясының сондай бір техникалық шарасы болып табылады. Мақалада Орнындағы инспекциясының жалғаннақты және нақты сценарийларында көзкөрім бақылауларының негізгі функциялары, кезеңдері және ерекшеліктері қаралған. Сондай-ақ, көзкөрім бақылау инспекторларына қатынасты негізгі талаптары туралы маңызды мәселе қаралған.

**ПОЛЕВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПЭ02: ВИЗУАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНСПЕКЦИИ
НА МЕСТЕ ДОГОВОРА О ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕМ ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Фейхонг Куанг

Северо-западный институт ядерных технологий, Синьзянь, Китай

Полевой эксперимент ПЭ02, проведенный в Казахстане, предоставил полезный опыт по различным процедурам Инспекции на месте (ИНМ). Визуальные наблюдения являются одной из технических мер ИНМ, эффективность которой непосредственно и по-существу влияет на качество выполнения инспекционного мандата. В статье рассмотрены основные функции, этапы и особенности визуальных наблюдений при псевдореальных и реальных сценариях ИНМ. Рассмотрен также важный вопрос об основных требованиях к инспекторам визуального наблюдения.

УДК 550.311:621.039.9

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОЛЕВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА-2002 В РАМКАХ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ**

¹Беляшов А.В., ¹Шайторов В.Н., ¹Политиков М.И., ¹Дроздов А.В., ¹Синева З.И., ¹Тореев В.Ю.,
¹Эдомин В.И., ¹Шелехова О.Х., ²Сагарадзе Д.А., ²Гвоздарев Ю.К., ³Мюрди Р.

¹*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

²*Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Технической Физики, Снежинск, Россия*

³*Дивизион Инспекции на месте ОДВЗЯИ, Вена, Австрия*

В статье описываются результаты применения комплекса геофизических и геохимических методов в рамках международного Полевого Эксперимента-2002, проведенного в Казахстане на территории Семипалатинского испытательного полигона. Получены практический опыт использования инспекционных технологий, данные о влиянии подземного взрыва на вмещающие горные породы. Оценены возможности Международной и Национальной сетей мониторинга при локализации источника сейсмического события.

Подготовительная комиссия ОДВЗЯИ поручила Временному техническому комитету в соответствии с действующими Соглашениями с РК провести в 2002 г. реальный полевой эксперимент по Инспекции на месте (ИНМ) в Казахстане. Путем имитации масштаба, объема, реализма сценария в полевых условиях предстояло получить данные для разработки оперативных руководств и тренировочных курсов по Инспекции на месте. Казахстанской стороной выполнен комплекс организационных, технических и методических работ. В частности, на территории Семипалатинского испытательного полигона (участок Балапан, скважина № 1340-II) 14 сентября 2002 был произведен подземный химический взрыв, имитирующий несанкционированный ядерный взрыв.

Полевой Эксперимент-2002 (сокращенно ПЭ02) состоял из двух частей – непосредственно Инспекции на месте (основная часть) и сопровождающих полевых геофизических и геохимических исследований (дополнительная часть). Цель основной части эксперимента – отработка Дивизионом Инспекции на месте ОДВЗЯИ инспекционных технологий, а именно: логистики, визуального наблюдения, облётов местности, пассивного мониторинга афтершоков, внутреннего взаимодействия членов инспекционной команды и т.д. Кроме того, взрыв использовался для оценки возможностей создаваемых в последние годы Международной (МСМ ОДВЗЯИ) и Национальной (ННЦ РК) систем мониторинга ядерных испытаний для обнаружения и локализации сейсмических источников.

Цель второй части эксперимента - отработка геофизических и геохимических технологий работ, выполняемых в течение различных фаз ИНМ, изучение феноменологии подземного взрыва, т.е. его влияния на механические и химические свойства окружающих горных пород. Работы выполнялись Институтом геофизических исследований ННЦ РК в сотрудничестве со специалистами других организаций (РФЯЦ-ВНИИТФ, ОДВЗЯИ).

В Приложении № 1 к ДВЗЯИ приводится общий перечень геофизических и геохимических методов, рекомендуемых к применению при проведении Инспекции на месте. Однако опыт практического при-

менения этих методов в целях ИНМ весьма ограничен. В ходе проведения полевого эксперимента в Казахстане использована возможность проведения полевых наблюдений достаточно большим комплексом методов:

1. Пассивные сейсмические методы:

- пассивный мониторинг афтершоков (ПМА) – более слабых сейсмических событий, возникающих в ограниченном объёме блока земной коры после основного (триггерного) явления, – для локализации поискового района на начальной стадии ИНМ и идентификации триггерного события;
- метод обменных волн землетрясений (МОВЗ), образованных на границах нарушения сплошности среды, – с целью выявления в исследуемом блоке земной коры техногенных неоднородностей (поверхности откола), связанных с подземным взрывом;
- резонансная сейсмометрия (РС), использующая записи далеких землетрясений, – для определения размеров зоны разрушения в горизонтальной плоскости и идентификации триггерного события.

2. Активные сейсмические методы:

- вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) – с целью получения одномерной скоростной модели как основы для применения и интерпретации сейсмических методов;
- метод рефрагированных волн (МРВ) – с целью выявления скоростных аномалий, приуроченных к техногенным неоднородностям среды и идентификации триггерного события;
- метод дифрагированно – рассеянных волн (МДРВ) – с целью выявления факта взрывного воздействия на осадочно-метаморфогенную толщу и определения местоположения и геометрических характеристик поствзрывных ослабленных структур по их способности переизлучать упругие колебания.

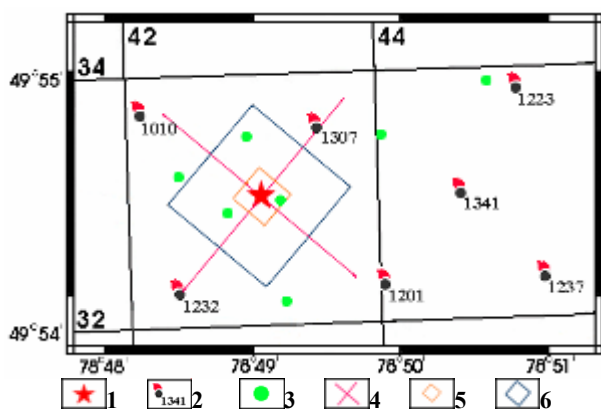
3. Магнитометрические методы:

- каппаметрия – с целью выявления изменения магнитной восприимчивости горных пород в

блоке земной коры, подвергшейся воздействию подземного взрыва;

- магнитометрия – с целью определения магнитных аномалий, образованных, в основном, за счёт ферромагнитных конструктивных элементов скважины или штольни, остающихся после проведения подземного взрыва.
4. Ртутотрический метод – с целью выявления на дневной поверхности следов прорыва высокотемпературных газовых флюидов, образующихся в процессе взрывов.
5. Гравиметрический метод – с целью определения гравитационных аномалий, образующихся за счёт перераспределения масс горных пород в зоне воздействия подземного взрыва и образования в результате этого плотностных неоднородностей (полости, столба обрушения, зоны уплотнения и поверхности откола), вызывающих изменение поля силы тяжести.

На рисунке 1 схематически показаны системы наблюдения в районе скважины 1340-II – два профиля МРВ, 2 участка площадных съёмок, пункты расположения выносных сейсмических станций.



1 - скважина 1340-II; 2 - скважины ПЯВ; 3 - пункты мониторинга афтершоков; 4 - профили МРВ; 5 - площадь наблюдений МОВЗ и РС; 6 – площадь съёмок МРДВ, магнитометрической, ртутотрической, гравиметрической

Рисунок 1. Схема наблюдений на изучаемой площади

Исследования практически по всем методам проведены до и после взрыва. При этом полагалось, что проведённый подземный взрыв (химический, ядерный) создает в геофизических и геохимических полях значительные долгоживущие аномалии. Анализ этих аномалий в сопоставлении с «чистыми» полями (до проведения подземного взрыва) даёт информацию о влиянии взрыва на окружающие горные породы. При проведении Инспекции на месте с привлечением решения обратных геофизических и геохимических

задач появляется возможность определения параметров взрыва по выявленным аномалиям.

Подземный химический взрыв в скважине 1340-II выполнен на глубине ~ 180 м, мощность заряда составила 12,5 т тротилового эквивалента. Взрыв производился в так называемой «боевой» скважине. В качестве «укупорки» взрывчатого вещества в скважине был использован водный раствор. При проведении взрыва грязеводные образования и некоторые элементы металлоконструкций были выброшены из устья скважины в атмосферу на высоту около 100 м.

В 9 м к северо-востоку от боевой скважины расположена вторая скважина, доступная для геофизических работ – так называемая «аппаратурная». Согласно условиям проведения ПЭ02, на устье боевой скважины, практически сразу же после выполнения взрыва, выполнены работы по маскировке места – заполнение взрывной воронки и полости металлоконструкциями и грунтом. Аппаратурная скважина после проведения взрыва практически полностью сохранила целостность, и в ней были выполнены работы по каротажу и методу вертикального сейсмического профилирования.

В геологическом отношении участок проведения эксперимента сложен юрско-триасовыми метаморфизованными алевритами и песчаниками полимиктового состава с тонкими прослоями сланцев. Породы разбиты на отдельные блоки разрывными нарушениями преимущественно северо-западного простирания и перекрыта современными (Q_{III-IV}) отложениями, состоящими из супесей мощностью 0.5 м с корнями травяных растений и разнозернистых песков с мелким гравием мощностью 70-80 м.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭПИЦЕНТРА КАЛИБРОВОЧНОГО ВЗРЫВА ПО ДАННЫМ НАЦИОНАЛЬНОЙ И МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В таблице 1 приведены основные параметры взрыва, произведенного в скважине 1340-II. За 53 сек до него на действующем угольном карьере Каражыра, расположенном в 19 км к северо-западу от скв 1340, произведен другой взрыв. Параметры его также приведены в таблице 1. Предполагалось, что записи от двух близко расположенных взрывов, произведенных в близкое время, затруднят обработку данных и усложнят локализацию источников. Тем самым, была обеспечена возможность проверить реальную способность Национальной и Международной систем мониторинга, создаваемых в последние годы, к обнаружению и оценке параметров источников несанкционированных взрывов как информационной основы для назначения Инспекции на месте.

Таблица 1 Основные параметры взрывов 14 сентября 2002 г.

Взрывы	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Время То	Глубина, м	Магнитуда
Химический взрыв в скв. 1340-II	49° 54'25.1"	78°49'02.4"	06:31:04.924	180	2.1 (mpv, KazNDC), 3.5 (mb, REB), 2.9 (ml, REB)
Взрыв на карьере Каражыра	50° 01'24.4"	78°43'28.4"	06:30:12.081	12	1.7 (mpv, KazNDC)

Оба взрыва зарегистрированы сетью стационарных станций НЯЦ РК. На рисунке 2 приведены сейсмограммы, записанные станцией IRIS/IDA – Курчатов, на которых хорошо видны записи обоих взрывов. Результаты локализации взрывов оперативно получены Центром сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОСИ) ИГИ НЯЦ РК. При этом, для локализации первого взрыва – карьерного, использованы только данные станции Курчатов. Для локализации второго, основного взрыва, привлечены данные станций НЯЦ РК Курчатов, Маканчи, Боровое, Чкалово, Зеренда. В процессе локализации использованы разные подходы и годографы. Во-первых, - стандартный годограф IASPEI -91. В этом случае (рисунок 3, решение 3) отклонение найденного эпицентра от истинного составило 7,4 км. После внесения поправок за азимут и расстояние (SSSC – поправки, рассчитанные для станций НЯЦ РК) - это рисунок 3, решение 2, - отклонение от истинного местоположения уменьшилось до 3,6 км.

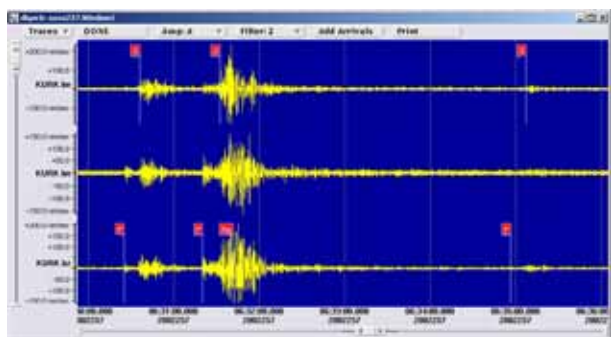
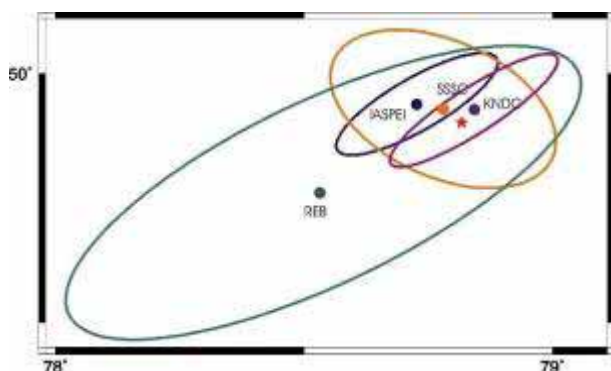


Рисунок 2. Пример сейсмограммы взрывов 14 сентября 2002 г. Станция Курчатов



★ эпицентр основного взрыва. Решения: ● 1 - KNDC (годограф KNDC); ● 2 - SSSC (годограф IASPEI с поправками SSSC); ● 3 - IASPEI (годограф IASPEI); ● 4 - REB (МЦД)

Рисунок 3. Истинный и рассчитанные эпицентры и эллипсы ошибок определения места взрыва 14 сентября 2002 г

В [1] получен годограф по результатам обработки серии калибровочных взрывов 1997-2000 г. Его использование для обработки данных по рассматриваемому взрыву дало наилучшие результаты: отклонение от эпицентра составило 2,7 км, площадь эллипса ошибок - 226 км² (рисунок 3, решение 1). Международная сеть мониторинга также зафиксировала основной взрыв. В Международном центре данных был локализован его источник (рисунок 3, решение 4). По данным бюллетеня REB (Reviewed Event Bulletin), отклонение от истинного эпицентра составило 26,2 км. Площадь эллипса ошибок оказалась равной 2623,9 км², что намного превышает требования ОДВЗЯИ, которые обязывают обеспечить точность локализации с площадью эллипса ошибок не более 1000 км².

ПАССИВНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

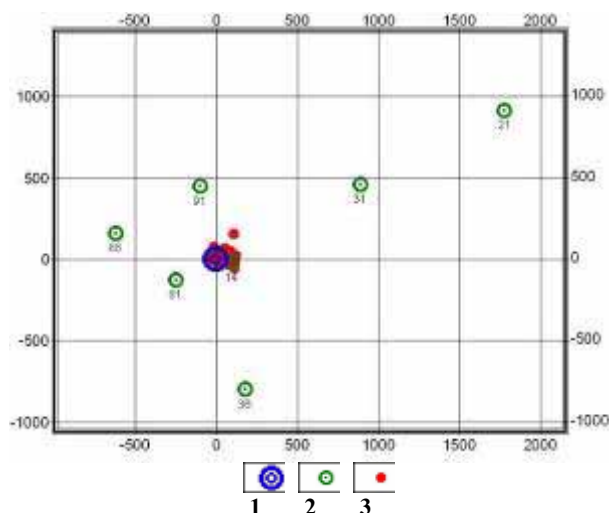
Пассивный мониторинг афтершоков

В ходе проведения пассивного мониторинга афтершоков, как правило, решаются две взаимозависимые задачи: 1) определение динамических параметров сейсмических событий с целью идентификации их как поствзрывных афтершоков; 2) локализация эпицентра зарегистрированных афтершоков. При выполнении данного эксперимента, из-за работ по маскировке места взрыва, регистрация немеханических афтершоков и дальнейшее изучение их динамических параметров оказалась невозможной. Поэтому для локализации эпицентра взрыва использованы записи механических афтершоков – сейсмических событий, создаваемых обрушением грунта и металлоконструкций, заполняющих воронку и полость. Поствзрывные афтершоки регистрировались семью сейсмическими станциями «Карс», выставленными вокруг эпицентра взрыва (рисунок 1) и расположенными относительно него в диапазоне азимутов от 63 до 348 градусов и на эпицентральных расстояниях от 100 до 2000 м (таблица 2). Автономные аналоговые станции «Карс» работали в 6-ти канальном варианте, когда к каждой станции подключалось два трёхкомпонентных сейсмоприёмника СК-1П, установленных в одной точке наблюдения.

Таблица 2. Координаты пунктов наблюдения при мониторинге афтершоков

№ станции	Координаты станций		Эпицентральное расстояние (м)	Азимут на станцию от скв. 1340-II
	N	E		
Скв. 1340-II	49°54'25.1	078°49'02.4	-	-
14	49°54'24.1	078°49'07.1	100	102°04'
81	49°54'19.6	078°48'51.6	280	242°58'
91	49°54'39.8	078°48'59.2	460	347°42'
88	49°54'32.7	078°48'32.8	640	284°24'
36	49°53'59.2	078°49'08.2	820	167°23'
31	49°54'46.1	078°49'43.1	1000	62°42'
21	49°55'06.9	078°50'23.6	2000	62°46'

Пассивный мониторинг был начат за 3-е суток до взрыва с целью изучения сейсмического фона исследуемого участка. Зарегистрирован основной толчок – подземный взрыв. После взрыва регистрация афтершоков продолжалась в течение 7-ми суток. Всего после взрыва записано около 150 событий с механической природой образования. Для локализации эпицентра из них использовано 36 событий. Локализация эпицентров афтершоков выполнялась путём решения обратной кинематической задачи по разнице времён прихода прямых продольных волн сейсмических событий на пункты наблюдения. Вспомогательным инструментом для уточнения места сейсмического события, особенно при неуверенном определении его другими методами, была программа TimeFunction (ИГИ НЯЦ РК). С использованием TimeFunction в результате решения обратной кинематической задачи найдено облако рассчитанных эпицентров и построена карта расположения источников афтершоков на исследуемом участке (рисунок 4).



1 - скважина 1340-II; 2 - пункты мониторинга афтершоков;
3 - рассчитанные эпицентры афтершоков

Рисунок 3. К результатам пассивного мониторинга афтершоков

На рисунке 3 началом системы отсчёта служат координаты скважины 1340-II. Облако рассчитанных эпицентров покрывает расположение источника афтершоков (скважину 1340-II) с погрешностью не более 100 м. Полученное качество локализации эпицентра афтершоков является достаточно хорошим для решения основных задач метода пассивного мониторинга - сужения района поиска и «грубой» локализации эпицентра источника афтершоков. К тому же, при включении в обработку дополнительных параметров – геологических условий района и глубины залегания источников афтершоков, определяемой по углу выхода к поверхности сейсмической волны, – точность локализации эпицентров поствзрывных афтершоков может быть увеличена.

Метод обменных волн землетрясений (МОВЗ) [2-4]

Полевые наблюдения проведены на площадке размером 300×300 м по равномерной сети с шагом 60 м (рисунок 1). В районе эпицентра взрыва сеть

наблюдения сгущена – шаг наблюдения 15 м. Сейсмические события регистрировались в течение 10 суток после взрыва с использованием автономных аналоговых станций «Карс». Станции работали в 12-ти канальном варианте (подключение четырех трехкомпонентных сейсмоприёмников).

Всего за период наблюдений удовлетворительно зарегистрировано девять дальних землетрясений, на сейсмограммах которых были сняты первые обменные волны PS, соответствующие верхней границе раздела - поверхности откола (рисунок 5). Вычислены средние времена запаздывания ($t_s - t_p$) для всех девяти сейсмических событий и рассчитана глубина до границы обмена под каждым пунктом наблюдения. Глубина вычислялась по упрощённому варианту: волны от дальних землетрясений принимались за телесеismicкие (с вертикальным подходом к земной поверхности), поэтому поправки за сейсмический снос не вносились.

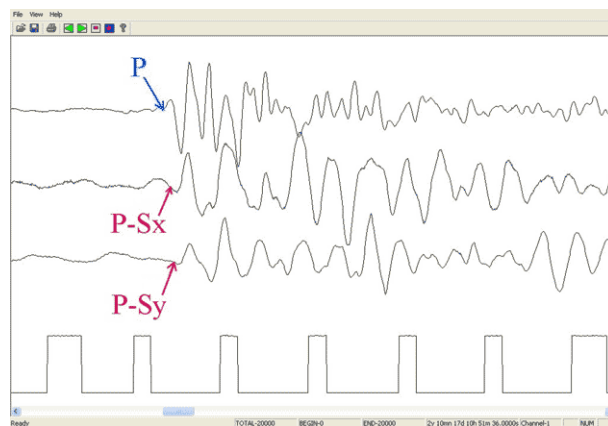
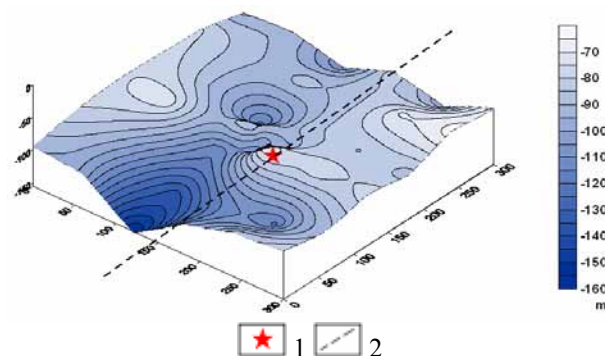


Рисунок 5. Пример определения обменной фазы P-S далекого события на сейсмограмме



Проекция на поверхность границы обмена: 1 - скв. 1340-II;
2 - сейсмического профиля МРВ (С-Ю)

Рисунок 6. Поверхность первой границы обмена

Глубина до первой границы обмена рассчитывалась по формуле:

$$H = dT \cdot ((V_p \cdot V_s) / (V_p - V_s)),$$

где: H – глубина границы обмена; V_p , V_s – средняя скорость P- и S-волн в верхнем слое, соответственно; $dT = (t_s - t_p)$ - время запаздывания.

При расчетах использованы следующие значения средней скорости сейсмических волн для вышележащего слоя: $V_p = 1000$ м/с, $V_s = 575$ м/с. На рисунке 6 приведена построенная 3-хмерная модель пер-

вой границы обмена и поверхности откола. Первая граница обмена соответствует границе раздела между рыхлыми отложениями верхней части разреза и метаморфизованными породами фундамента. Исследуемый район имеет достаточно сложное геологическое строение из-за множества разломов, тектонических и техногенных нарушений, вызванных большим количеством ранее проведённых ПЯВ (рисунок 1). По предыдущим исследованиям глубина залегания границы раздела на исследуемом участке определена в интервале от (-60) до (-160) м. По данным МОВЗ поверхность первой границы обмена над гипоцентром проведённого взрыва имеет отметку порядка (-65)м (рисунок 6). Хорошо проявляется куполообразная форма поверхности откола. Данная неоднородность характерна исключительно для импульсных внутрикоровых источников, таких как подземные взрывы, и является надёжным средством идентификации триггерного события.

Информация о залегании поверхности раздела, полученная методом обменных волн, качественно увязывается с данными других сейсмических методов. Так, согласно результатам вертикального сейсмического профилирования, на глубине 65 м наблюдается резкое увеличение скорости сейсмических волн, приуроченное к повышению плотности горных пород поверхности откола (рисунок 8). Увеличение глубины залегания поверхности раздела (от -130 до -160 м), показанное на рисунке 6 к северо-востоку и юго-западу от гипоцентра взрыва, хорошо согласуется с данными метода рефрагированных волн (рисунок 9).

Резонансная сейсмометрия [4]

Система наблюдений, принятая для метода резонансной сейсмометрии, та же, что и для МОВЗ. Учитывая априорную информацию о размерах поствзрывной зоны дезинтеграции, заданные размеры площадки ($300 \times 300 \text{ м}^2$) должны были удовлетворять необходимым условиям применения резонансной сейсмометрии – наличие «чистых» сейсмических сигналов и сигналов, прошедших через нарушенную среду.

При обработке использованы записи тех же девяти далеких землетрясений, что и в методе обменных волн. Для анализа частотного спектра были взяты первые пять секунд записей каждого события, начиная от первого вступления Р-волны. Проведённый анализ позволил установить заметные различия в частотном спектре сигналов, зарегистрированных непосредственно над местом проведения подземного взрыва и за пределами зоны дезинтеграции. На рисунке 7 представлены частотные спектры, рассчитанные для записей, выполненных станциями 81, 31 и 9. Станция 81 располагалась непосредственно над гипоцентром взрыва, станции 31 и 9 удалены от него на расстояние около 150 м. В частотном спектре сейсмической записи станции 81 отчётливо видна более высокочастотная составляющая (~ 12 Гц) на фоне доминирующей для всех записей частоты 8-9 Гц. Скорее всего, это объясняется появлением в верхней части разреза большого количества высокочастотных рассеянных (дифрагированных) волн, связанных с тектоническими разрушениями и нару-

шением сплошности среды в зоне дезинтеграции. Кроме того, сигнал, зарегистрированный над гипоцентром взрыва (станция 81), имеет более значительную интенсивность – 300 условных единиц (у.е.) относительно 180 и 140 у.е. сигналов, зарегистрированных на удалении.

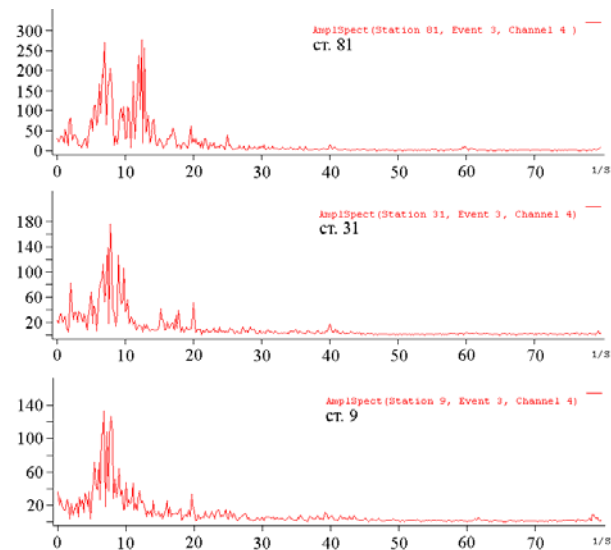


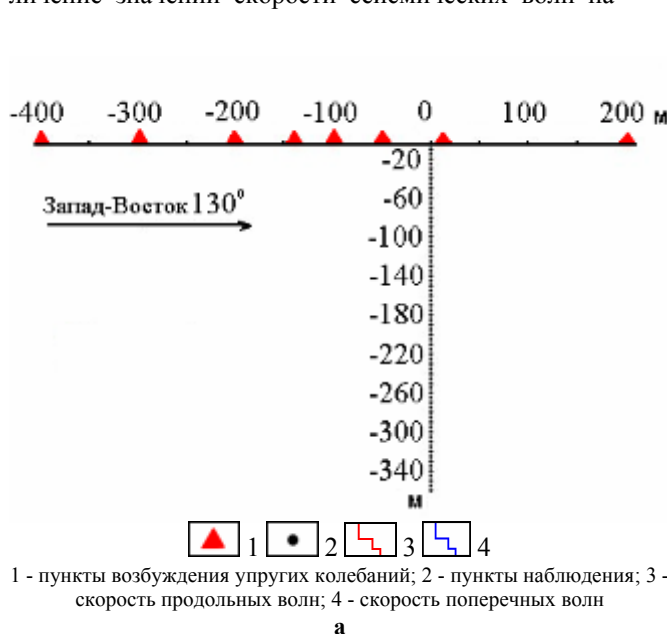
Рисунок 7. Сравнение частотных спектров сейсмических сигналов, зарегистрированных в гипоцентре (станция 81) и на удалении от него

АКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП)

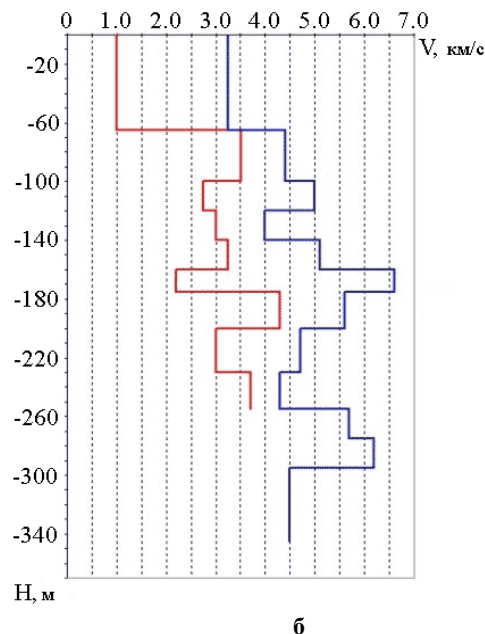
Протоколом № 1 к ДВЗЯИ метод ВСП не рассматривается как инспекционный, тем не менее метод применен с целью изучения одномерной глубинной скоростной модели, необходимой для других методов (МРВ, МОВЗ, МДРВ и т.д.). Схема измерений показана на рисунке 8а. Пункты возбуждения упругих колебаний располагались на дневной поверхности вдоль профиля длиной 600 м с неравномерным шагом (от 10 до 100 м). Приём осуществлялся в скважине 1340-П с шагом 5 м до глубины 360 м. Для измерений использован макет аппаратуры, состоящий из наземной регистрирующей аппаратуры, созданной на базе сейсмостанции ИСН-01-24, и скважинного трехкомпонентного сейсмического зонда на кабеле КГ – 7. Оборудование было установлено на каротажном подъемнике. В качестве регистратора использовались усилители сейсмостанции ИСН-01-24, настроенные на полосу пропускания 0-250 Гц. Сейсмический сигнал оцифровывался шестнадцатиразрядным АЦП Е-330 и заносился в жесткую память персонального компьютера. Запись выполнялась без фильтрации, шаг квантования 1 мсек, длина записи – 0,8 – 1,0 сек. Все параметры записи задавались программой. Запускалась сейсмостанция от фронта первого срыва сигнала сейсмоприемника, установленного в грунт непосредственно у пункта возбуждения. Стабильность условий возбуждения контролировалась двумя наземными сейсмоприемниками, расположенными у устья скважины и на удалении 50 м.

По первым вступлениям падающих продольных и поперечных волн, полученных из продольного ПВ, построены годографы и вычислены значения пластовых скоростей Р- и S- волн (рисунок 8б).

Из представленных графиков видно резкое увеличение значений скорости сейсмических волн на



глубине 65 м. Повидимому, это связано с выходом сейсмических волн в более плотные породы поствзрывной откольной зоны, что согласуется с результатами других сейсмических методов.



*Рисунок 8. Метод вертикального сейсмического профилирования:
а - схема наблюдений; б – установленная одномерная скоростная модель геологического разреза*

Метод рефрагированных волн (МРВ) [5,6]

По экспериментальным данным, полученным ранее на площадке Балапан, глубина проникновения рефрагированной волны составляет 1/6 – 1/10 от расстояния источник – приемник упругих колебаний. Поэтому длина сейсмического профиля была определена в 2000 м, чтобы в изучаемый скоростной разрез попала поствзрывная полость и зона дезинтеграции, образованная взрывом на глубине ~ 180 м. Шаг между пунктами возбуждения – 50 м, шаг между пунктами приёма – 25 м выбраны с учетом априорной информации о размерах полости и зоны техногенных разрушений. С целью получения информации о ненарушенной среде до взрыва были выполнены измерения вдоль одного профиля приблизительно меридионального направления. После взрыва измерения выполнены по двум ортогональным профилям – S-N и W-E (рисунок 9). Полевые цифровые сейсмические записи получены в формате SEG-Y. Снятие первых вступлений рефрагированных волн осуществлялось с использованием программы «Picker 1.1». Двумерные скоростные разрезы построены с помощью сейсмического программного пакета «Firstomo» (Санкт-Петербург, Россия). Результаты обработки рефрагированных волн в виде разрезов в линиях равных скоростей представлены на рисунке 9. Как видно из скоростных разрезов, ситуация исследуемого участка достаточно сложная, что объясняется блоковым строением, наличием субвертикальных границ и др. явлений, связанных с большим количеством ПЯВ, выполненных в этом

районе. Подземный химический взрыв, в силу небольшой мощности и глубины, недостаточной укупорки заряда существенно не изменил общей скоростной картины разреза. Однако отмечаются некоторые характерные признаки подземного взрыва, в первую очередь, образование низкоскоростной зоны (зоны разуплотнения) в области гипоцентра события; появление чередующихся концентрических зон с повышенными и пониженными значениями скоростей сейсмических волн (рисунок 9).

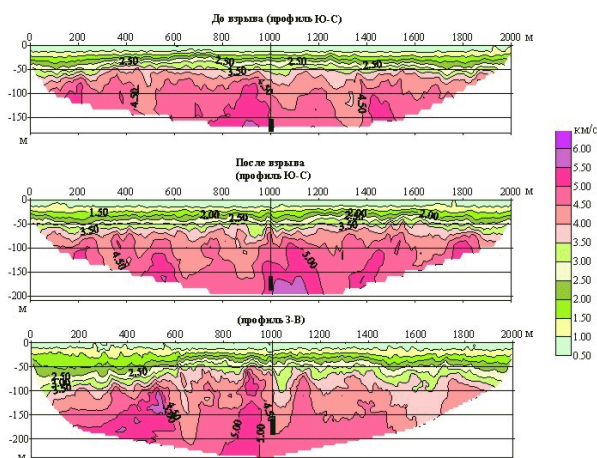


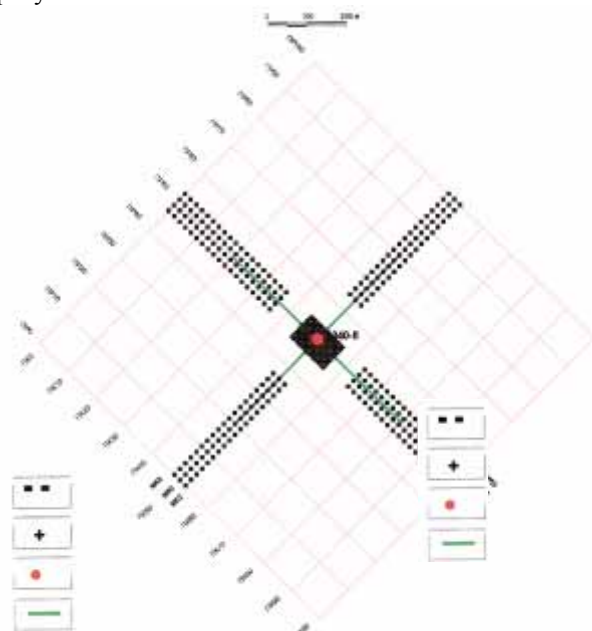
Рисунок 9. Двухмерные разрезы в линиях равных скоростей, полученные методом рефрагированных волн до и после взрыва

Полученные результаты подтвердили ранее полученный теоретический и практический опыт при-

менения метода [5]. В соответствии с компрессионной природой продольной сейсмической волны, при распространении взрывного ударного фронта в окружающих горных породах появляются чередующиеся зоны уплотнения и разуплотнения. На скоростных разрезах, полученных методом рефрагированных волн, эти зоны проявляются в виде участков с повышенными и пониженными значениями скорости сейсмических волн. Размеры этих участков определяются скоростью и длиной упругой волны, образованной в момент взрыва. Приведённые скоростные аномалии характерны для внутрикоровых импульсных источников (подземных взрывов) и служат надёжным идентификатором природы триггерного явления. При решении задач ИНМ данный метод служит для определения размеров полости и зоны дезинтеграции.

Метод дифрагированно - рассеянных волн (МДРВ) [7-9]

Путем математического моделирования проведена оценка избирательности различных конфигураций систем наблюдения для МДРВ. Наиболее рациональной признана система с ортогональным расположением линий пунктов возбуждения и приема, удаленных от центра исследуемой площади в одном направлении. Реализованная система наблюдений по двум ортогональным профилям М50 и ПР50, проложенным через устье скважины 1340-II, при постановке работ методом рассеянно-дифрагированных волн приведена на рисунке 10.



1 – пункты возбуждения упругих колебаний; 2 – пункты наблюдения; 3 – эпицентр взрыва; 4 – профили наблюдений

*Рисунок 10. Схема наблюдений по методу
рассеянно-дифрагированных волн*

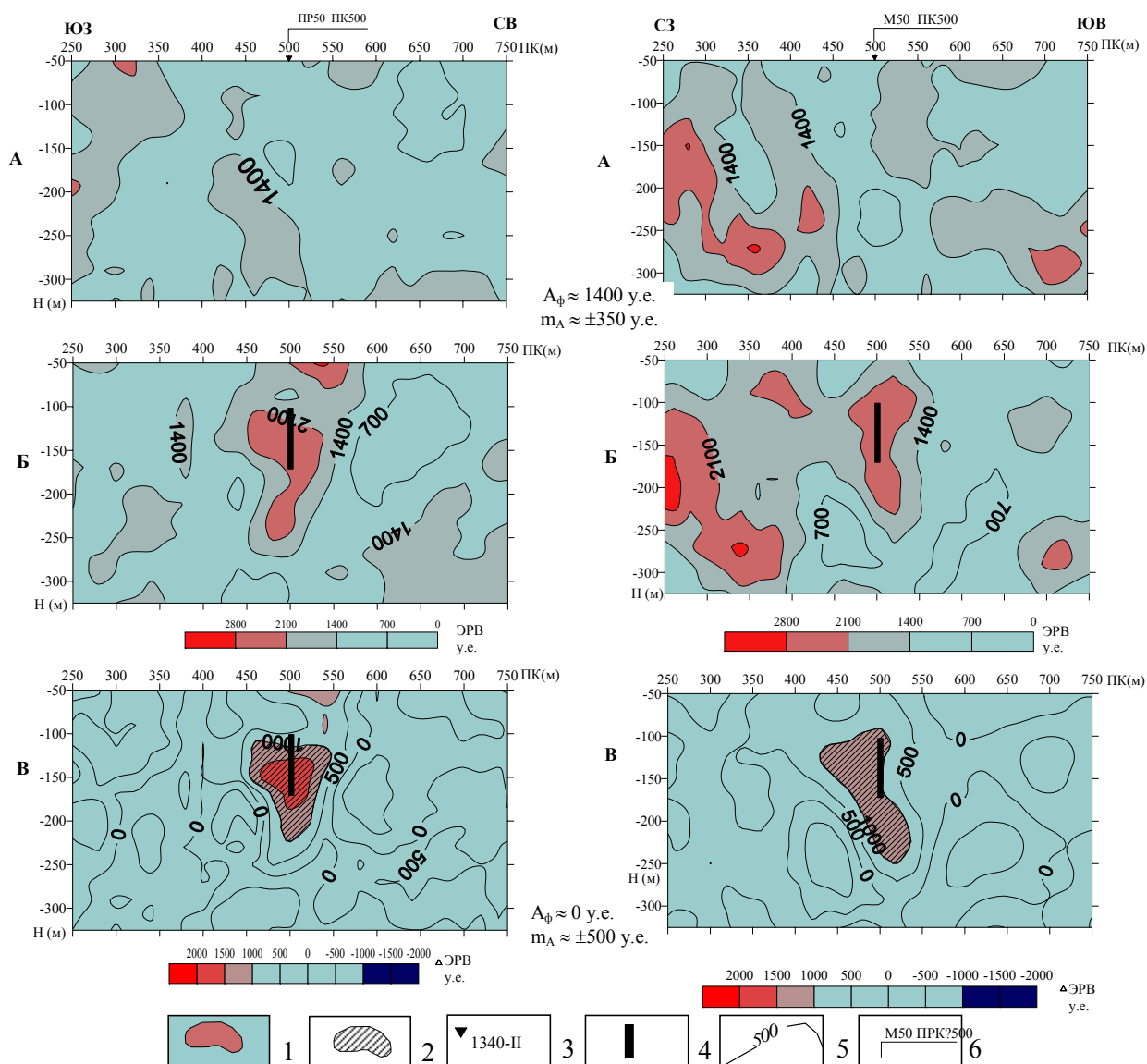
Расстояние между пунктами возбуждения вдоль каждой линии составляло 20 м. Возбуждение упругих колебаний осуществлялось невзрывным источником («падающий груз») с освобождаемой энергией порядка 12 Кдж). Упругие колебания принимались вертикаль-

ными сейсмоприемниками типа DF-8, имевшими площадную расстановку с центром в районе скважины 1340-II. Шаг съемки 10 м, регистрация проведена цифровой сеймостанцией с накоплением воздействий. Достаточное соотношение сигнал-помеха поля энергии рассеянных волн при выявлении ослабленной зоны, вызванной взрывом в скважине 1340-II, обеспечено возбуждением и приемом упругих колебаний с четырех попарно симметричных и ортогональных между собой направлений при общей кратности суммирования не менее 240.

Предварительная обработка данных включала процедуры, имевшие целью повышение соотношения сигнал-помеха исходных записей путем снижения интенсивности регулярных помех (поверхностных, отраженно-рефрагированных различной кратности продольных и обменных волн), подбор оптимальных параметров суммирования по общей точке дифракции для более надежного выделения областей интенсивной трещиноватости, вызванных взрывом. Суммирование выполнялось с использованием специальной программы (ИГИ НЯЦ РК) и значений скоростных параметров разреза, полученных по данным сейсмокаротажа аппаратурной скважины (в 9 м от скв. 1340-II).

Конечные результаты обработки полевых данных представлены на рисунке 10 в виде вертикальных разрезов полей энергии рассеянных волн (ЭРВ) по двум ортогональным профилям (М50 и ПР50).

В соответствии с данными статистического анализа рассчитанных значений ЭРВ, при средней амплитуде их в нормальном поле порядка 1400 у.е. и среднеквадратичном отклонении порядка ± 350 у.е., выделение контуров зоны максимальной трещиноватости, вызванной взрывом, с вероятностью не менее 95% обеспечивается по изолинии 2100 у.е. Аналогичный анализ, выполненный для полей приращений ЭРВ (разности значений в одноименных точках разрезов по профилям до и после взрыва) свидетельствует, что контуры вновь образовавшегося объекта, с вероятностью не менее 95 %, выделяются по изолинии $\Delta \text{ЭРВ} = 1000$ у.е. Сравнительный анализ распределения энергии рассеянных волн по приведенным профилям свидетельствует о существенной неоднородности изучаемого разреза по этому параметру. При отсутствии значимых рассеивающих (дифрагирующих) объектов в сечении по профилю М50, отмечается наличие таковых на северо-западном фланге ПР50 в интервале глубин 110-300 метров, которые по данным наблюдений до взрыва, в совокупности представляют собой крутопадающую в юго-восточном направлении, возможно, тектонически ослабленную структуру. Наиболее яркие ее фрагменты отметились и по данным наблюдений после взрыва. Характерной особенностью полей ЭРВ в районе скважины 1340-II по обоим профилям является отсутствие значимых аномальных значений этого параметра, превышающих двойное среднеквадратическое отклонение от фона.



1 - значения ЭРВ, превышающие удвоенное средноквадратическое отклонение (m_A) от фонового значения (A_Φ); 2 – контур зоны интенсивной поствзрывной трещиноватости, выделенный по приращению значений ЭРВ; 3 – устье скважины 1340-II; 4 – место заложения заряда ВВ; 5 – изолинии энергии рассеянных волн; 6 – точка пересечения профилей М50 и ПР50 (рисунок 10); А, Б – поля ЭРВ до (А) и после (Б) взрыва, В – разностное поле ЭРВ (Б-А)

Рисунок 11. Вертикальные разрезы поля энергии рассеянных волн (ЭРВ)

Качественно иная картина распределения ЭРВ в районе скважины получена по наблюдениям после взрыва. В обоих сечениях в интервале глубин от 70 до 260 метров однозначно выделяется субвертикальная зона, характеризующаяся значениями ЭРВ, превышающими 2100 у.е., и интерпретируемая как область максимальной трещиноватости, образованной механическим воздействием взрыва. Максимальная горизонтальная мощность выделенной зоны, оцененная по конфигурации изолиний энергии (2100 у.е.) и приращения энергии (1000 у.е.), не превышает 100 метров. Радиальных линейно вытянутых ослабленных структур, сопряженных с основной зоной трещиноватости, по полученным данным не установлено. Это связано, возможно, с недостаточным соотношением сигнал-помеха, для однозначного диагностирования таких объектов. Другой причиной могли быть особенности механического воздействия взрыва, произведенного практически без упорки удли-

ненного заряда, что не способствовало интенсивному разрушению горных пород в близгоризонтальных направлениях. При этом, радиальные структуры с перепадом акустической жесткости относительно вмещающей среды, необходимым для переизлучения упругих колебаний, могли и не сформироваться. Достоверность выделенной локальной поствзрывной структуры на фоне случайных и регулярных шумов наглядно иллюстрируется отсутствием значимых положительных приращений ЭРВ за пределами выделенной зоны по обоим профилям.

В целом из проведенных исследований МДРВ следует:

1) для физико-геологических условий площадки Балапан установлена высокая информативность рассеивающих (дифрагирующих) свойств геологической среды при выявлении в ней основной зоны трещиноватости, обусловленной подземным взрывом;

2) примененная технология полевых наблюдений и обработки данных обеспечили соотношение сигнал-помеха, необходимое для определения пространственного положения и геометрических характеристик зоны трещиноватости, обусловленной взрывом даже несоизмеримо меньшей мощности, чем ПЯВ;

3) дальнейшие исследования следует ориентировать на развитие технологии полевых наблюдений и совершенствование обрабатывающего ПМО для решения более тонких задач, таких как картирование естественной структурно-тектонической обстановки, а также слабопроявленных поствзрывных радиальных зон трещиноватости, как правило, имеющих место при подземных взрывах, и требующих большего соотношения сигнал-помеха.

МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Экспериментальная отработка технологии картирования магнитного поля методом пешеходной магнитометрии [14, 15]

Проведены измерения модуля полного вектора магнитной индукции Земли в эпицентральной зоне взрыва для опробования нового магнитометра POS-1, разработанного Уральским государственным техническим университетом – Уральским политехническим институтом (УГТУ-УПИ, г. Екатеринбург, Россия) совместно с РФЯЦ-ВНИИТФ для целей Инспекции на месте. Кроме этого, отрабатывалась методика для картирования магнитного поля на поисковом этапе Инспекции на месте. Основная особенность измерений состояла в том, что измерения проводились без предварительной разбивки топосети на местности, с использованием навигационного прибора в системе глобального позиционирования (GPS). Для этого на изучаемом участке были выбраны начальные угловые точки площадок, устанавливающие их границы. Для площади 300х300 м² эта точка бралась примерно на 212 м северо-западнее от эпицентра взрыва, для площади 100х100 м² на расстоянии 70 м в том же направлении. От этих точек в северо-восточном направлении с помощью GPS были проложены "магистрали" протяженностью 300 м (для площади 300х300 м²) и протяженностью 100 м (для площади 100х100 м²). При прокладывании "магистралей" с помощью GPS отмечались точки с географическими координатами, которые вводились в память GPS. Точки отмечались с шагом 10 м для пло-

щади 100х100 м² и с шагом 20 м для площади 300х300 м². После прокладки "магистрали" с северо-западной стороны эпицентра взрыва, таким же способом были проложены "магистрали" с юго-восточной стороны скважины. В GPS был введен маршрут, по которому проводились измерения. Маршрут движения во время измерений представлял собой последовательный проход от "магистрали" к "магистрали", от точки к точке. Во время измерений магнитометр работал в режиме автоматических непрерывных измерений через каждые 5 сек на площади 100х100 м² и через каждые 3 сек на площади 300х300 м². Кроме этого, во время движения по маршруту делались остановки, проводились повторные и многократные измерения, когда наблюдалось значительное изменение измеряемого поля. Высота измерений (положение датчика – магнитного индукционного преобразователя) составляла 1.8 – 2 м.

Модуль полного вектора магнитной индукции Земли - $T_{изм}$ на площадях измерялся магнитометром POS-1. Основные технические характеристики магнитометра приедены в таблице 3 (графа 3). Измерения дневных вариаций модуля полного вектора магнитной индукции производились магнитометром MM-61 (Казгеофизприбор). Его основные технические характеристики приведены в таблиц 3 (графа 4).

Обработка измерений заключалась в вычислении аномальных значений - ΔT по формуле: $\Delta T_{(i)} = T_{изм(i,j)} - T_{мвс(j)}$, где: $\Delta T_{(i)}$ – аномальное значение модуля полного вектора магнитной индукции в i точке измерения по результатам вычисления; $T_{изм(i,j)}$ – измеренное значение модуля полного вектора магнитной индукции в i точке измерения в j момент времени; $T_{мвс(j)}$ – измеренное значение модуля полного вектора магнитной индукции магнитовариационной станции (МВС) в j момент времени. Значения $T_{мвс(j)}$ являются расчетными (результат интерполяции полиномами 2-3 степени измеренных значений магнито-вариационной станции. При обработке измеренных значений определялось среднее значение ΔT (для двух и более кратных измерений). В ходе обработки делалась "отбраковка" сомнительных значений $T_{изм}$, вызванных ошибками оператора, или сбоями аппаратуры (такие значения не использовались в расчетах ΔT).

Таблица 3. Основные технические характеристики магнитометров POS-1, MM-61

Перечень	Характеристика	
	POS-1 (УГТУ-УПИ) – (РФЯЦ-ВНИИТФ)	MM- 61 Казгеофизприбор
Тип магнитометра	Протонный (на эффекте Оверхаузера), с датчиком на стабильном веществе	Протонный (на эффекте Оверхаузера), с датчиком на стабильном веществе
Диапазон измерений, нТл	20000 – 100000	20000 – 100000
Чувствительность (СКО, цикл 0,5/ 3 сек), нТл	0,15/0,01	0,1
Абсолютная погрешность/ Воспроизводимость, нТл	0,5/0,1	
Градиентоустойчивость, нТл/м, не менее	20000	5500
Цикличность измерений, сек.	0,5; 1,0; 2,0; 3,0...	3,0, 4,0, 5,0, 6,0...
Температурный диапазон, °С	-30/+600	
Вес с накопителем данных, кг	3,3	
Средняя потребляемая мощность, Вт	~ 2,5	~ 2 Вт.
Время стабильности рабочего вещества, лет	10	
Объем данных во флеш-памяти (для вариационной станции/для площадной съемки), измерений	250000/80000	

По результатам обработки измерений модуля полного вектора магнитной индукции Земли выявлен ряд аномалий. Аномалия в эпицентральной зоне взрыва имеет область положительных и отрицательных значений (рисунок 12). Положительная часть аномалии характеризуется амплитудой, равной 22728 нТл (по результатам измерений на площади $100 \times 100 \text{ м}^2$). Аномалия высокоградиентная (максимальный градиент $\sim 8200 \text{ нТл/м}$). Максимум аномалии соответствует устью т.н. «аппаратурной» скважины. Область положительных значений аномалии смещена к югу от эпицентра взрыва и от аппаратурной скважины. Размер области положительных значений ΔT составляет примерно $150 \times 150 \text{ м}^2$. Над

эпицентром взрыва прослеживается увеличение положительных значений аномалии, максимум составляет 5451 нТл (рисунок 126). Область отрицательных значений ΔT смещена на север от эпицентра взрыва и от аппаратурной скважины. Минимальное значение в области отрицательных значений аномалии равно -1237 нТл . Минимум аномалии расположен севернее эпицентра взрыва, примерно, на расстоянии 11 м. Границы области отрицательной аномалии выходят за пределы площади измерений. По уровню, равному (-30 нТл) , размер отрицательной аномалии составляет примерно 200 м в направлении запад-восток и 100 м в направлении юг-север.

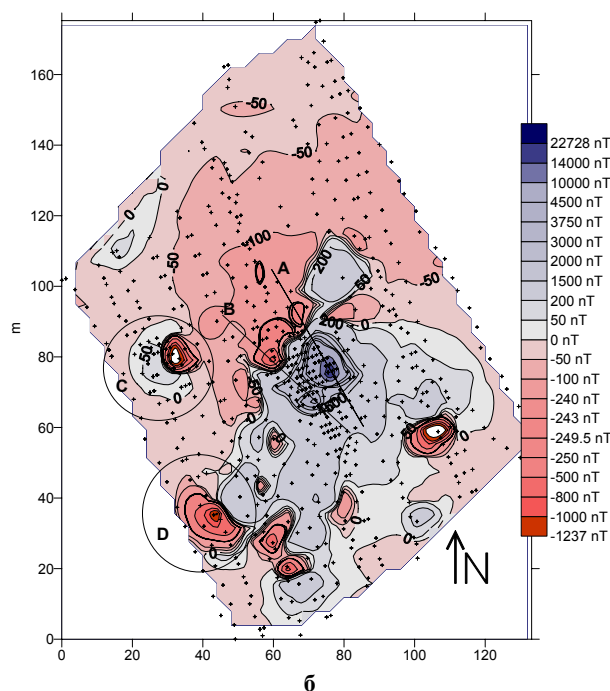
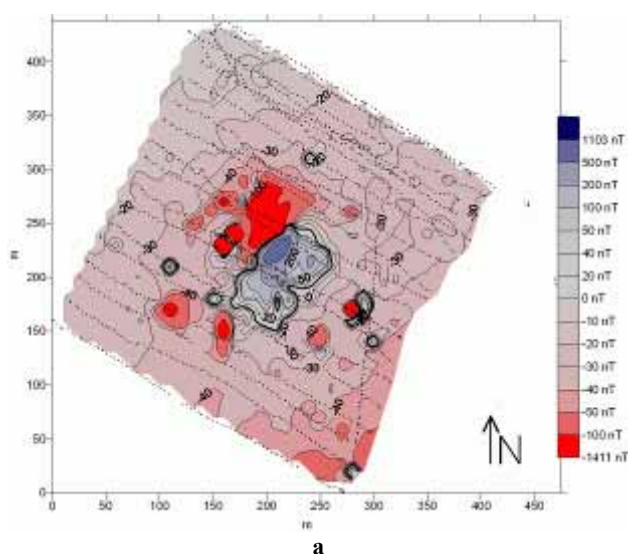


Рисунок 12. План изодинам ΔT по результатам измерений на площадках: а - $300 \times 300 \text{ м}^2$ б - $100 \times 100 \text{ м}^2$

На изученной площади выявлены также многочисленные аномалии меньшей амплитуды и меньшего размера. Большая часть этих аномалий связана с металлическими предметами, закопанными трубами. Положение таких объектов определено с помощью GPS, что, позволило произвести дополнительную "отбраковку" измеренных значений, связанных с искажающими факторами (рисунок 13). Из предшествующего опыта работ на объектах проведения подземных ядерных взрывов можно заключить, что источник магнитной аномалии, связанный с обсадной колонной, в частности, с обсадной колонной аппаратурной скважины, обладает высокой намагниченностью, небольшими размерами сечения, с приповерхностной верхней границей (положительная часть аномалии большой амплитуды с высоким градиентом и незначительная по площади). По выявленной отрицательной части аномалии можно заключить, что нижняя граница источника заглублена (область отрицательных значений более обширна по площади, значительно меньше по амплитуде, чем положительная).

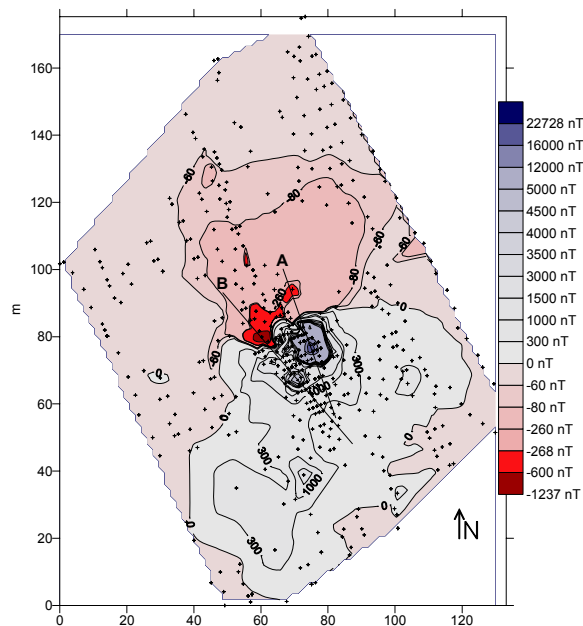


Рисунок 13. План изодинам ΔT на площади $100 \times 100 \text{ м}^2$ после "отбраковки" результатов измерений

После проведения взрыва в скважине 1340-II обсадная колонна, выброшенная из ствола скважины, была разрезана и закопана в послевзрывной воронке. В эпицентре взрыва прослеживается увеличение аномального поля до 5451 нТл. Несмотря на то, что основной вклад в аномалию вносит обсадная колонна аппаратурной скважины, аномалию можно интерпретировать как наложение двух аномалий (рисунок 12б). Первая из них - аномалия от трубы с косым намагничиванием (минимум равен -606 нТл, максимум равен 22728 нТл, расположение на оси А, расстояние между экстремумами порядка 12 м). Вторая аномалия дипольного характера - от закопанного металла в послевзрывной воронке с косым намагничиванием (минимум равен -1237 нТл, максимум равен 5451 нТл, расположение на оси В, расстояние между экстремумами порядка 11 м). Определить глубину нижней границы колонны не представилось возможным, т.к. не выявлены границы области отрицательных значений. Поэтому площадь обследования должна быть расширена до размеров не менее чем 500×500 м². Кроме того, при оценке залегания нижней границы колонны, следует учитывать эффект взаимного перемангничивания, для чего может быть применено математическое моделирование (численное решение) для диполя и трубы (программа MAG-3D Института геофизики УрО РАН).

Результаты проведенных исследований показали, что применение магнитометра POS-1 совместно с системой GPS на поисковом этапе Инспекции на месте позволяет проводить измерения модуля полного вектора магнитной индукции Земли без предварительной разбивки топосети на местности, что существенно снижает трудоемкость измерений и повышает производительность измерений. Так, про-

должительность измерений на площади 300×300 м² составила 2 часа. Измерения на площади 1000×1000 м², по оценкам, может занять не более 5 часов. Магнитометр POS-1 подтвердил свою градиентоустойчивость и способность работать в высокоградиентных полях (максимальный выявленный градиент составил 8200 нТл/м). Однако при работах на этапе локализации, для получения более достоверных результатов, измерения предпочтительно проводить по равномерной топосети с шагом 1-5 м при многократных повторных измерениях на каждом пикете в высокоградиентной зоне.

Таким образом, применение технологии картирования магнитного поля может быть эффективным в поиске таких артефактов ПЯВ, как стальные обсадные колонны скважин, или другие ферромагнитные металлические предметы-конструкции, которые сопутствуют проведению ПЯВ. Применение в данной технологии современного магнитометра POS-1, обладающего высокой градиентоустойчивостью и совмещенного с GPS, повышают её эффективность в решении задач инспекции.

Магнитометрия (картирование магнитного поля) [11, 12]

Магнитная съёмка проводилась в три этапа: 1) на площади 1000×1000 м² по сети 20×20 м с целью выделения всех техногенных объектов; 2) на площади 100×100 м² по сети 5×5 м с целью увеличения детальности съёмки; 3) на площади 50×50 м² по сети 1×1 м, для детального измерения интенсивности магнитных аномалий, ее формы и границ с точностью, соответствующей половине шага измерений.

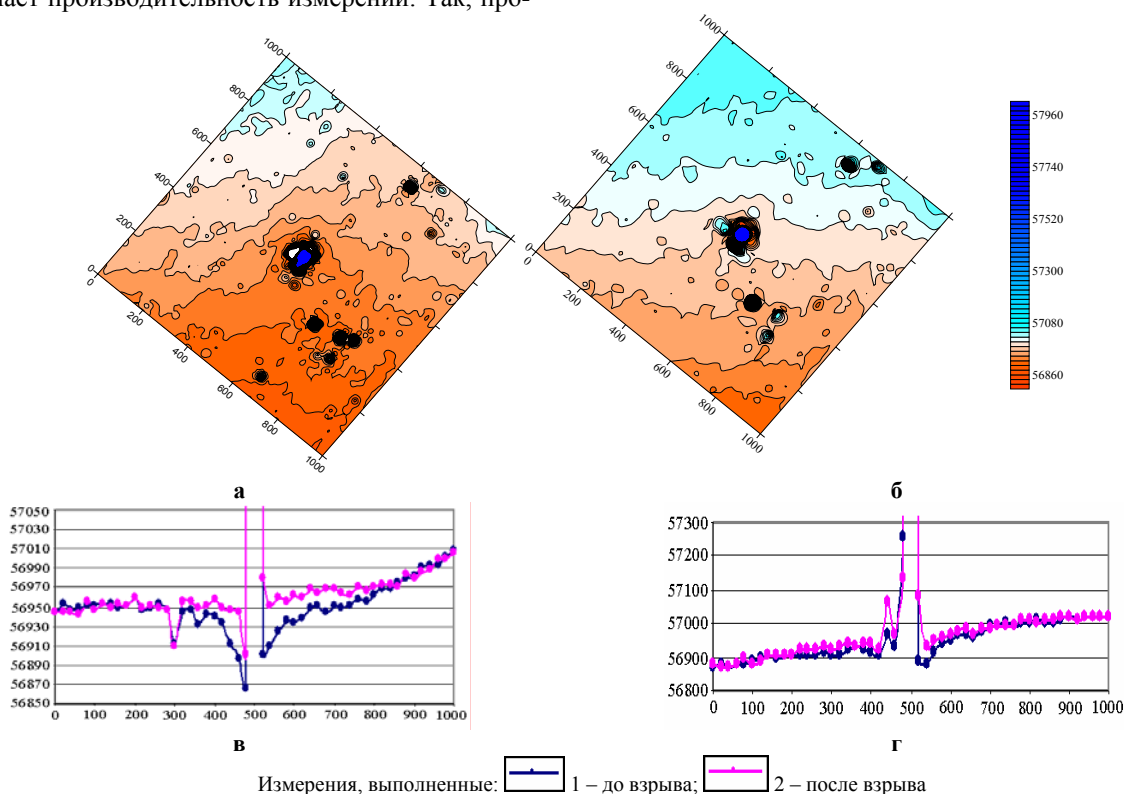


Рисунок 14. Планы изодинам ΔT по результатам съёмки до (а) и после (б) взрыва на участке 1000х1000 м² и графики ΔT до и после взрыва по профилям с юга на север (в), с востока на запад (г)

На рисунках 14, 15 приведены результаты съемки до и после взрыва на площади $1000 \times 1000 \text{ м}^2$ в виде изодинам ΔT и по двум профилям через центр площадки (с юга на север и с востока на запад) в виде графиков ΔT . Из сравнения результатов магнитометрии следует, что аномалия, связанная с влиянием обсадных труб скважины после взрыва (рисунок 14а) уменьшилась. Это может быть связано, как отмечено выше, с разрушением обсадной колонны одной из скважин.

Результаты магнитометрической съемки на площадке $100 \times 100 \text{ м}^2$ представлены на рисунке 15. По картам изодинам до и после взрыва отчетливо видно изменение формы аномалий магнитного поля в месте проведения взрыва, тогда как в месте расположения аппаратурной скважины изменений не отмечается. Отрицательная часть аномалии в эпицентре взрыва уменьшилась, что, как сказано выше, связано с уменьшением размеров обсадной колонны боевой скважины из-за разрушения.

Результаты магнитометрии, проведенной на площадке $50 \times 50 \text{ м}^2$, более детально отображают изменение полного вектора магнитной индукции Земли. В частности, - изменение интенсивности и полярности аномалии, создаваемой боевой скважиной, в то время как форма аномалии, создаваемая приборной скважиной, не изменилась (рисунок 16). Из этого можно сделать вывод, что на изменение маг-

нитного поля в районе проведения взрыва в меньшей степени влияет дезинтеграция горных пород в месте взрыва. В большей степени на изменении магнитного поля отражается состояние обсадных колонн скважины и эффекты, возникающие в скважине вследствие термодинамического воздействия.

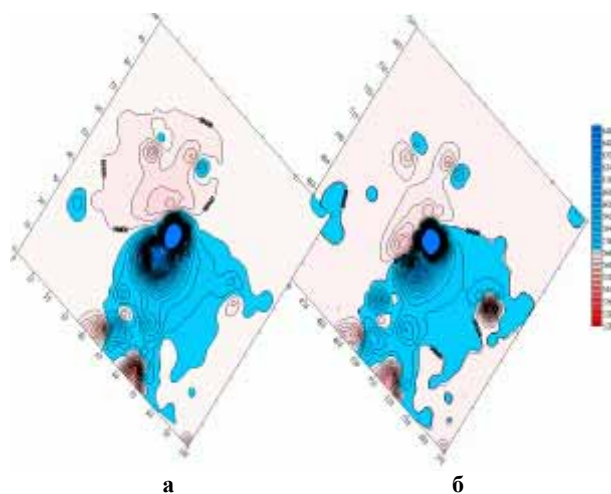


Рисунок 15. Результаты магнитной съемки до (а) и после (б) взрыва по площадке $100 \times 100 \text{ м}^2$

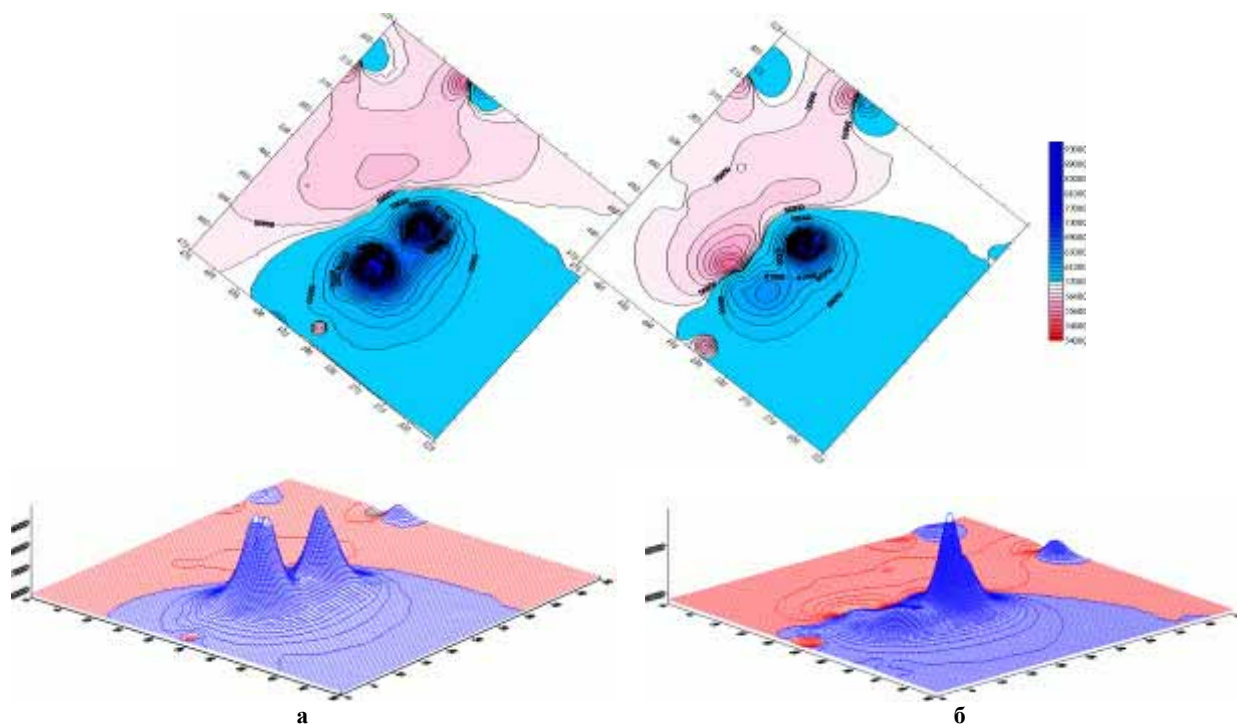


Рисунок 16. Результаты магнитной съемки до (а) и после (б) взрыва по площадке $50 \times 50 \text{ м}^2$

Каппаметрия [13]

Съемки выполнены до и после взрыва в пределах площадки размером $1000 \times 1000 \text{ м}^2$ по сети $20 \times 20 \text{ м}$. До взрыва значения магнитной восприимчивости, превышающие средний фон, имеют относительно небольшое распространение и аномалии образуют це-

почку, вытянутую в направлении восток – запад (рисунок 17а). После динамического воздействия взрыва на горные породы, аномальные значения имеют большее распространение в пределах изучаемой площади и располагаются спорадически (рисунок 17б).

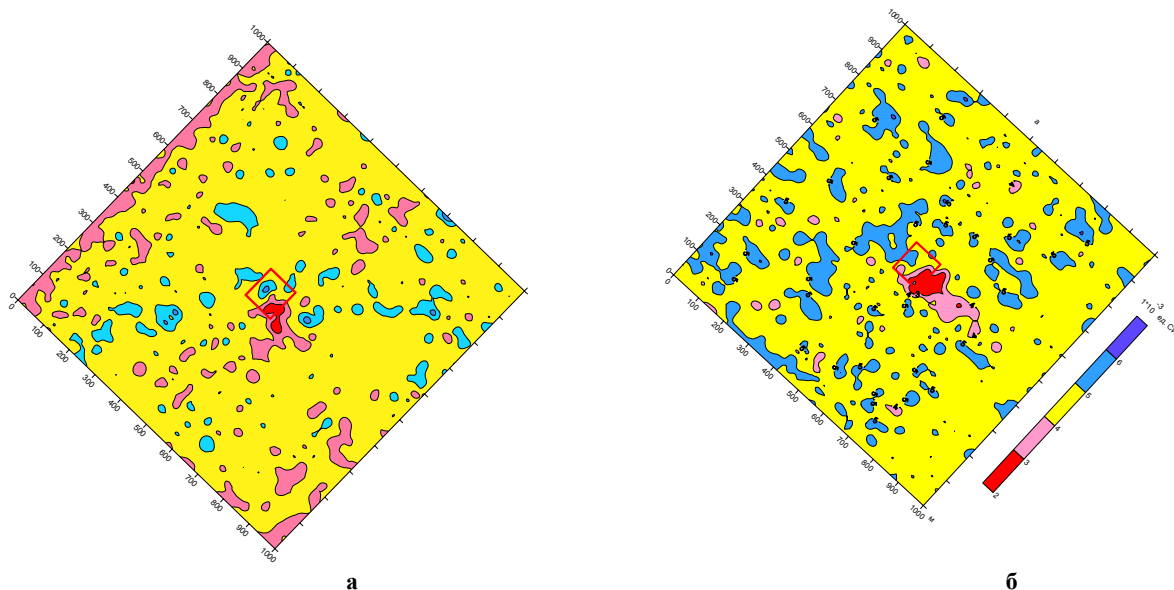


Рисунок 17. Измеренные значения магнитной восприимчивости до (а) и после (б) взрыва

Подобное изменение магнитной восприимчивости рыхлых образований может быть связано с насыщением приповерхностного слоя газами и парами металлов в процессе динамического воздействия на него взрыва. Однако из-за недостатка материалов, утверждать это невозможно. Наряду с механическим воздействием взрыва на среду, в месте проведения эксперимента произошел водогрязевой выброс на высоту около 100 м. Выброс был рассеян ветром юго-восточного направления. Полоса выпадения водогрязевого раствора хорошо просматривается на площадке $1000 \times 1000 \text{ м}^2$, имея магнитную восприимчивость в пределах $2 - 3 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, меньшую относительно окружающих пород (рисунок 17б). В литературе встречается описание изменений магнитной восприимчивости горных пород под воздействием температуры порядка 200 - 400°C от 20 до 170 раз [13]. Явления, связанные с увеличением магнитной восприимчивости горных пород, могут возникать и при проведении подземных ядерных взрывов. Поэтому следует использовать подход, приведенный в [13], как предпосылку для специальных работ по изучению магнитной восприимчивости горных пород в месте проведения подземного ядерного взрыва в связи с задачами ИНМ.

РТУТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД [16-21]

Ртутометрические исследования, сопровождаемые отбором литохимических проб по сети $40 \times 40 \text{ м}$ с глубины 20 см, проведены в районе скв. 1340-II на площади $1000 \times 1000 \text{ м}^2$. Отбор проб проведен до и после взрыва по одним и тем же пикетам с последующим их анализом на валовое содержание ртути. В качестве измерительного устройства использовался метрологически поверенный газортутный анализатор АГП-01 (Екатеринбургский завод геофизической аппаратуры). Анализ проб выполнен методом химического разложения: каждая проба навеской 2 г растворялась в концентрированной чистой азотной кислоте; в раствор добавлялся восстановитель (двухлористое олово $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), выделенные при

реакции холодные пары ртути подавались в измерительное устройство, где измерялась их концентрация. Калибровка анализатора проводилась с помощью жидких ГСО-8004-93 (ГУП, г. Санкт-Петербург) с содержанием ртути 1 мг/см^3 , из которых затем готовились рабочие СО путем последовательного разбавления ГСО в дистиллированной воде до конечной концентрации 1 нг/см^3 . Точность анализа оценивалась среднеквадратическим отклонением случайной составляющей, которая не превышала 20%, при допустимой - 30%.

На рисунке 18а показано распределение ртути в почво-грунтах до проведения взрыва. Это мозаично-пятнистая структура с размахом содержаний от 1.1 до $2.4 \cdot 10^{-6}\%$. При этом, максимальные значения содержания ртути занимают большую часть изученного участка и приурочены к местам с наиболее развитой травянистой растительностью, т.е., почвам с наибольшим количеством органического вещества. Минимальные значения содержания ртути приурочены к сухостойным степным ландшафтам, в которых мелкозем подвергся наиболее интенсивной дефляции под воздействием ветровой эрозии. Средние содержания ртути в основных типах почв относительно общего геохимического фона ($1.6 \cdot 10^{-6}$ вес%) статистически значимо не различаются, что является следствием отсутствия четкой связи с петрохимическим составом почвообразующих пород. Отмеченная тенденция к накоплению ртути в верхнем почвенном горизонте, который является главной депонирующей средой, указывает на то, что загрязнения поверхности до взрыва происходило, главным образом, за счет региональных атмосферных выпадений [18].

Отсутствие аномалий пониженных содержаний ртути ниже уровня $1 \cdot 10^{-6}$ вес%, характерных для зон прорыва ядерных высокотемпературных газовых флюидов, свидетельствует о том, что горные породы на рассматриваемом участке до проведения взрыва не подверглись термическому воздействию. На рисунке 18б показано распределение ртути после хи-

мического взрыва. Существенных изменений характер поля не претерпел, за исключением того, что на общем геохимическом поле образовалось шесть аномалий пониженных содержаний ртути - на уровне $0.8-0.9 \cdot 10^{-6}$ вес%. Четыре аномалии сгруппированы в отдельную полукольцевую структуру протяженностью 400 м в восточном направлении от скв. 1340-II, две другие расположены на таком же расстоянии от скважины в юго-западном направлении. Можно полагать, что выявленные аномалии являются фрагментами слабопроявленной тепловой анома-

лии, связанной с произведенным взрывом. Слабое проявление на поверхности аномалий пониженных содержаний ртути обусловлено, прежде всего, тем, что подземный взрыв был маломощным и, в отсутствии забивочного комплекса в скважине, взрыв не был камуфлетным. В результате, основная масса образовавшегося в полости высокотемпературного газа была выброшена вместе с грязеводным образованием в атмосферу. Кроме того, температуру газа снизило высокое содержание воды в смеси.

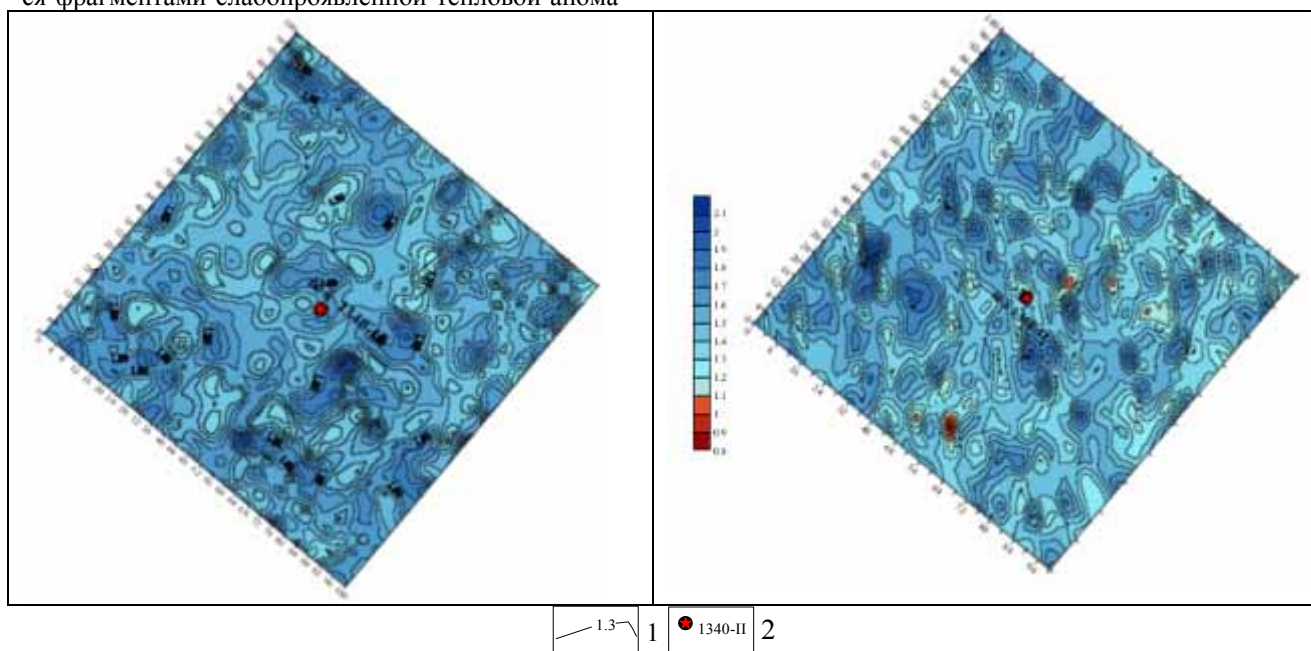


Рисунок 18. Распределение содержания ртути в почвогрунтах на глубине 0-20 см в районе скв. 1340-II до (а) и после (б) взрыва ($n \cdot 10^{-6}$ вес %)

В [19, 20] описаны слабые аномалии, характерные для подземных взрывов малых энергий. Они имеют небольшие площадные размеры и интенсивность и представляют собой разрозненные пятна произвольной конфигурации. Вывод в полной мере согласуется с расчетными данными давления газов в зарядной скважине в сравнении с аналогичным взрывом "Рейнер" мощностью 1.7 кт тротилового эквивалента [21].

Таким образом, полученная оценка термодинамических проявлений на поверхности в виде аномалий пониженного содержания ртути дает основание сделать вывод о наличии предельного энергетического потенциала малых по мощности подземных взрывов. В этой связи следует разработать и обосновать энергетическую шкалу воздействия взрывов на геологическую среду для ее использования при решении задачи выявления мест проведения несанкционированных испытаний ядерного оружия.

В целом по данным ртутиметрии может быть сделан вывод, что ртуть, благодаря чрезвычайно широкому распространению в горных породах и своим уникальным физико-химическим свойствам, должна рассматриваться как один из наиболее информативных геохимических индикаторов при решении задач Инспекции на месте.

ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Для проведения гравиметрии в районе скважины 1340-II были разбиты две квадратные регулярные сети пунктов наблюдения, при этом скважина располагалась в центре обеих сетей. Погрешность определения высот пунктов наблюдения составила $\pm 0,5$ см, погрешность плановой привязки находилась в пределах $\pm 0,5$ м. Сеть размером 1000×1000 м², разбита с шагом 40 м, сеть размером 100×100 м² разбита с шагом 10 м.

Измерения проводились по стандартной методике гравиметром CG-3M (SCINTREX, Канада). Обработка результатов измерений выполнена с использованием программ, написанных на языке Matlab. По измеренному значению вертикального градиента поля силы тяжести вычислены значения отклонения от среднего значения плотности горных пород промежуточного слоя под каждой точкой наблюдения. Аномалии Буге определялись по формуле:

$$\Delta g_{Bi} = g_i + W_{zz} \cdot h_i - 2 \cdot \pi \cdot G \cdot \delta_{срст} \cdot h_i,$$

где: g_i – измеренное значение ускорения силы тяжести, мГал; $W_{zz} = 0,3086$ – величина нормального вертикального градиента силы тяжести, мГал/м; h_i – высота точки наблюдения, отсчитываемая от некоторого условного уровня, м; $G = 6,67 \cdot 10^{-3}$ – гравитацион-

ная постоянная, $\text{см}^3/(\text{г}\cdot\text{с}^2)$, $2 \cdot \pi \cdot G = 0,0419$; $\delta_{\text{срст}}$ – средняя плотность промежуточного слоя, $\text{г}/\text{см}^3$.

До появления высокоточного автоматизированного гравиметра измерение вертикального градиента поля силы тяжести было сопряжено со значительными трудностями – требовалась установка на пункте наблюдения подставки высотой не менее 2 м. Погрешности при таких измерениях очень высоки из-за неизбежных помех – вибраций от ветра, движений оператора. Гравитационные измерения, выполняемые посредством гравиметра CG-3M "Autograv" при погрешности $\pm 0,005$ мГал, позволяют зарегистрировать изменение силы тяжести при смещении гравиметра по вертикали от двух сантиметров и более. В нашем случае высота промежу-

точной подставки была равна 1,018 м, что вполне достаточно для измерения вертикального градиента. Отсутствие механических воздействий оператора на гравиметр во время измерения (оператор не касается корпуса гравиметра) повышает вероятность получения достаточно точных измерений.

Карта вычисленных значений отклонений плотности пород от средней плотности упрощает интерпретацию гравитационных аномалий, так как обычно карта гравитационного поля имеет сложный рельеф из-за того, что содержит региональную составляющую, маскирующую саму гравитационную аномалию. На рисунке 19 приведены результаты наблюдения гравитационного поля до (рисунок 19а) и после (рисунок 19б) взрыва.

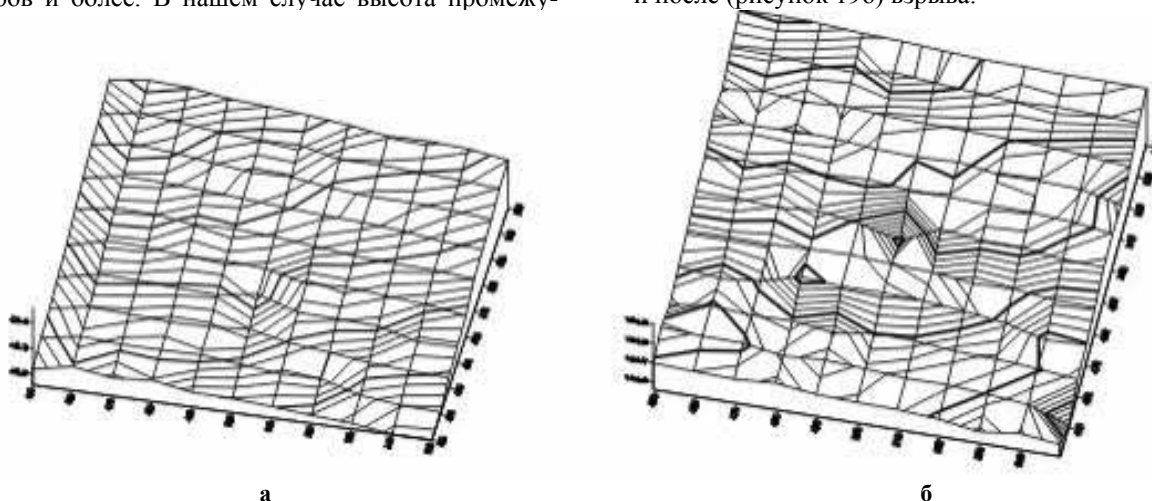


Рисунок 19. Результаты гравиметрических наблюдений до (а) и после (б) взрыва

Для обработки результатов гравитационных наблюдений применена новая методика – квазиградиентная гравиметрия (Гвоздарев Ю.К.). Методика статистическая, итерационная, позволяет разложить гравитационное поле на нормальную и аномальную составляющие. Для каждого пункта наблюдения вычисляется вертикальный градиент поля не в воздухе, как это принято в обычной гравиметрии, а в толще земли и, поскольку получаемые значения градиента гравитационного поля напрямую измерить нельзя, они названы квазиградиентными. По своему значению квазиградиент отличается от нормального градиента, используемого для вычисления поправки Фая, и может иметь знак, противоположный нормальному градиенту. Вычисленные значения градиента используют для приведения измеренного гравитационного поля к избираемым уровням без применения такого понятия, как плотность промежуточного слоя, используемого при вычислении поправки Буге. В процессе разложения поля производится также отбраковка информации, не связанной с изучаемыми неоднородностями. Методика позволяет в пределах одного крупного шага итерации, в частной итерации, переносить значения из одной составляющей в другую и добиваться линейной зависимости нормальной составляющей (поля условно однородной среды) от рельефа. По дости-

жении такой зависимости нормальная составляющая вычитается из модифицируемых измеренных значений гравитационного поля. Программа обработки, реализующая квазиградиентную методику, написана на языке Matlab, работает в диалоговом режиме, решение об уточнениях составляющих и модификации значений поля принимает оператор. Использование методики показало, что ценную информацию содержат в себе обе составляющие. С каждой итерацией достигается все большая детализация полей. Нормальная составляющая поля после нескольких итераций отражает тонкие неоднородности, которые по аномальной составляющей могут быть не обнаружены. По крайней мере, нарушения однородности горных породы заметны лучше в поле, построенном по нормальной составляющей. Каждая итерация открывает разные детали. Возможно, для более полной интерпретации данных в сложных случаях необходимо построение результатов для разных уровней приведения и на разных стадиях уточнения.

На рисунке 20 приведена картина гравиметрического поля после взрыва, построенная как результат обработки данных по квазиградиентной методике для двух уровней приведения – 5 и 120 м. На рисунке 20 б, г показана нормальная составляющая гравитационного поля, на рисунке 20 а, в – аномальная составляющая.

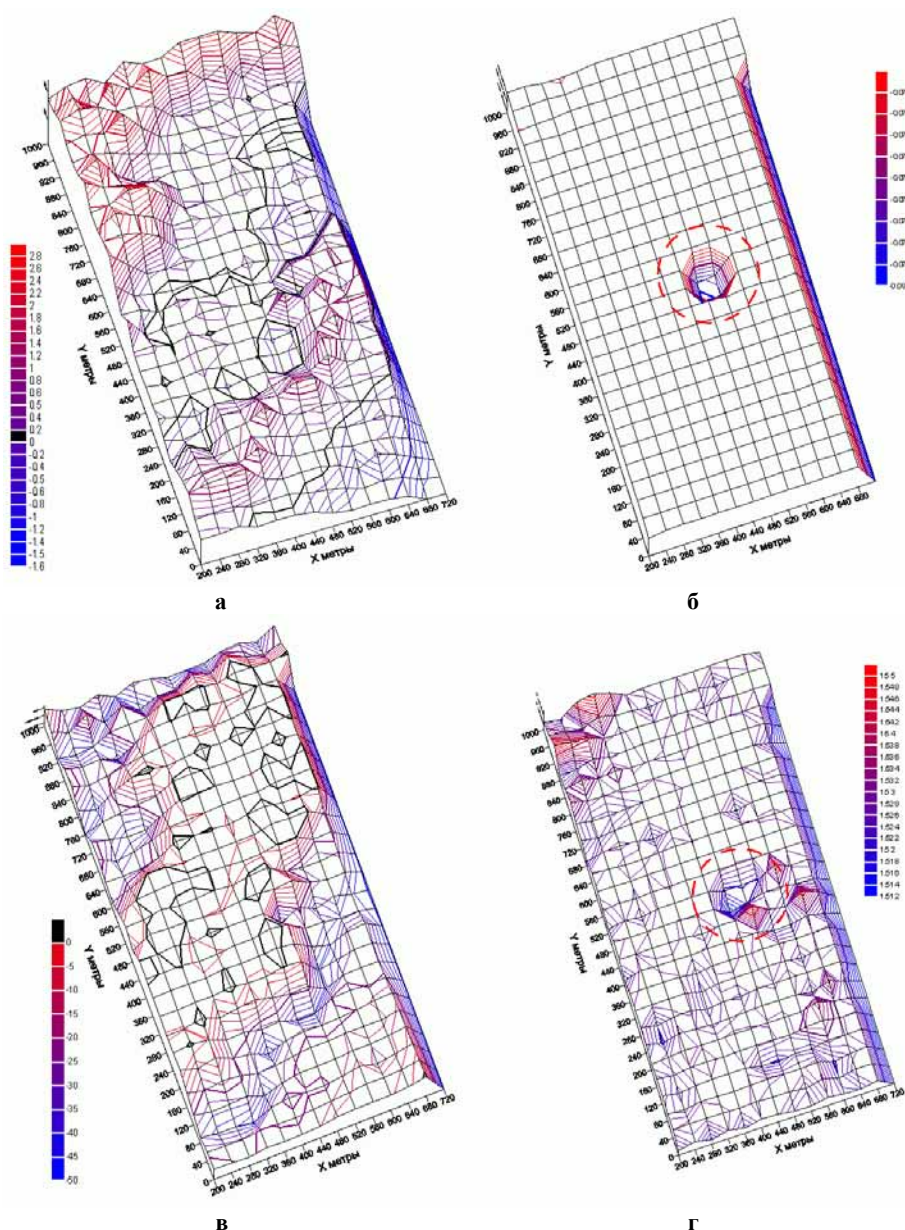


Рисунок 20. Результаты обработки гравиметрических данных, полученных после взрыва, по квазиградиентной методике. Уровень приведения 5 м: а – аномальные значения; б – нормальные значения. Уровень приведения 120 м: в – аномальные значения; г – нормальные значения

Красным эллипсом на рисунке отмечена аномалия нормальной составляющей гравитационного поля, вызванная уменьшением плотности горных пород под воздействием взрыва на каждом уровне приведения.

В предложенной методике, при расчете вертикального градиента промежуточного слоя используются значения поля, измеренные на реальных пунктах наблюдений, и, следовательно, вертикальный градиент в толще земли в большей мере, чем нормальный, соответствует реальному вертикальному градиенту гравитационного поля для исследуемого участка. Кроме того, разбиение гравитационного поля на нормальную и аномальную составляющие, последующее неоднократное уточнение нормальной составляющей поля, удаление составляющей, уменьшает влияние рельефа и увеличивает контрастность аномалий гравитационного поля. До-

полнительных приспособлений или устройств для проведения полевых измерений, обрабатываемых с использованием методики квазиградиентной гравиметрии, не требуется.

Выводы

Выполненный комплекс работ в рамках Полевого Эксперимента 2002 позволил сделать ряд методических и практических выводов.

1. Из геофизических и геохимических технологий, рекомендуемых Протоколом № 1 к ДВЗЯИ, в рамках Полевого Эксперимента-2002 был опробован метод пассивного мониторинга афтершоков, предусмотренный для начальной стадии ИНМ. В ходе выполнения работ с применением аппаратуры, методов обработки полевых данных и программного обеспечения, отличающихся от используемых в ОДВЗЯИ, получены положительные результаты. Опыт этих

исследований может быть рекомендован к использованию в рамках ИНМ.

2. Технологии последующей фазы ИНМ (активные сейсмические методы, магнитометрия, электрометрия, геохимические методы и т.д.) Протоколом № 1 к ДВЗЯИ детально не определены. Поэтому исполнителями был предложен и реализован описываемый в статье комплекс геофизических и геохимических технологий.

Опробование предлагаемых геофизических и геохимических методов показало перспективность их использования в дальнейших работах. Так, с помощью пассивных сейсмических методов (МОВЗ и РС) удалось выявить куполообразную поверхность откола, приуроченную к подземному калибровочному взрыву. С помощью активных сейсмических методов (МРВ и МДРВ) обнаружены скоростные аномалии, связанные с плотностными изменениями горных пород под воздействием взрыва. Магнитометрические методы показали существенные аномалии, связанные со скважинными металлоконструкциями. Ртутиметрический метод выявил на дневной поверхности зоны аномально пониженных значений ртути, приуроченные к участку проведения подземного химического взрыва.

3. Оценка возможностей создаваемых Международной и Национальной сети стационарных станций

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова Н.Н., Аристова И.Л., Германова Т.И. Годограф сейсмических волн по результатам регистрации сигналов от химических взрывов//Вестник НЯЦ РК, 200. - вып.2. - С. 46 - 54.
2. Пузырев Н.Н., Тригунов А.В., Бродов Л.Ю. и др. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн. – М.: Недра, 1985.
3. Певзнер Л.А., Шапилов В.И., Эренбург М.С. Методика комплексных исследований на продольных, поперечных и обменных волнах при изучении земной коры в Казахстане//Многоволновые сейсмические исследования. – Новосибирск: Наука, 1987. - С 137-141.
4. Ванчугов А.Г., Беляшова Н.Н. и др. Отчёт по теме: «Проведение комплексного геофизического мониторинга территории Казахстана с целью снижения ущерба от стихийных бедствий и антропогенной деятельности». – Курчатов: НЯЦ РК, 1994.
5. Певзнер Л.А., Покидов В.Л., Циммер В.А. Сейсмическое просвечивание сложных сред. – Алма-Ата: Наука, 1984.
6. Спивак А.А.. Изменение структуры и проницаемости геологической среды при подземном ядерном взрыве//Геоэкология, 1997 - № 3. – С. 41-49.
7. Старобинец А.Е.. Выделение и интерпретация дифрагированных и квазидифрагированных волн. – М.: Недра, 1988 .
8. Шапиро С.А., Файзуллин И.С. О затухании сейсмических волн в горных породах как в дискретных рассеивающих средах //Известия АН СССР/ Физика Земли, 1986. - № 9. - С 56-63.
9. Файзуллин И.С., Чиркин И.А. Сейсмоакустические методы изучения трещиноватости горных пород. Геоинформатика. – М.: ВНИИгеосистем, 1998. - № 3.
10. Шалимов Б.П. Использование способов суммирования сейсмических записей при изучении дизъюнктивных нарушений//Геолого-геофизические исследования в Нижнем Поволжье. – Саратов: изд. Саратовского университета, 1973 - С. 167-175.
11. Инструкция по магниторазведке/ М-во геологии СССР. – Л. Недра, 1983- С.263.
12. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика)//Справочник геофизика.- М.: Недра, 1976. - 527 с.
13. Кравченко С.Н., Орлюк М.И., Русаков О.М. Новый подход к интерпретации региональной Западно-Черноморской магнитной аномалии//Геофизический журнал, 2003.- №2, т.2. - С. 135-143.
14. Сагарадзе Д.А., Сахаров Ю.А., Каплан Ю.В. Отчет члена инспекционной группы Сагарадзе Д.А. об участии в международном полевым эксперименте, проведенного в сентябре – октябре 2002 г в Республике Казахстан. - 2002.
15. Сагарадзе Д.А., Антошев В.Г., Сахаров Ю.А., Каплан Ю.В. Экспериментальная отработка технологии картирования магнитного поля методом пешеходной магнитометрии на объектах «Регион-1» и «Регион-2» - Отчет РФЯЦ-ВНИИТФ, Инв. №ПС 00.7906/3. - 2000 .
16. Политиков М.И. и др. О действующей роли теплового потока на геологическую среду при подземных ядерных взрывах//Тезисы докладов Международной конференции "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий". 21-25 августа 2000 г., пос. Боровое, Казахстан. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000.
17. Политиков М.И. и др. Ртутиметрия при решении задач по обеспечению контроля за испытанием Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний//Тезисы докладов Международной конференции "Мониторинг ядерных испытаний и их последствий". 12-16 августа, 2002, пос. Боровое, Казахстан. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002.
18. Краткий справочник по геохимии. - М.: Недра, 1990.

мониторинга позволила сделать вывода, что точность определений координат источника взрыва Международным центром данных для столь малых по мощности взрывов пока еще не удовлетворяет требованиям ДВЗЯИ. Национальной сетью Казахстана взрыв локализован с хорошей точностью, что во многом определено использованием локального годографа, построенного для территории Семипалатинского испытательного полигона и окружающих его областей.

4. В целом опыт работ с использованием комплекса методов показал, что даже столь слабопроявленный с точки зрения ИНМ взрыв (относительно небольшая глубина, небольшая мощность, недостаточная укупорка заряда, неплотные вмещающие горные породы и т.д.) создает в геофизических и геохимических полях существенные долгоживущие аномалии. Выявленные аномалии имеют ряд свойств, присущих подземным взрывам, что облегчает решение задачи идентификации триггерного события. Все примененные методы уверенно картируют следы выполненного подземного взрыва. Результаты проведенных исследований рекомендуются для дальнейшего развития и совершенствования в рамках будущих экспериментов ИНМ.

19. Адушкин В.В., Спивак А.А. Характеристики выхода радиоактивных продуктов подземного взрыва в атмосферу//Труды Международной конференции "Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях". 24-26 апреля 2000 г. –С. 601-615.
20. Бусыгин В.П., Андреев А.И., Косолапов С.А. Термический режим дневной поверхности в эпицентральной зоне подземных ядерных взрывов//Физика Земли, 1999. - №11. - С.68-74.
21. Джонсон Г.В., Хиггинс Г.Х., Вайолет К.И. Подземные ядерные взрывы//Journal of Geophysical Research, 1959.- 64, № 10, 1457 С.11-35.

ОРНЫНДАҒЫ ИНСПЕКЦИЯ ШЕГІНДЕГІ ДАЛА ЭКСПЕРИМЕНТІ-2002 ӨТКІЗУІНДЕ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ГЕОХИМИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУЫ

¹⁾Беляшов А.В., ¹⁾Шайторов В.Н., ¹⁾Политиков М.И., ¹⁾Дроздов А.В., ¹⁾Синева З.И., ¹⁾Тореев В.Ю., ¹⁾Эдомин В.И.,
¹⁾Шелехова О.Х., ²⁾Сагарадзе Д.А., ²⁾Гвоздарев Ю.К., ³⁾Мюрде Р.

¹⁾ *Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

²⁾ *Бүкілресейлік техникалық физиканың ғылыми-зерттеулер институты, Снежинск, Ресей*

³⁾ *ДЯСБТШҰ Орнындағы Инспекциясының дивизионы, Вена, Австрия*

Мақалада, Қазақстандағы Семей сынау полигонының аумағында өткізілген халық аралық Дала Эксперименті-2002 шегінде геофизикалық және геохимиялық әдістерінің кешенін қолдануының нәтижелері сипатталады. Инспекциялық технологияларын пайдалануының практикалық тәжірибесі, жер астындағы ядролық жарылыстардың сыйыстырушы таужыныстарына ықпалы туралы деректері алынған, сейсмикалық оқиғасын оқшаулауында мониторингтің Халықаралық және Ұлттық жүйелерінің мүмкіндігі бағаланған.

GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL METHODS USE DURING FIELD EXPERIMENT 2002 CONDUCTION IN THE FRAMES OF ON-SITE INSPETION

¹⁾ A.V. Belyashov, ¹⁾ V.N. Shaitorov, ¹⁾ M.I. Politikov, ¹⁾ A.V. Drozdov, ¹⁾ Z.I. Sinyova, ¹⁾ V.Yu. Toreyev,
¹⁾ V.I. Edomin, ¹⁾ O.Kh. Shelekhova, ²⁾ D.A. Sagaradze, ²⁾ Yu.K. Gvozdarov, ³⁾ R. Myurde

¹⁾ *Institute of Geophysical Researches, Kurchatov, Kazakhstan*

²⁾ *All-Russian Scientific-Research Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russia*

³⁾ *CTBT OSI Division, Vienna, Austria*

The paper describes results of geophysical and geochemical methods use in the frames of international Field Experiment-2002, which was conducted in Kazakhstan at Semey Test Site territory. Practical experience of inspection technologies use and data on underground explosion effect on surrounding rocks were obtained. Possibilities of International and National monitoring networks at seismic event source localization were estimated.

УДК 550.34:621.039.9

**ПАССИВНАЯ СЕЙСМОМЕТРИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ:
ЭТАП ПОИСКА И ЭТАП ЛОКАЛИЗАЦИИ СОБЫТИЯ**

Каплан Ю.В., Шилина Г.В.

Уральский горный университет, Екатеринбург, Россия

В статье рассматривается комплекс идей, реализация которых позволит за короткий срок, на большой площади, ограниченным числом персонала и оборудования, в условиях неизвестной сложной геологии и слабой афтершоковой эмиссии достигнуть целей пассивной сейсмометрии, предусмотренных в рамках Инспекции на месте (ИНМ) международного Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Применение пассивной сейсмометрии предлагается разделить на два этапа, принципиально разных по методам обработки результатов наблюдений - поиска и локализации событий.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных технологий Инспекции на месте, согласно Протоколу к ДВЗЯИ, является пассивный сейсмологический мониторинг афтершоков (ПС). Уникальность данной технологии заключается в том, что потенциально она позволяет осуществить поиск места, скрыто проведенного подземного ядерного взрыва (ПЯВ) на большой площади, а затем локализовать ПЯВ, определив не только его эпицентр, но и глубину. Кроме того, по максимальной амплитуде афтершоков и размеру облака рассеивания их очагов можно оценить мощность ПЯВ, а по зависимости количества афтершоков от времени - время проведения ПЯВ. Использование афтершоков в качестве опорных сейсмических сигналов предоставляет гипотетическую возможность получить структурно-геологические данные, являющиеся весьма полезными для технологий ИНМ - восстановить границы раздела и определить сейсмические скорости в вышележащих пластах. Наконец, существует возможность сохранения работоспособности технологии пассивной сейсмометрии при недостаточном количестве и даже при отсутствии зарегистрированных афтершоков за счет использования фонового микросейсмического шума и высокочастотных микросейсмических сигналов - микротреморов.

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЯВ [1-5]

Массив горных пород до воздействия на него ПЯВ находится в напряженном состоянии, определяемом естественным геодинамическим режимом. Тепловое и ударное воздействие ПЯВ приводят к искажению естественной тектонической структуры - к образованию техногенных структурных элементов, к изменениям природных неоднородностей и разрывов сплошности. В результате плавления и испарения горных пород вокруг центра ПЯВ образуется полость (~70 т породы испаряется на 1 кт энергии ПЯВ). После достижения полостью максимального размера возникает ее обратный ход за счет того, что окружающая часть массива, израсходовав полученную от ударной волны кинетическую энергию, останавливается, а давление в полости падает. При проведении ПЯВ в хрупкоразрушаемых средах в полость часто обрушиваются вышележащие породы. Радиус образованной полости R_{II} прямо пропор-

ционален кубическому корню из мощности ПЯВ q , измеряемой в массе тротилового эквивалента:

$$R_{II} = (7.3 \div 15) q^{1/3} \text{ (м)}, \quad (1)$$

где: R_{II} - радиус полости, м; q - мощность ПЯВ в тротиловом эквиваленте, кт;

Распространяющаяся ударная волна с давлением в десятки мегабар, а затем и волна сжатия, вытесняют горную породу за пределы полости и вызывают в окружающем полость горном массиве радиальные и тангенциальные напряжения, приводящие к образованию следующих зон деформации:

- смятия - $(1.3 \div 1.8) R_{II}$;
- дробления и интенсивной трещиноватости - $(1.4 \div 2.5) R_{II}$;
- макротрещиноватости (блоковой) и радиальной трещиноватости - $(3 \div 4) R_{II}$;
- отдельных трещин и подновленных естественных трещин - $(5 \div 10) R_{II}$;
- локальных необратимых проявлений (например, эффекта дальнего действия взрыва, заключающегося в деформировании блочной среды преимущественно по поверхностям и зонам ослабления прочности). В зависимости от конкретной иерархической структуры горного массива и прочности межблоковых связей данный эффект может наблюдаться в отдельных местах на расстоянии до $1000 q^{1/3}$ м).

Кроме того, в результате проведения ПЯВ могут образовываться столб обрушения, откольная тарелка или провальная воронка и другие поверхностные изменения местности. Каменная соль имеет отличные от других горных пород упруго-пластичные свойства. Поэтому в результате воздействия ПЯВ в ней происходит не только хрупкое разрушение, но и пластичное течение.

Таким образом, ПЯВ выступает как в роли самостоятельного источника структурных аномалий или неравновесных энергетических полей, так и в качестве инструмента перераспределения в нижнем полупространстве изначально высоких тектонических напряжений. И в том, и в другом случае в породном массиве образуются области, характеризующиеся неравновесным состоянием среды. В результате возникает сложный процесс релаксации массива горных пород, сопровождающийся как необратимой, так и упругой деформацией.

Необратимые деформации массива горных пород заключаются в образовании трещин, обрушении кровли полости, подвижках вдоль естественных плоскостей разрыва среды, в раскрытии и схлопывании естественных макро- и микротрещин.

Упругие деформации целесообразно разделить на четыре типа:

1. Инфранизкочастотные высокоамплитудные сейсмические колебания, возникающие при обрушении кровли полости ПЯВ (основная частота ~1 Гц).

2. Специфические низкочастотные микросейсмические колебания, превышающие уровень фонового сейсмического шума на поверхности, называемые афтершоками и, по-видимому, связанные с такими процессами релаксации выведенного из равновесия напряженного массива горных пород, как подвижка структурных блоков (основные частоты ~5-25 Гц).

3. Высокочастотные низкоамплитудные микросейсмические колебания, вероятно, образующиеся при развитии микротрещин. Для различения с афтершоками, эти сигналы предлагается назвать микротреморами (основная частота - до 300 Гц).

4. Изменение характера фонового микросейсмического шума, отчетливо наблюдаемое при достаточном накоплении спектров.

Афтершоки являются основными сигналами, измеряемыми при пассивной сейсмометрии, они достаточно хорошо изучены и имеют следующие особенности:

- короткая, до 2 - 4 с, продолжительность записи колебаний от первого вступления до полного успокоения;
- наличие, как правило, одного или двух резких спектральных максимумов;
- сопоставимость записей афтершока, полученных на различных пунктах наблюдения;
- наличие записей продольной и поперечной волны с небольшой (до 1 - 1.5 с) разностью времен вступлений;
- преобладающие частоты поперечных волн, как правило, ниже, чем продольных в 1.2 – 8 раз (для различных ПЯВ);
- форма сигналов афтершоков для различных ПЯВ имеют существенные отличия, а афтершоки одного ПЯВ по форме сигнала, как правило, можно разделить на две-три группы.

Задачи и условия применения пассивной сейсмометрии [3-6]

Основываясь на наблюдениях остаточных микросейсмических явлений, технология пассивной сейсмометрии должна решить три основные задачи:

1) *поиск* - на площади, выделенной для проведения ИНМ, определить координаты эпицентров зон аномальной микросейсмичности с точностью, достаточной для применения локализационных технологий Инспекции на месте;

2) *локализация* - установить пространственное распределение аномалии и, как можно точнее, определить трехмерные координаты ее гипоцентра;

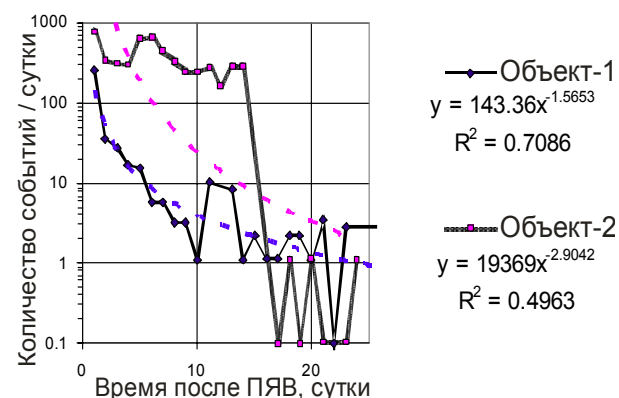
3) *идентификация* - в комплексе с другими технологиями ИНМ оценить факт проведения ПЯВ, классифицировав его во множестве подобных яв-

ний (землетрясения, старые ПЯВ, проведенные до вступления ДВЗЯИ в силу, подземная добыча полезных ископаемых и т.п.).

Основные условия применения пассивной сейсмометрии в рамках Инспекции на месте могут быть охарактеризованы следующим образом.

1. Площадь, выделяемая для инспекции, согласно Протоколу к ДВЗЯИ, составляет до 1000 кв. км. Для достижения успеха поиска места проведения ПЯВ на этой большой площади необходимо правильно декомпозировать площадь, выделив области для первоочередного обследования пассивной сейсмометрией и области, где проведение ПЯВ маловероятно.

2. Возможное быстрое затухание афтершоковой эмиссии. Так, например, в осадочных породах время уверенной регистрации афтершоков на поверхности составляет около 2 недель. Для подтверждения этого на рисунке 1 приведены эмпирические данные о количестве ежесуточных событий, зарегистрированных после проведения ПЯВ на двух объектах. На объекте 1 глубина заложения заряда была 880 м, суммарная мощность взрывов 8.5 кт, вмещающие породы - пески, песчаники, глины, глинистый мергель. На объекте 2 глубина заложения заряда - 830 м, мощность взрыва 15 кт; вмещающие породы - песчаники, глины, алевролиты, развита вечная мерзлота.



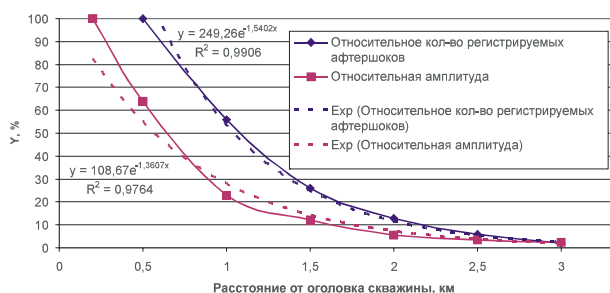
R^2 – достоверность аппроксимации (коэффициент детерминации).

Рисунок 1. Эмпирическое распределение афтершоков во времени

Из эмпирического распределения афтершоков во времени следует, что полевые работы по технологии пассивной сейсмометрии желательно начинать как можно скорее и выполнять в минимально короткие сроки.

3. Резкое затухание сейсмических сигналов афтершоков, вызванных ПЯВ малой мощности, с расстоянием. Разумеется, в случае проведения ПЯВ большой мощности применение пассивной сейсмометрии сильно бы упростилось. Так, например, в случае проведенного в США взрыва «Бенхэм» мощностью 1.1 Мт на глубине 1400 м, площадь облака рассеивания источников афтершоков была много больше 100 кв.км. На рисунке 2 показано, как уменьшается число регистрируемых афтершоков с расстоянием от оголовка скважины, в которой был произведен ПЯВ со следующими характеристиками: средняя глубина заложения 465 м, суммарная мощ-

ность взрывов 2.7 кт, вмещающие породы - туфы андезитовых порфиритов.



R^2 – достоверность аппроксимации (коэффициент детерминации)

Рисунок 2. Эмпирические зависимости относительного количества афтершоков и амплитуды их сейсмических волн от расстояния между эпицентром ПЯВ и сейсмоприемником

Из данных, приведенных на рисунке 2, следует, что для снижения вероятности пропуска сигнала афтершока регистрирующий его сейсмоприемник должен находиться в пределах оптимального эпицентрального расстояния от очага афтершока (~1.7 км).

4. Сейсмические записи афтершоков часто имеют низкую частоту, амплитуду и сложный интерференционный характер, зашумлены различными помехами. Поэтому точное определение времен вступлений Р- и S- волн или их фаз для нахождения координат афтершока, зарегистрированного небольшим числом сейсмоприемников, выглядит достаточно проблематичным (рисунок 3).

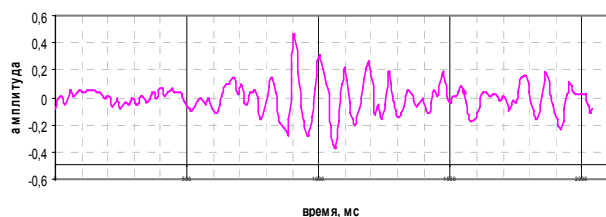


Рисунок 3. Сейсмический сигнал афтершока

5. Геология инспектируемого района может быть сложной и неизвестной. В этом случае неизбежны существенные ошибки определения координат афтершоков при решении обратной кинематической задачи, что иллюстрируется рисунком 4. Здесь пунктирной линией изображена спрямленная, а сплошной - истинная траектория распространения сигнала афтершока в геологическом разрезе со следующими скоростными (v , км/с) характеристиками: аллювий до 300 м ($v=1.31$), ненасыщенный туф до 500 м ($v=1.8$), ниже - насыщенный туф ($v=2.7$).

6. Жесткие ограничения на количество персонала и оборудования ИНМ, определенные в Протоколе к ДВЗЯИ и его дочерних документах.

Нижне рассмотрен комплекс идей, реализация которых позволит в сжатые сроки, на большой площади, ограниченным числом персонала и оборудования, в условиях неизвестной сложной геологии и слабой афтершоковой эмиссии добиться целей, поставленных выше перед пассивной сейсмометрией. Для этого применение пассивной сейсмометрии предлагается разбить на два прин-

ципально разных по методам обработки этапа: этап поиска и этап локализации.

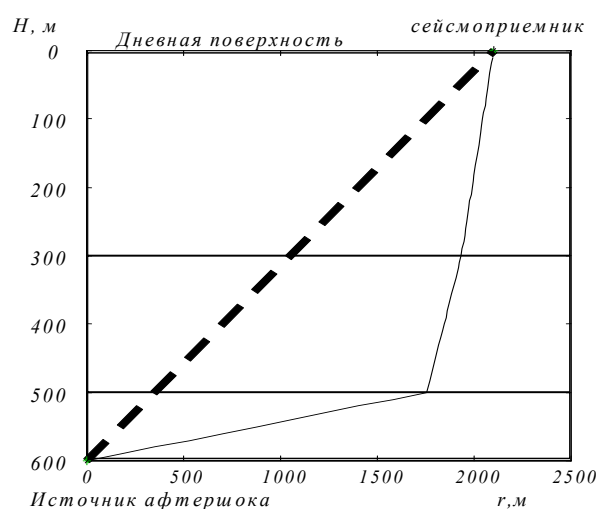


Рисунок 4. Траектории распространения афтершока - истинная (с учетом преломлений) и спрямленная

Этап поиска [3,4]

Задача этапа поиска – за минимальное время на большой площади выделить области аномальной микросейсмической эмиссии с точностью, достаточной для перехода к этапу локализации.

Детальное описание вторичных сейсмических полей ПЯВ возможно с использованием большого числа параметров, которые в каждом конкретном случае являются неизвестными. Поэтому результаты обнаружения рекомендуется характеризовать интегральным параметром, названным «интенсивностью» и представляющим суммарное значение средних амплитуд афтершоков, зарегистрированных каждым сейсмоприемником:

$$M_i = \sum_{j=1}^N A_{ij} \quad (2)$$

Здесь: A_{ij} – средняя амплитуда афтершока j , зарегистрированного i -ым сейсмоприемником; i – номер сейсмоприемника; N – количество афтершоков, зарегистрированных i -ым сейсмоприемником.

По результатам наблюдений строятся карты изолиний интенсивности M , нормированной на время регистрации сейсмоприемника. Максимумы поля нормированной интенсивности являются центрами площадей, выделяемых для локализации.

Поскольку при использовании параметра M достаточно регистрировать каждый афтершок одним сейсмоприемником, сеть наблюдений может быть существенно разрежена с применением оптимальной сотовой структуры - плоскость покрывается правильными шестиугольниками, а сейсмоприемники располагаются в их центрах, тем самым, образуя сеть из правильных треугольников. Исходя из экспериментально установленной рациональной дальности регистрации афтершоков ~1.7 км, сторона треугольника может составить ~3.5 км.

Регистрацию афтершоков целесообразно вести непрерывно. В ночное время следует периодически

записывать также сейсмический фон - несколько десятков сейсмограмм длительностью по 4-8 с.

Если какой-либо из сейсμοприемников зарегистрировал сигналы, похожие на афтершоки ПЯВ, обнаружена аномалия микросейсмического фона или выделен подозрительный "целевой" район по данным других поисковых технологий ИНМ, то в этом районе следует установить дополнительные сейсμοприемники.

Если афтершоки зарегистрированы группой сейсμοприемников, следует переходить к этапу локализации, т.е. развернуть на данной площади сеть сейсμοприемников, чтобы можно было решить обратную трехмерную координатную задачу и определить природу афтершоков. Свободные от этапа локализации выносные пункты сейсμοприемников должны продолжать использоваться на этапе поиска в районе, выделенном для ИНМ.

Сейсμοприемники, осуществляющие покрытие "нецелевой" инспектируемой площади, целесообразно расставлять в две линии и перемещать "накатом": задняя линия перемещается вперед, за передней линией и т.д. Каждый день перемещается одна линия, ночью сейсμοприемники, оставаясь на своих позициях, проводят измерения.

Таким образом, каждый сейсμοприемник будет находиться на каждой позиции двое суток. Такая апертура приема «в две линии» из 10 сейсμοприемников покрывает площадь ~100 кв.км. При одновременном использовании трех таких групп при идеальных условиях отсутствия труднодоступных районов и других помех, площадь 1000 кв. км может быть изучена примерно за 1 неделю (что является крайне оптимистичным сроком для реальной ИНМ).

Проведение наблюдений по предложенной схеме позволит получить двукратное перекрытие инспекционной площади. Это позволяет также привести средний уровень фоновых записей к одному времени и оперировать полученными шумовыми данными в условиях недостаточного количества или отсутствия афтершоков. Измерительная сеть, оптимизированная для поиска афтершоков, является слишком редкой для поиска шумовой аномалии, связанной с эпицентральной зоной ПЯВ, что является еще одним аргументом в пользу применения малоглубинной скважинной регистрации, позволяющей повысить чувствительность метода и, тем самым, разредить сеть измерений. Достаточность однокомпонентной регистрации и разрежение сети наблюдений предоставляет возможность более эффективно использования ограниченного числа телеметрических каналов. Отсутствие необходимости определять времена вступления волн снижает влияние сейсмических помех. Отсутствие необходимости сводить сейсмотрассы в сейсмограмму позволяет отказаться от проблематичной высокоточной системы единого времени. Положение эпицентра аномальной сейсмической зоны определяется расстоянием между сейсμοприемниками и находится на этапе поиска с точностью, достаточной для перехода к этапу локализации (погрешность ~1700 м).

ЭТАП ЛОКАЛИЗАЦИИ [3,4,7,8]

Главная задача этапа локализации – с максимальной точностью определять координаты очагов микро-

сейсмических колебаний, что невозможно без адекватной скоростной модели массива горных пород.

На этапе локализации целесообразно применение трехкомпонентных сейсμοприемников с целью повышения чувствительности регистрации и получения объемного образа сейсмического сигнала афтершока.

На основе современных технологий пассивной сейсмометрии предлагается к решению задачи локализации ПЯВ в ходе ИНМ, отличающийся от традиционного. Традиционный подход базируется на методических приемах:

- *обращенного ВСП*, применяющегося для столь же крупномасштабных съемок, что и съемки, проводимые на заключительных этапах Инспекции, и позволяющего по кинематическим параметрам сейсмических сигналов определить трехмерные координаты их источников, а также восстановить геологический разрез района сейсмической эмиссии;
- *эмиссионной томографии*, реализующей восстановление волнового поля при помощи фокусировки апертуры приема на определенную точку среды, и «разностной» пассивной сейсмометрии, позволяющей получить пеленг на источник когерентных составляющих микросейсмического шумового излучения;
- *резонансной сейсмометрии*, использующей спектральную обработку микросейсмического фона и позволяющей локализовать эпицентральную зону по аномалиям спектральной плотности мощности (СПМ) для различных диапазонов частот;
- *метода закачки сейсмической энергии* в массив горных пород.

Ниже рассмотрено использование перечисленных методов применительно к задаче Инспекции по локализации несанкционированного взрыва.

Решение координатной задачи и восстановление разреза

Определение координат эпицентра источника афтершока X_0 и Y_0 является тривиальной задачей (рисунок 5), однако определить связанные между собой параметры Z_0 и $V_1, \dots, V_k$ намного сложнее.

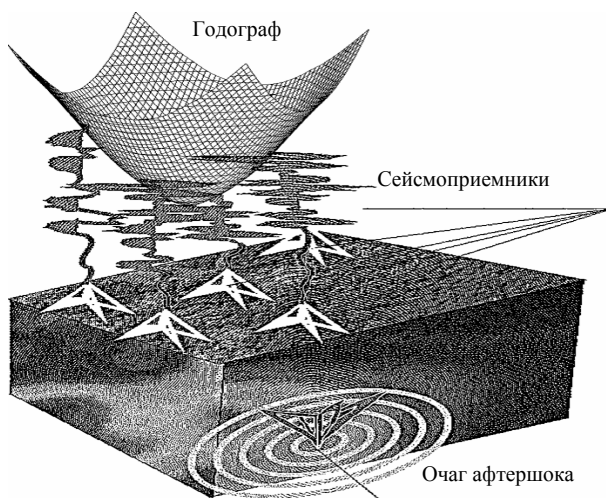


Рисунок 5. Годограф первого вступления сигнала афтершока

Считая, что массив характеризуется некоторым полем распределения скоростных свойств $v(x, y, z)$, в общем случае, неизвестных, рассмотрим обратную

задачу, в которой даны расположение сейсмоприемников и времена первых вступлений сигналов афтершоков на каждом сейсмоприемнике, а искомыми величинами являются координаты источников афтершоков, а также скоростные свойства массива. В приведенном описании задача не имеет решения, поскольку число известных величин конечно, а число неизвестных — бесконечно. Поэтому следует дополнительно сделать некоторые предположения о скоростной структуре массива, чтобы свести его описание к конечному набору параметров. Разумное уменьшение числа таких параметров позволит сузить класс поиска решения и повысить вероятность нахождения решения, отвечающего реальной задаче. В частности, кроме неизвестных координат каждого источника афтершока x_0 , y_0 , z_0 , предлагается ввести переменные, характеризующие следующие параметры среды: скорость в каждом слое v_k и коэффициенты, аппроксимирующие границы раздела. При достаточном количестве сейсмоприемников и зарегистрированных афтершоков система уравнений может быть избыточной и может быть решена методами оптимизации.

Спектральная обработка сейсмического фона

Назначение спектральной обработки сейсмического фона - выделение аномалии распределения в среде как активных источников (афтершоков, в том числе, с амплитудой меньше сейсмического фона), так и пассивных неоднородностей, искажающих внешнее волновое поле (резонансные и дифракционные эффекты). При достаточном накоплении спектров сейсмического шума, спектральный состав сейсмотрассы, зарегистрированной сейсмоприемником, расположенным над зоной генерации афтершоков, будет иметь максимумы на характерных частотах афтершоков, даже при отсутствии таких афтершоков, сигналы которых превышают сейсмический фон. Экспериментально установлено, что сейсморезонансные явления приводят к увеличению спектральной плотности мощности (СПМ) на характерных частотах. Площадное распределение превышения СПМ зависит от таких параметров локальной неоднородности, как физико-механические свойства, глубина расположения и геометрические размеры.

Шумовая (эмиссионная) томография

Метод основан на регистрации сейсмического фона с использованием площадной апертуры высокочувствительных сейсмоприемников. Обработка данных заключается в сканировании по узлам объемной сетки и суммировании сейсмотрасс с трансформированными, в зависимости от взаиморасположения узлов сетки и сейсмоприемников, амплитудами и временными сдвигами. Результатом обработки является трехмерное распределение энергии эмиссионного излучения. Способ обработки *дифференциальной* или *«разностной» пассивной сейсмометрии* заключается в вычислении корреляционных функций со сдвигами по времени сейсмотрасс, зарегистрированных на разнесенных по площади сейс-

моприемниках. Наличие корреляции при определенном временном сдвиге сейсмотрасс свидетельствует о близкорасположенном шумящем объекте. С использованием значения скорости распространения сейсмических волн, определяется пеленг на шумящий объект. Таким образом, эмиссионная томография и «разностная» пассивная сейсмометрия позволяют локализовать область генерации слабых сейсмических сигналов по динамическому и кинематическому критериям, в отличие от описанной выше спектральной обработки, выделяющей аномалии формы сигнала.

Закачка сейсмической энергии в массив

Метод способен интенсифицировать афтершоки, а также создать в массиве избыточную сейсмическую энергию, которая, образуя упругие волны и взаимодействуя с неоднородностями, созданными ПЯВ, может быть зарегистрирована и обработана описанными выше методами. Закачка энергии может осуществляться сейсмическим источником, применяемым в технологии активной сейсмометрии при Инспекции на месте.

Определение закономерностей афтершоковой эмиссии позволяет разделить эффекты концентрированного подземного взрыва и других воздействий, а также оценить параметры подземного взрыва. Оценка размеров зон разрушения и мощности ПЯВ может быть осуществлена с использованием данных о размерах облака рассеивания очагов афтершоков и максимальных амплитудах зарегистрированных афтершоков на основе эмпирических формул. Время проведения ПЯВ может быть оценено по временным характеристикам наблюдаемого афтершокового потока в соответствии с эмпирическими зависимостями.

С целью повышения чувствительности пассивной сейсмометрии и обеспечения возможности регистрации высокочастотных и низкоамплитудных микротрясов предлагается на обоих этапах погружать сейсмоприемники в неглубокие скважины. Эта мера позволит, с одной стороны, защитить сейсмоприемники от ветровых шумов и других акустических поверхностных шумов, а, с другой стороны, обеспечит снижение затухания полезных сигналов в зоне малых скоростей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Условия применения пассивной сейсмометрии в ходе проведения Инспекции на месте весьма своеобразны, что не позволяет напрямую применять готовые технологии, используемые в сейсмологическом мониторинге или разведочной сейсморазведке. Для этого требуется разработка специальной технологии пассивной сейсмометрии для Инспекции на месте. Применение предложений, рассмотренных в данной статье, будет способствовать повышению роли и эффективности пассивного сейсмологического мониторинга афтершоков в комплексе методов инспекционной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин В.В., Спивак А.А., Креков М.М. и др. Остаточные явления при крупномасштабных подземных взрывах//Известия АН СССР/Физика Земли. - М., 1990. - № 9.
2. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. – М.: Недра, 1993.
3. Обоснование возможности контроля Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний методами инспекции на месте. Научно-исследовательский отчет по Проекту МНТЦ № 570/РФЯЦ-ВНИИТФ, ВНИПИПТ; Легоньков В.В., Лукишов Б.Г и др. - Снежинск, 1999.
4. Каплан Ю.В. Разработка технологии пассивного сейсмологического мониторинга афтершоков при проведении инспекции на месте в рамках контроля соблюдения Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний//Диссертация на соискание ученой степени к.т. н. – М.: Институт динамики геосфер РАН, 2003.
5. Инспекция. Отчет о работах II этапа по НИР за 1989 г. (промежуточный)/НПО «Нефтегеофизика», СРГЭ; Эренбург М.С. и др. - М, 1990.
6. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). – Вена: Подготовительная комиссия Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, 1996 г. – 165 с.
7. Каплан Ю.В. Об использовании слоисто-однородной модели геологической среды для интерпретации результатов сейсмологического мониторинга афтершоков//Вторая международная научно-практическая конференция «Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике». - Новочеркасск, 2002.
8. Шехтман Г.А. Определение параметров среды и траектории ствола скважины методом ВСП//Геофизика, 1996 - № 5-6.

**ОРНЫНДАҒЫ ИНСПЕКЦИЯСЫН ӨТКІЗУІНДЕ ЕНЖАРЛЫҚТЫ СЕЙСМОМЕТРИЯ:
ІЗДЕУ КЕЗЕҢІ, ОҚШАУЛАП ШЕКТЕУ КЕЗЕҢІ**

Каплан Ю.В., Шилина Г.В.

Орал кен университеті, Екатеринбург, Ресей

Мақалада ЯСБТШ-ның орнындағы инспекциясы шегінде, қысқа мерзімде, үлкен алаңда, персоналдың және жабдықтардың аз санымен, белгісіз күрделілік геология және әлсіз афтершокты эмиссия жағдайларында, енжарлықты сейсмометрия үшін ескертілген мақсаттарына жетуіне мүмкіндік беретін ұсыныстар кешені қаралады. Енжарлықты сейсмометрияның қолдануы, бақылау нәтижелерін өңдеу әдістері бойынша, негізінде әр түрлі екі кезеңіне бөлуі ұсынылады – іздеу және оқшаулап шектеу.

**PASSIVE SEISMOMETRY DURING ON-SITE INSPECTION:
A STAGE OF EVENT SEARCH AND EVENT LOCALIZATION**

Yu.V. Kaplan, G.V. Shilina

Ural Mining University, Ekaterinburg, Russia

This paper represents the complex of ideas allowing to reach the purpose of Passive Seismometry in the frames of OSI CTBT for short time on large area, limited by a number of personnel and equipment in terms of unknown complicated geology and weak aftershock emission. For this purpose we suppose to break Passive Seismometry to two stages: the search stage and the localization stage that are quite different stages according to methods of observation results processing.

УДК 539.21:621.039.9

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Сагарадзе Д.А.

*Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт
технической физики им. академика Е. И. Забабахина (РФЯЦ-ВНИИТФ), Снежинск, Россия*

В статье представлено некоторое обобщение результатов полевых исследований с применением технологии наземной (пешеходной) магнитометрии. Исследовано более чем 20 объектов, на которых были проведены подземные ядерные взрывы. Описываются выявленные геомагнитные аномалии и установленные характеристики.

ВВЕДЕНИЕ

Экспериментальные работы по измерению геомагнитного поля выполнены более чем на 20 объектах проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) в скважинах и на штольневом объекте. Метод измерения - наземная (пешеходная) магнитометрия.

Для выявления аномалий геомагнитного поля Земли в эпицентральной зоне ПЯВ измерялись модуль полного вектора магнитной индукции Земли (Т) и его вертикальная составляющая (Z). Обработка измерений Т заключалась в вычислении аномальных значений модуля полного вектора магнитной индукции - ΔT по формуле: $\Delta T_{(i)} = T_{изм(i,j)} - T_{мвс(j)}$, где: $\Delta T_{(i)}$ – аномальное значение модуля полного вектора магнитной индукции в i точке топосети (ТС); $T_{изм(i,j)}$ – измеренное значение модуля полного вектора магнитной индукции в i точке ТС в j момент времени; $T_{мвс(j)}$ – измеренное значение модуля полного вектора магнитной индукции магнитовариационной станцией (МВС) или расчетное (по результатам интерполяции полиномами 2-3 степени) значение Т на контрольном пикете в j момент времени.

Вычисление аномальных значений вертикальной составляющей полного вектора магнитной индукции - ΔZ выполнено по формуле $\Delta Z = Z_k - Z_{к0}$, где: Z_k – компенсирующее поле в точке наблюдения; $Z_{к0}$ – компенсирующее поле на контрольном пикете, с установленным нормальным полем (для магнитомеханического, компенсационного магнитометра М27).

Часть измерений на объектах ПЯВ были сделаны как “до”, так и “после” взрыва. Это позволило вычислить разностный эффект аномалий (разность полей, измеренных “до” и “после” взрыва) - $\Delta Z_{(разн)}$ и $\Delta T_{(разн)}$. Значения $\Delta Z_{(разн)}$ или $\Delta T_{(разн)}$ определялись по формулам $\Delta Z_{(разн)} = \Delta Z_{(после)} - \Delta Z_{(до)}$; $\Delta T_{(разн)} = \Delta T_{(после)} - \Delta T_{(до)}$.

СКВАЖИНА № 1

В окрестности скважины № 1 выполнены измерения поля Z (Ляпин Ф.И., Долгих Е.Д.). Площадка выбрана так, что оголовок скважины был в центре. Краткие сведения о взрыве и магнитометрической съемке приведены в таблице 1.

Как следует из таблицы 1, взрыв мощностью порядка 150 кт произведен в осадочных породах на полукилометровой глубине. Наблюдения проведены трижды: до проведения ПЯВ в скважине, после проведения ПЯВ - через 2 дня и через 4,5 месяца. Результаты измерений в виде планов изодинам ΔZ на площади съемок приведены на рисунках 1 (до взрыва) и 2 а, б (после взрыва).

Из рисунков видно, что в центральной части участка выявлена двухполюсная аномалия ΔZ , которая отмечается как до проведения ПЯВ, так и после него. Направление линии полюсов (условной линии, проходящей через центры полюсов) - с юга на север. Краткая характеристика аномалий ΔZ , приведенных на рисунках 1-2, дана в таблице 2.

Таблица 1. Сведения о работах по скважине № 1

Наименование	Характеристика
Мощность ПЯВ	~ 150 кт
Глубина ПЯВ	~ 500 м
Время и вид измерений	До и после ПЯВ (через 2 дня и через 4,5 месяца после взрыва). Съемка ΔZ на площади 200х300 м ² по сети 50х50 м
Аппаратура	Магнитометр М-27М
Геология	Геологический разрез, сложенный преимущественно песчаниками с подчиненными прослоями сланцев

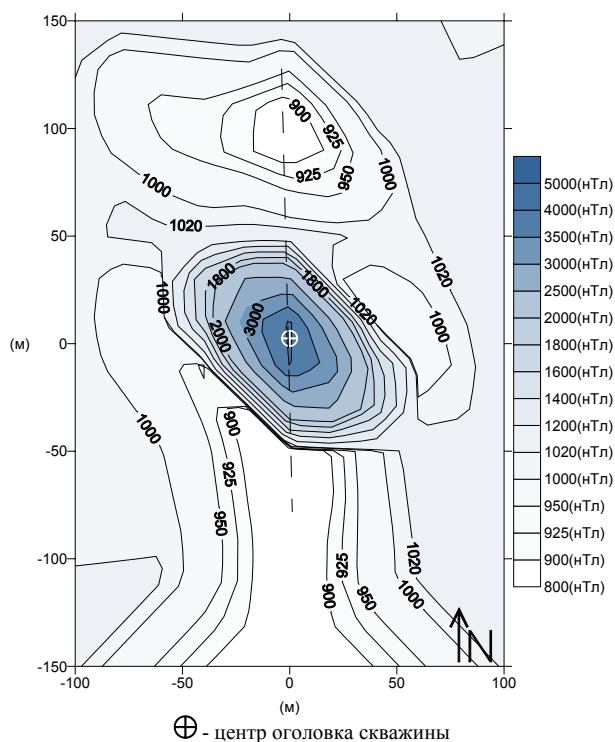


Рисунок 1. Скважина №1. План изодинам ΔZ до проведения ПЯВ

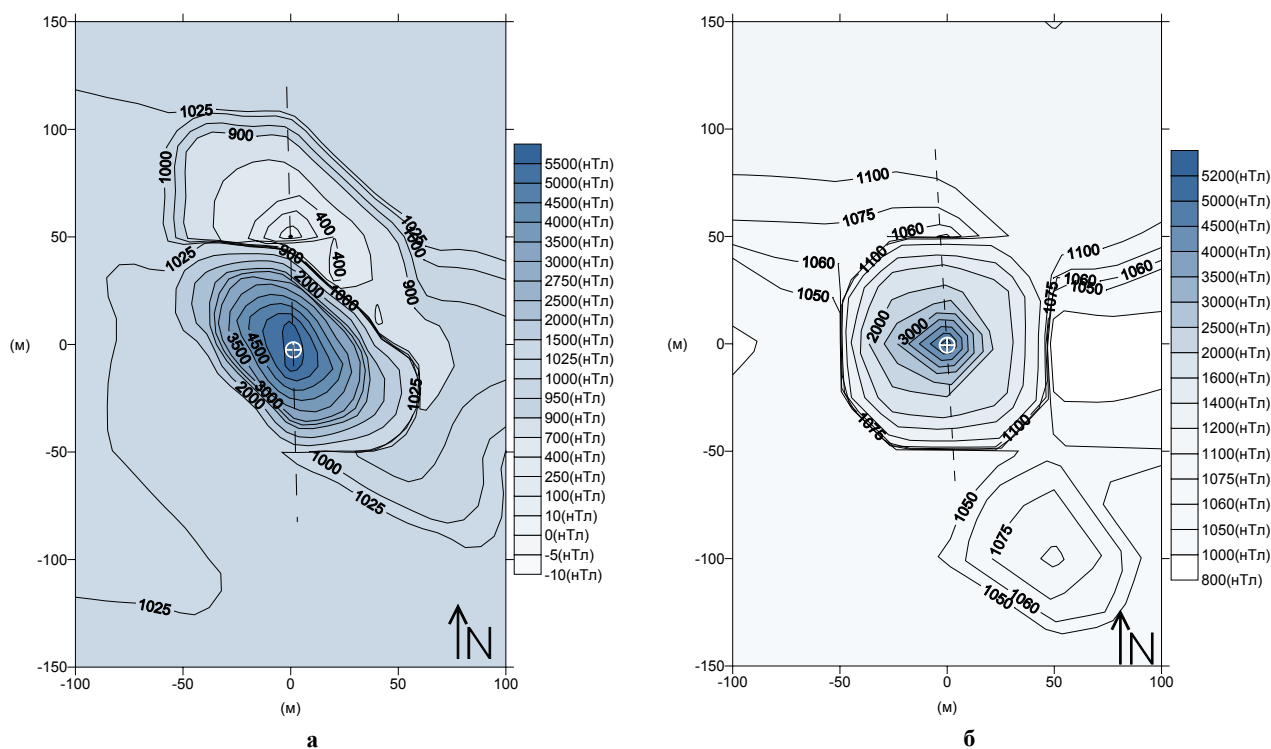
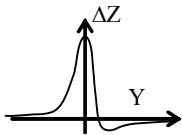
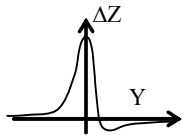
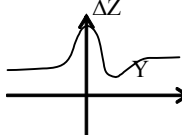
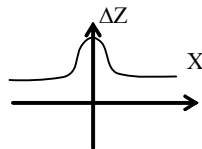
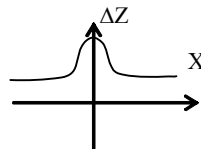
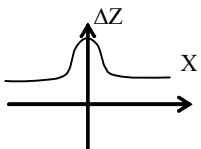


Рисунок 2. Скважина №1. План изодинам ΔZ после проведения ПЯВ: а) через 2 дня; б) через 4,5 месяца

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

Таблица 2. К результатам магнитометрии в окрестности скважины № 1

№	Характеристики аномалии ΔZ	Описание и значения		
		до проведения ПЯВ	через 2 дня после ПЯВ	через 4.5 месяца после ПЯВ
1	Экстремумы	Максимум +4825 нТл (соответствует оголовку скважины) Минимум +1036 нТл (в 50 м севернее оголовка скважины)	Максимум +5508 нТл (соответствует оголовку скважины) Минимум -8 нТл	Максимум +5275 нТл (соответствует центру оголовка скважины) Минимум +1048 нТл
2	Размер аномалии (по уровню изодинамы $\Delta Z \geq 2000$ нТл)	~ 75x70 м	~ 90x85 м	~ 55x55 м
3	Форма аномалии	Меридиональный профиль		
		Двухполюсная, с доминирующим по амплитуде полюсом над центром оголовка скважины (южный полюс) и полюсом с меньшей амплитудой на расстоянии ~ 50 м севернее центра оголовка скважины (северный полюс)		
				
		Широтный профиль		
				

По разностным значениям $\Delta Z_{\text{(разн)}}$, полученным с использованием результатов съемок до и после взрыва, построены планы изодинам разности полей $\Delta Z_{\text{(разн)}}$, которые даны на период времени через 2 дня (рисунок 3а) и через 4,5 месяца (рисунок 3б).

На рисунке 4 приведены графики разности значений $\Delta Z_{\text{(разн)}}$ по съемкам до и после взрыва вдоль

двух профилей - меридионального и широтного, проходящих через оголовки скважины. Также как при построении планов изодинам, приведенных на рисунке 3, здесь использованы результаты съемок, выполненных через 2 дня и через 4,5 месяца относительно времени проведения взрыва.

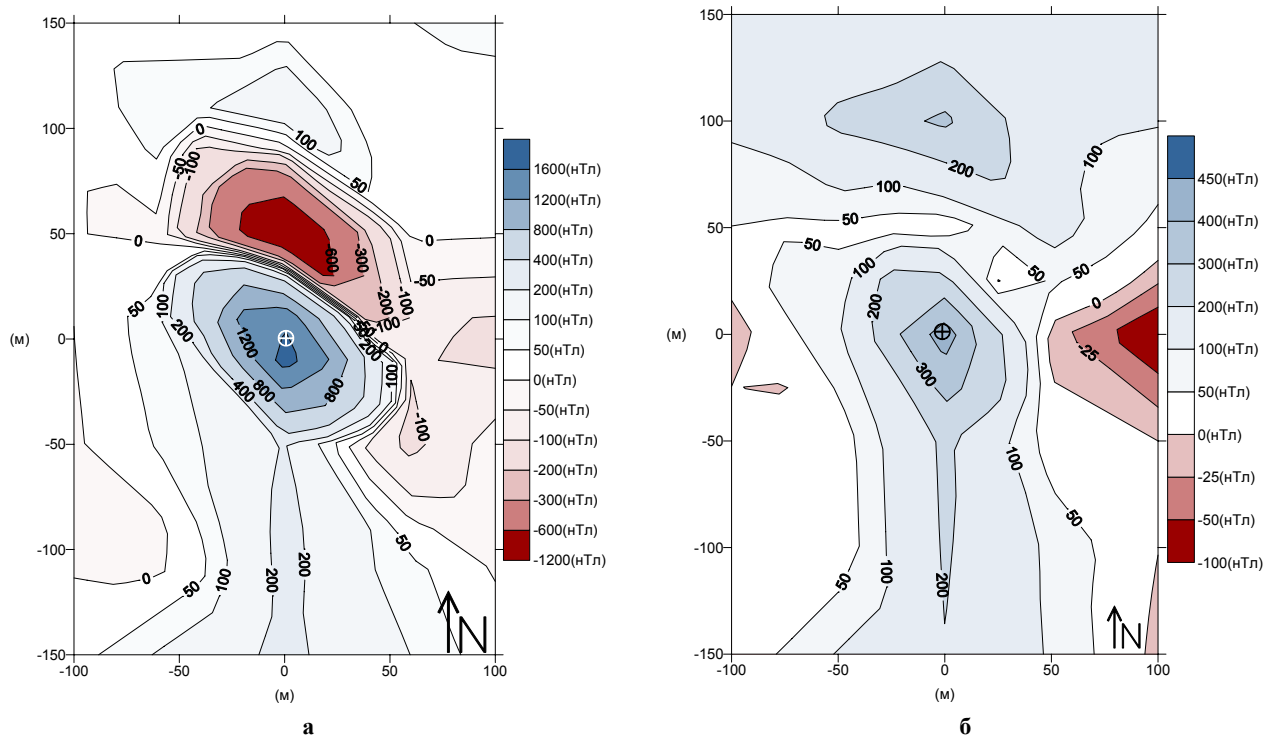
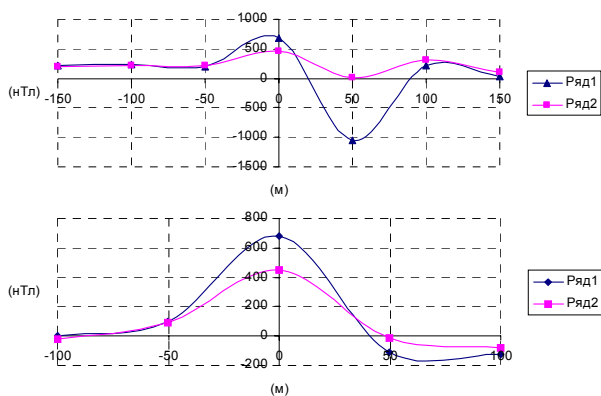


Рисунок 3. Скважина №1. План изодинам разности $\Delta Z_{\text{(разн)}}$ до и после ПЯВ: а) через 2 дня б) через 4,5 месяца



Разность: ряд 1 – через 2 дня; ряд 2 – через 4,5 месяца

Рисунок 4. Скважина №1. Графики разности $\Delta Z_{(разн)}$ до и после ПЯВ по профилям, через оголовок скважины: а) меридиональный; б) широтный

Анализ полученных данных позволил выявить следующие изменения аномалии ΔZ после проведения ПЯВ:

- через 2 дня после проведения ПЯВ над оголовком скважины величина $\Delta Z_{(разн)}$ составила +683 нТл. На расстоянии 50 м севернее оголовка скважины отмечено значение $\Delta Z_{(разн)} = (-1044 \text{ нТл})$ - "северный полюс" аномалии. Наиболее значительные изменения аномалии ΔZ произошли в районе "северного полюса" и над оголовком скважины;

- через 4,5 месяца после проведения ПЯВ над оголовком скважины разностное значение уменьшилось до $\Delta Z_{(разн)} = (+450 \text{ нТл})$. Значение $\Delta Z_{(разн)}$ севернее оголовка на расстоянии 50 м также уменьшилось до +12 нТл. Наибольшие изменения амплитуды аномалии ΔZ произошли в районе "северного полюса" аномалии и над оголовком скважины.

Следует отметить, что в эпицентральной зоне как до, так и после проведения ПЯВ находились намагниченные металлические предметы, которые не позволили на всей измеряемой площади выявить "чистые" изменения аномалии ΔZ , связанные с ПЯВ. Так, например, вытянутая положительная аномалия от оголовка скважины на юг (рисунок 1) обусловлена коммуникациями, которые были подведены к ядерному заряду в скважине. Последующее увеличение амплитуды этой аномалии после проведения ПЯВ примерно на 200 – 220 нТл связаны, по-видимому, с переманчиванием этих коммуникаций.

СКВАЖИНА № 2

В окрестности скважины № 2 выполнены измерения поля Т (Фомичев Б.Б, Антошев В.Г., РФЯЦ-ВНИИТФ). Краткие сведения о взрыве и магнитометрической съемке приведены в таблице 3.

Таблица 3. Сведения о работах по скважине № 2

Наименование	Характеристика
Мощность ПЯВ	~ 30 кт
Глубина ПЯВ	~ 500 м
Время и вид измерений	До и через 10 дней после ПЯВ. Съемка Т на площади 400х400 м ² по сети 20х20 м и на площади 200х200 м ² по сети 10х10 м. До и через 1 месяц после ПЯВ. Съемка Т по меридиональному и широтному профилям, проходящим через оголовок скважины, протяженностью 2 км с шагом наблюдений 10 м
Аппаратура	Магнитометр ММ-60
Геология	Геологический разрез сложен преимущественно роговиками. Прослеживается крупное тектоническое нарушение северо-западного простирания

Как следует из таблицы 3, взрыв сравнительно небольшой мощностью порядка 30 кт произведен в метаморфических породах вблизи тектонического нарушения на полукилометровой глубине до и через 10 дней после проведения ПЯВ. Кроме того, как до, так и через 1 месяц после проведения ПЯВ, выполнены измерения поля Т по двум профилям – широтному и меридиональному, проходящим через оголовок скважины.

Результаты съемок в виде планов изодинам ΔT показаны на рисунках 5 (до взрыва) и 6 а (после взрыва). Разность полей, полученных до и после проведения ПЯВ - ($\Delta T_{(разн)}$), показана на рисунке 6 б.

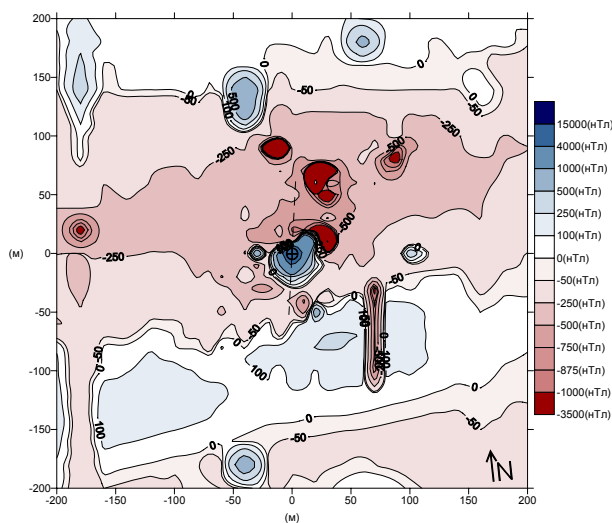


Рисунок 5. Скважина №2. План изодинам ΔT до проведения ПЯВ на площади 200х200 м²

ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

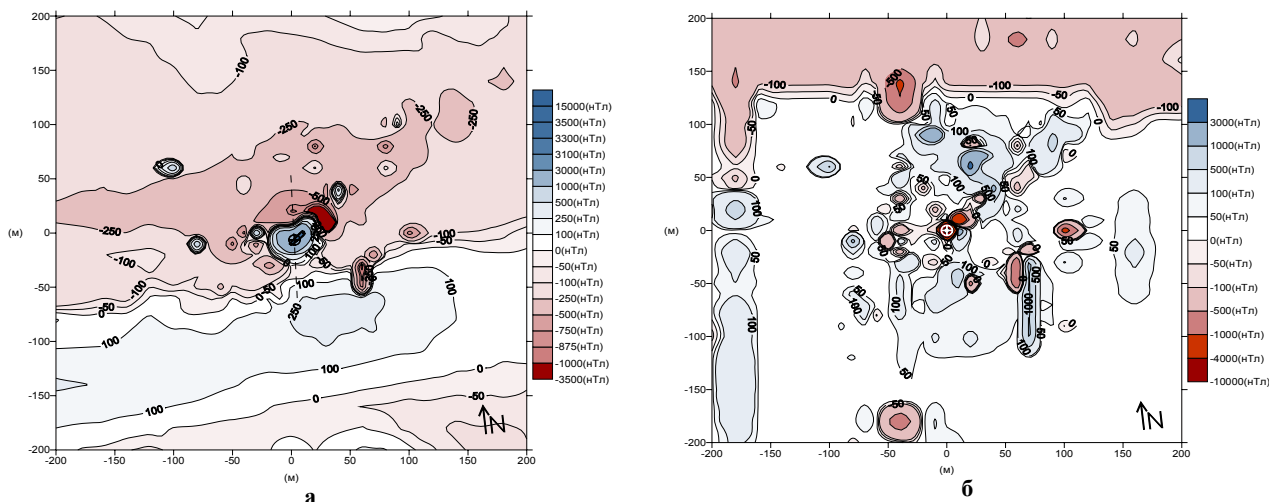


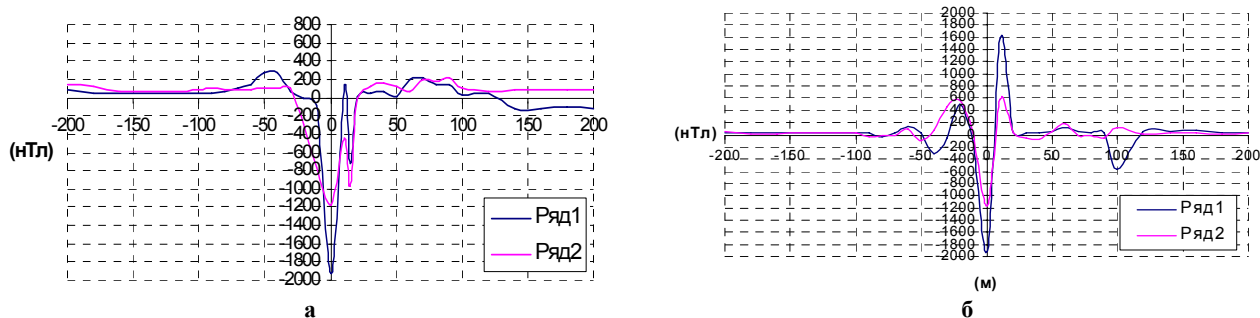
Рисунок 6. Скважина № 2. План изодинам ΔT на площади $200 \times 200 \text{ м}^2$:
а - через 10 дней после ПЯВ; б - разность полей до и после ПЯВ ($\Delta T_{\text{разн}}$)

Как можно видеть из рисунков 5, 6, выявлены двухполюсные аномалии ΔT как до проведения ПЯВ, так и после него. Направление линии полюсов аномалий составляет $6^\circ (\pm 6^\circ)$ с юга на север.

На рисунке 7 приведены графики разности между значениями поля, полученными до и после взры-

ва $\Delta T_{\text{разн}}$ вдоль меридионального и широтного профилей, проходящих через оголовки скважины.

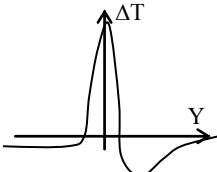
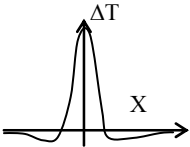
Характеристики аномалий ΔT , приведенных на рисунках 5-7, даны в таблице 4.



Разность: ряд 1 – через 10 дней; ряд 2 – через 1 месяц.

Рисунок 7. Скважина №2. Разность между наблюдениями до и после проведения ПЯВ $\Delta T_{\text{разн}}$ по профилям через оголовки скважины: а) меридиональному; б) широтному

Таблица 4. К результатам магнитометрии в окрестности скважины 2

№	Характеристики аномалии ΔT	Описание и значения		
1	Экстремумы	До проведения ПЯВ	через 10 дней после ПЯВ	через 1 месяц после ПЯВ
		Максимум +40300 нТл (соответствует оголовку скважины). Минимум –1002 нТл	Максимум +38377 нТл (на 10 м южнее оголовка). Минимум -972нТл	Максимум +39133 нТл (соответствует центру оголовка скважины). Минимум -900 нТл
2	Размер отрицательной аномалии ΔT по уровню поля $\leq(-50)$ нТл	не менее 400x150 м	~ 400x200 м (в широтном и меридиональном направлениях, соответственно)	--
3	Размер положительной аномалии ΔT по уровню поля ≥ 0 нТл	Порядка 35x38 м (в широтном и меридиональном направлениях, соответственно)		--
4	Форма аномалии	Двухполюсная, с доминирующим по амплитуде полюсом над центром оголовка скважины (область положительных значений) и полюсом с меньшей амплитудой на расстоянии ~ 20 м севернее центра оголовка скважины (область отрицательных значений)		
		меридиональный профиль		широтный профиль
				
5	Максимальное значение горизонтального градиента	В области оголовка скважины, между полюсами аномалии ΔT расчетный градиент > 2500 нТл/м		

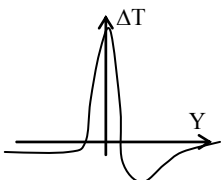
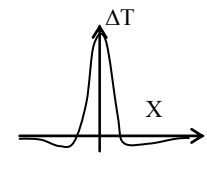
Аномалии ΔT , полученные до и после проведения ПЯВ (через 10 дней и через 1 месяц), различаются по амплитуде:

- через 10 дней после проведения ПЯВ над оголовком скважины $\Delta T_{\text{(разн)}} = (-1923)$ нТл. На расстоянии 20 м севернее оголовка скважины $\Delta T_{\text{(разн)}} = +30$ нТл;
- через 1 месяц после проведения ПЯВ над оголовком скважины $\Delta T_{\text{(разн)}} = (-1167)$ нТл. На расстоянии 20 м севернее оголовка скважины $\Delta T_{\text{(разн)}} = +102$ нТл.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геомагнитные исследования проведены для разработки технологии пешеходной магнитометрии в целях Инспекции на месте по ДВЗЯИ. Технология должна применяться для обнаружения аномалий и артефактов ПЯВ [1] на основании выявленных геомагнитных аномалий. При интерпретации этих аномалий могут быть использованы установленные обобщенные характеристики аномалии модуля полного вектора магнитной индукции ΔT (таблица 5). Характеристики относятся к аномалиям, источником которых является ферромагнитная колонна обсадных труб скважины, в которой проведен ПЯВ.

Таблица 5. Обобщенные характеристики аномалий ΔT в эпицентральной зоне ПЯВ

№	Характеристики аномалии ΔT	Описание и значения	
1	Форма аномалии	форма аномалии – двухполюсная, с областями положительных и отрицательных значений. Расстояние между полюсами (между минимумом и максимумом аномалии) составляет от 10 до 25 м	
		меридиональный профиль	широтный профиль
			
2	Симметрия, ориентация	Аномалия в плане близка к осесимметричной. Ось симметрии – линия, проходящая через экстремумы и ориентированная в направлении юг-север (с максимальной погрешностью $\pm 6^\circ$)	
3	Экстремумы	Максимум соответствует оголовку скважины и имеет величину от +15000 до +56000 нТл Минимум расположен севернее максимума на 10 – 25 м и имеет величину от (-3800) до (-87) нТл	
4	Горизонтальный градиент	От 24500 до 44000 нТл/м в области оголовка скважины (между полюсами аномалии ΔT)	
5	Размер области положительных значений аномалии ΔT над оголовком скважины по уровню поля ≥ 0 нТл	От 20х30 до 350х350 м (в широтном и меридиональном направлении, соответственно)	
6	Размер области отрицательных значений аномалии ΔT по уровню поля ≤ -50 нТл	$\geq 55 \times 50$ м (в широтном и меридиональном направлении, соответственно)	
7	Максимальный срок существования аномалии	Десятки лет	

Вышеприведенные обобщенные характеристики являются косвенными признаками ПЯВ. К такому же признаку проведения ПЯВ можно отнести и динамику геомагнитного поля в эпицентральной зоне, которая может быть выявлена серией последовательных измерений полей Z или T в течение короткого периода времени после ПЯВ - от 10 дней до нескольких месяцев, - что укладывается во временные рамки реальной Инспекции

Природа динамических изменений геомагнитной аномалии в эпицентральной зоне ПЯВ мало изучена. Можно предположить, что изменение поля вызвано несколькими причинами, а именно: флюидодинамическими процессами в верхних слоях геологического разреза (откольная зона ПЯВ); изменением первоначальной намагниченности (термоостаточное, вязкое, динамическое, пьезооптическое, нормальное, идеальное переманчивание в результате ПЯВ и воздействия магнитного поля Земли) [2]. Для изучения природы динамических изменений геомаг-

нитного поля необходимы эксперименты со взрывами обычного взрывчатого вещества и последующим мониторингом геомагнитного поля. Геомагнитный мониторинг в эпицентральных зонах бывших ПЯВ также может прояснить вопрос о стабильности и существовании аномального геомагнитного поля спустя несколько лет после проведения ПЯВ.

По результатам научно-исследовательских работ (Степин А.И, Гидрологическая экспедиция 16 района, партия 27, ПГО “ГИДРОСПЕЦГЕОЛОГИЯ”), где были получены разностные значений $\Delta T_{\text{(разн)}}$, установлено, что ПЯВ может создавать малоконтрастную, но обширную по простиранию аномалию ΔT (1.5-2 км). Аномалия, являющаяся следствием воздействия ПЯВ на вмещающие породы, носит дипольный характер (источник - диполь, на глубине 1/3 размера аномалии), и её амплитуда составляет от 2-13 нТл на расстоянии ~ 1 км и до ~ 60 нТл на расстоянии ~ 100 м от оголовка скважины. Однако выявление данной аномалии по результатам измерений

поля Т является сложной задачей из-за её малой амплитуды, соизмеримой с погрешностью измерений, а так же из-за наличия различного рода магнитных помех, связанных как с геологией, так и с техногенной деятельностью человека. Для выделения геомагнитных аномалий может быть рекомендовано

применение при обработке полевых данных эффективных фильтров сглаживания, особенно при наличии априорной информации [3]. К априорной информации могут быть отнесены данные о протяженности аномалии, её амплитуда, форма и глубина залегания её источника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Договор о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных Испытаний (ДВЗЯИ). – Вена: Подготовительная комиссия Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, - 1998.- 165с.
2. Гринкевич Г.И. Магниторазведка. - Екатеринбург: Уральская государственная горно-геологическая академия, 1998. – 288 с.
3. Никитин А.А. Статистические методы выделения геофизических аномалий. - М.: Недра, 1979. – 280 с.

ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСЫНЫҢ ЫҚПАЛЫ НӘТИЖЕСІНДЕ ГЕОМАГНИТТІК ӨРІСІНІҢ ӨЗГЕРУІ

Сагарадзе Д.А.

Ресей Федеральді ядролық орталығы – Академик Е.И. Забабахин атындағы Бүкілресейлік техникалық физикасы ғылыми-зерттеу институты (РФЯО-БТФФИ), Снежинск, Ресей

Мақалада, жер бетіндегі магнитометриялық технологиясын қолдануымен далалық зерттеулер нәтижелерінің кейбір қорытындысы келтірілген. Жер астындағы ядролық жарылыстар өткізілген 20 астам объектілер зерттелген. Айқындалған геомагнитті аномалиялар мен анықталған мінездемелері сипатталады.

VARIATION OF GEOMAGNETIC FIELD DUE TO UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION EFFECT

D.A. Sagaradze

Russian Federal Nuclear Center – Academician Zababakhin All-Russia Scientific-Research Institute of Technical Physics (RFNC - ARSRITP), Snezhinsk, Russia

This paper includes some information on field research results using technology of ground-based (walking) magnetic measurements. More than 20 sites were investigated. Underground nuclear explosions were conducted on these sites. Discovered geomagnetic anomaly and specified characteristics are being described.

УДК 539.16.07:621.039.9

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВКИ ARIX-3F
И ЕЕ ИСПЫТАНИЕ В РАЙОНЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС**

Попов Ю.С., Преловский В.В., Дубасов Ю.В.

Государственное унитарное предприятие «НПО Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», Санкт-Петербург, Россия

В статье приводится описание установки ARIX-3F, разработанной и изготовленной в НПО «Радиевый институт им. В.Г.Хлопина», для определения изотопов ксенона в почвенном газе. Полевые испытания пробоотборного модуля установки проведены в районе г. Сосновый Бор (вблизи Ленинградской АЭС). По результатам анализа отобранных проб определен коэффициент извлечения ксенона, подтверждена возможность оперативного проведения анализов, получены первые данные по концентрации изотопов ксенона вблизи действующей атомной электростанции.

Основной задачей Инспекции на месте согласно Протоколу к Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний является обнаружение продуктов ядерного деления – радионуклидов ксенона. Для измерения содержания радиоксенона разработано оборудование, которое скомпоновано в виде отдельных модулей. Модульное построение установки обеспечивает оптимальность при проведении полевых работ. На рисунке 1 приведена схема установки для измерения концентрации ксенона в почвенном газе ARIX-3F.

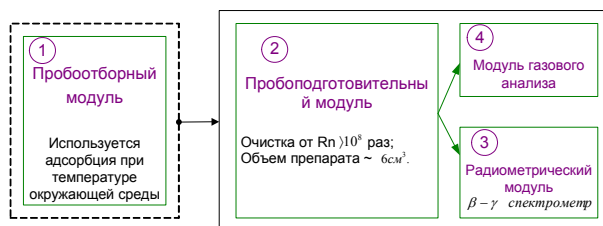


Рисунок 1. Модульный состав установки ARIX-3F

Как видно из рисунка 1, установка состоит из модулей: пробоотборного, пробоподготовительного, радиометрического, газового анализа.

Пробоотборный модуль 1 работает независимо от других модулей. Это - переносной компактный модуль, который легко транспортируется. При пробоотборе используется адсорбционный метод при нормальной температуре.

Пробоподготовительный модуль 2 предназначен для получения спектрометрических препаратов ксенона с использованием метода препаративной газовой хроматографии. Модуль 2 производит очистку сконцентрированной пробы от радона (более чем в 10^8 раз) и от криптона. Объем спектрометрического препарата $\sim 6 \text{ см}^3$.

Радиометрический модуль 3 предназначен для радиометрии препаратов ксенона (бета-гамма спектрометр), работающий по схеме бета-гамма совпадений. Он обеспечивает минимально детектируемую активность 2 мБк.

Модуль газового анализа 4 предназначен для определения стабильного ксенона, содержащегося в спектрометрическом препарате. В нем применяется метод газовой хроматографии.

Модули 2, 3 и 4 объединены в общий блок, в котором последовательно осуществляются следующие операции:

- переработка пробы и получение спектрометрического препарата;
- измерение спектрометрического препарата и выдача результата по активности радиоксенона;
- измерение стабильного ксенона в спектрометрическом препарате;
- расчет объемного содержания радиоксенона в почвенном газе.

Технологический процесс в каждом из модулей 2, 3, 4, а также в общем блоке модулей, управляется специально разработанной компьютерной программой. Для проверки работы установки ARIX-3F в реальных условиях и отработки методики контроля содержания изотопов ксенона в атмосферном воздухе в октябре 2003 г. был проведен выезд в район Ленинградской атомной станции (ЛАЭС). Отобраны 2 пробы атмосферного воздуха, которые были доставлены автомобилем в Радиевый институт, где на установке ARIX-3F они по специальной технологии переработаны в газовые спектрометрические препараты, содержащие ксенон. Эти препараты измерены на спектрометре бета-гамма-совпадений.

Пробы воздуха отобраны с подветренной стороны ЛАЭС при северном направлении ветра в точках, отстоящих от ближайшей вентиляционной трубы станции на 0,5 и 1,5 км. Отбор проб произведен криоконденсационным методом с помощью трубчатого конденсатора оригинальной конструкции, в котором в качестве хладагента используется жидкий азот.

Трубчатый конденсатор работает следующим образом. При подаче жидкого азота в изолированное межтрубное пространство конденсатора на внутренней поверхности трубок конденсируется атмосферный воздух, поступающий в трубное пространство через соответствующий штуцер за счет разрежения, вызванного разницей объемов жидкой и газовой фаз. Жидкий воздух стекает самотеком в нижнюю часть конденсатора, снабженную выпускным клапаном. Процесс конденсации (пробоотбор) регулируется вплоть до его остановки путем изменения сечения линии воздухозабора и дозированной подачи жидкого азота. Сконденсированный воздух перио-

дически сливается через выпускной клапан в сосуд Дьюара вместимостью 2-5 дм³.

Отбор проб описанным способом характеризуется следующими параметрами. При производительности 1 м³/ч расход жидкого азота составляет около 5 дм³ на 1 дм³ конденсата. При этом в получаемых пробах практически отсутствуют углекислота и вла-

га, как правило, затрудняющие последующую переработку проб.

Отобранные пробы газифицируются и перерабатываются по адсорбционной технологии с целью получения из них компактных спектрометрических препаратов. Схема установки, используемой для приготовления спектрометрических препаратов, показана на рисунке 2.

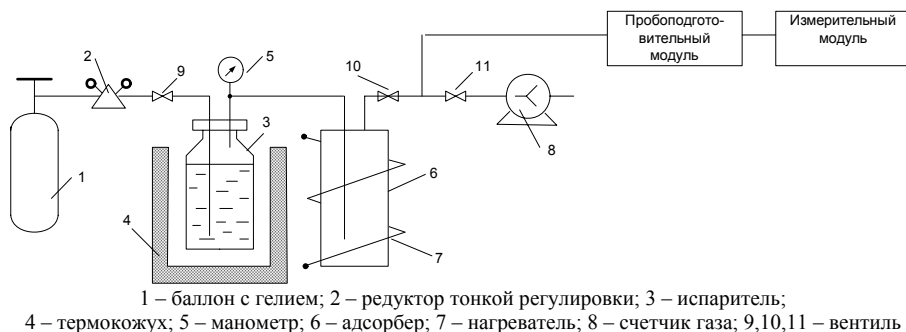


Рисунок 2. Схема установки для приготовления спектрометрических препаратов

После заливки пробы жидкого воздуха в испаритель и герметизации его крышкой установка функционирует следующим образом. Воздух с расходом 12-16 дм³/мин, газифицированный в испарителе (расход регулируется смещением теплоизолирующего кожуха на испарителе), поступает в адсорбер с активированным углем, где при температуре около 20°C поглощаются тяжелые благородные газы, а большая часть воздуха выбрасывается в атмосферу. После полного испарения пробы объемом до 3 дм³ (что соответствует около 2 м³ газа) адсорбер с углем нагревается до температуры 200°C, и в него подается гелий. Гелий захватывает газы, десорбируемые с угля, и переносит их в пробоподготовительный модуль установки ARIX-3F. Процесс переработки про-

бы заканчивается получением компактного препарата ксенона, который направляется в спектрометрическую камеру. Последняя операция выполняется с помощью системы типа пневмоприводного шприца с калиброванным объемом, снабженной датчиком абсолютного давления. Конечный объем фракции, содержащей ксенон, составляет 6 см³. Таким образом, при переработке пробы на установке ARIX-3F коэффициент обогащения ее по ксенону составляет величину более 3×10⁵.

Измерение пробы ксенона проведено на спектрометре, работающем по схеме бета-гамма-совпадений. Время измерения каждой пробы составляло 43 200 с. Результаты измерений представлены в нижеследующей таблице.

Таблица. Результаты измерения проб атмосферного воздуха в районе ЛАЭС

№ пробы	Дата отбора	Расстояние до ЛАЭС, км	Время измерения, ч	Концентрация ¹³³ Xe, mBq/m ³
1	16.10.2003	0,5	12	526±9
2	16.10.2003	1,5	12	192±3,9

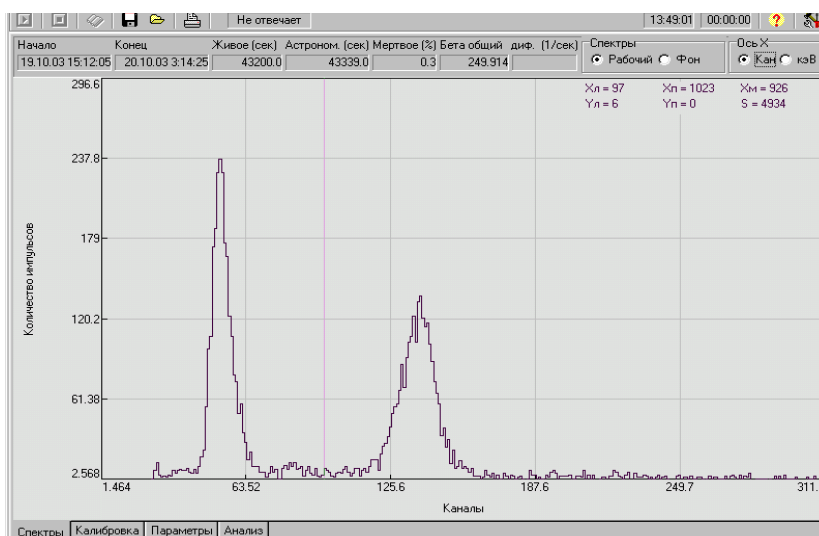


Рисунок 3. Спектр пробы № 2

Как видно из таблицы, концентрация ^{133}Xe в атмосферном воздухе вблизи ЛАЭС значительно превышает его фоновое значение (1mBq/m^3). При этом наблюдается четкая зависимость концентрации ^{133}Xe от расстояния. В измеренных спектрах не обнаружено короткоживущих изотопов ^{135}Xe , что объясняется значительной задержкой измерения отно-

сительно момента отбора пробы. На рисунке 3 представлен спектр пробы № 2.

На рисунке 3 четко видны пики 30 и 80 кэВ ^{133}Xe .

Следует отметить, что испытания установки ARIX-3F, проведенные в октябре 2003 г, были первыми, пробными. Планируется продолжение испытаний с целью отработки методики пробоотбора не только атмосферного воздуха, но и почвенного газа.

ARIX-3F ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ МІНЕЗДЕМЕЛЕРІ ЖӘНЕ ЛАЭС АУДАНЫНДА ОНЫҢ СЫНАУЫ

Попов Ю.С., Преловский В.В., Дубасов Ю.В.

«В.Г. Хлопин атындағы радий институты ФӨБ» МБК, Санкт-Петербург, Ресей

Мақалада, топырақ астындағы газда ксенон изотоптерін анықтау үшін «Радий институты» ФӨБ-де әзірленген және жасалған FRIX-3F қондырғысының сипаттамасы келтірілген. Қондырғының сынама алу модулінің далалық сынаулары Сосновый Бор қ. ауданында (Ленинград АЭС жанында) өткізілген. Алынған сынамаларын талдау нәтижелері бойынша ксенон алу коэффициенті анықталған, талдауын жедел өткізу мүмкінділігі расталған, қолданыстағы атом электрстанциясының жанында ксенон изотоптерінің шоғырлану бойынша бірінші деректері алынған.

FEATURES INVESTIGATION OF ARIX-3F FACILITY AND ITS TEST AT LENINGRADSKAYA APP (ATOMIC POWER PLANT) REGION

Yu.S. Popov, V.V. Prelovski, Yu.V. Dubasov

State Unitary Enterprise "V.G. Khlopin Radium Institute", St-Petersburg, Russia

This paper gives description of ARIX-3F facility, designed and manufactured in "V.G. Khlopin Radium Institute" for xenon isotopes determination in subsoil gas. Field experiments of sampling facility model were conducted in the area of Sosnovy Bor City (near Leningradskaya APP). Xenon extraction coefficient was defined according to selected samples analysis results. A possibility of on-line analysis conduction was confirmed. First data on xenon isotopes concentration near operating Atomic Power Plant were obtained.

УДК 621.039.59:658.562.3

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОИЗОТОПОВ КСЕНОНА ПО СХЕМЕ β - γ -СОВПАДЕНИЙ В КОМПЛЕКСЕ ARIX-3F ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ

Попов В.Ю., Рыков Ю.М.

Государственное унитарное предприятие «НПО Радиовый институт им. В.Г. Хлопина», Санкт-Петербург, Россия

В статье описана методика определения продуктов ядерного деления радионуклидов ксенона, заключающаяся в оценке соотношения числа отсчетов в фотопике 30 кэВ и в фотопике 80 кэВ, измеренных в режиме β - γ -совпадений. Это соотношение при отсутствии ^{131m}Xe является постоянной величиной для конкретной измерительной установки ($K_0 \approx 1,12-1,20$). Превышение установленной величины, выявляемое в процессе проведения Инспекции на месте, свидетельствует о количестве ^{131m}Xe в подпочвенном газе. Проведена экспериментальная оценка минимально детектируемой активности для изотопов ^{131}Xe и ^{131m}Xe . Разработаны расчетные методы, подтвердившие экспериментальные данные.

При проведении Инспекции на месте по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний задача обнаружения радионуклидов ксенона ограничивается обнаружением двух относительно долгоживущих радионуклидов - ^{133}Xe ($T_{1/2} = 5,247$ дн.) и ^{131m}Xe ($T_{1/2} = 11,84$ дн.). Детектирующая система в технических средствах, используемых для этих определений, базируется на регистрации гамма-, рентгеновского, бета-излучений и электронов конверсии сцинтилляционным методом. Для первых двух излучений используется кристалл NaI(Tl) с колодцем, а для остальных – полистирольная пленка. Зарегистрированные гамма-кванты и фотоны рентгеновского излучения поступают в гамма-спектрометр, работающий по схеме β - γ -совпадений (или совпадений конверсионных электронов с фотонами рентгеновского излучения). Таким образом, спектр формируется только теми гамма-квантами (фотонами рентгеновского излучения), которые совпадают по времени (в определенном временном интервале) с β -частицами (электронами конверсии). Применение метода β - γ -совпадений позволяет снизить фон в гамма-спектре примерно на 2 порядка.

В таблице приведены некоторые центроиды фото-пигов изотопа ^{133}Xe , наблюдаемые в гамма-рентгеновском спектре.

Таблица. Фото-пики изотопов ксенона

Изотоп	Фото-пик	Интенсивность
^{133}Xe	79,62 кэВ	0,29%
	80,99 кэВ	36,3%
	30,63 кэВ	13,5%
	30,47 кэВ	25,0%
	35,13 кэВ	9,0%
^{131m}Xe	29,46 кэВ	16,1%
	29,78 кэВ	29,9%
	33,76 кэВ	10,6%

В таблицу включены только фотопики, совпадающие по времени с соответствующими β -частицами или электронами конверсии. Для удобства ниже они будут называться фотопиками в области 30 кэВ ($ROI-30$ keV) и в области 80 кэВ ($ROI-80$ keV).

Для обнаружения радионуклида ^{131m}Xe по $ROI-30$ keV на фоне радионуклида ^{133}Xe , также имеющем

отсчеты в области $ROI-30$ keV, используется соотношение:

$$K_0 = \frac{S_{30}^{133}}{S_{80}^{133}} \approx 1,2 \div 1,3,$$

которое определяется экспериментально с заданной точностью δK_0 для каждого конкретного детектора – спектрометра. На основе этого соотношения определяется число отсчетов, относящихся к радионуклиду ^{131m}Xe :

$$S_{30}^{131m} = S_{30} - S_{30}^{133} = S_{30} - K_0 \cdot S_{80}^{133},$$

где: S_{30} – суммарное число отсчетов для обоих радионуклидов в $ROI-30$ keV.

Предел детектирования с заданной доверительной вероятностью вычисляется согласно известному соотношению из теории обнаружения:

$$L_D = k^2 + 2k \sqrt{m_B + \sigma_B^2 + m_I + \sigma_I^2},$$

где: L_D – минимальное число отсчетов, которое может быть зарегистрировано по данному радионуклиду на уровне существующего фона (B) и интерферирующего радионуклида (I) для заданного квантиля k нормального распределения. При $k=1,645$ доверительная вероятность равна 0,95; при $k=0,47$ доверительная вероятность равна 0,68; m_I , σ_I – математическое ожидание числа отсчетов фона и его среднеквадратическая ошибка; m_B , σ_B – математическое ожидание числа отсчетов интерферирующего радионуклида и его среднеквадратическая ошибка.

Поскольку у радионуклида ^{133}Xe нет интерферирующего радионуклида в области $ROI-80$, то для него предел детектирования равен

$$L_D(^{133}\text{Xe в } ROI-80) = \\ = k^2 + 2k \sqrt{m_{B\text{ ROI-80}} + \sigma_{B\text{ ROI-80}}^2}.$$

У радионуклида ^{131m}Xe имеется интерферирующий радионуклид ^{133}Xe в области $ROI-30$, поэтому для него предел детектирования равен

$$L_D(^{131m}\text{Xe в } ROI-30) =$$

$$= k^2 + 2k \sqrt{m_{BROI-30}^2 + \sigma_{BROI-30}^2 + S_{30}^{133} + \sigma^2(S_{30}^{133})}.$$

Если в результате измерений получено подтверждение достижения предела детектирования, т.е. выполняются неравенства:

$$S_{80}^{133} \geq L_D(^{133}\text{Xe в ROI-80}),$$

$$S_{30}^{131m} \geq L_D(^{131m}\text{Xe в ROI-30}),$$

то вычисляются активность (А) и минимально детектируемая активность (МДА) по нижеприводимым формулам. В противном случае делается вывод, что соответствующие целевые радионуклиды Xe не обнаружены.

$$A(^{133}\text{Xe}) = \frac{S_{80}^{133}}{\varepsilon_{80}^{\beta-\gamma,\Sigma}} \cdot \frac{\lambda_{133}}{1 - \exp(-\lambda_{133} \cdot T_{DS})},$$

$$\text{МДА}(^{133}\text{Xe}) = \frac{L_D(^{133}\text{Xe в ROI-80})}{\varepsilon_{80}^{\beta-\gamma,\Sigma}} \cdot \frac{\lambda_{133}}{1 - \exp(-\lambda_{133} \cdot T_{DS})}$$

$$A(^{131m}\text{Xe}) = \frac{S_{30}^{131m}}{\varepsilon_{30}^{e-x,\Sigma}} \cdot \frac{\lambda_{131m}}{1 - \exp(-\lambda_{131m} \cdot T_{DS})},$$

$$\text{МДА}(^{131m}\text{Xe}) = \frac{L_D(^{131m}\text{Xe в ROI-30})}{\varepsilon_{30}^{e-x,\Sigma}} \cdot \frac{\lambda_{131m}}{1 - \exp(-\lambda_{131m} \cdot T_{DS})},$$

где: λ_{133} , λ_{131m} - постоянные распада ^{133}Xe и ^{131m}Xe ; T_D - время измерения пробы ксенона в детекторе-спектрометре; $\varepsilon_{80}^{\beta-\gamma,\Sigma}$ - комплексная эффективность регистрации γ -квантов в режиме совпадений с β -частицами в ROI-80, равная $\varepsilon_{80}^{\beta-\gamma,\Sigma} = \varepsilon_{80}^{\gamma} \cdot Y_{80}^{133} \cdot \varepsilon_{30}^{\beta,133} \cdot Y_{30}^{\beta,133}$; $\varepsilon_{30}^{e-x,\Sigma}$ - комплексная эффективность регистрации x -фотонов в режиме совпадений с электронами конверсии в ROI-30, равная $\varepsilon_{30}^{e-x,\Sigma} = \varepsilon_{30}^x \cdot Y_{30}^{133m} \cdot \varepsilon_{30}^{e,133m} \cdot Y_{30}^{e,133m}$.

Смножителями комплексных эффективностей являются: $\varepsilon_{80}^{\gamma}=0,72$ - эффективности регистрации гамма-квантов в ROI-80; $Y_{80}^{133}=0,374$ - интенсивность гамма-квантов ^{133}Xe в ROI-80; $\varepsilon_{30}^{\beta,131}=0,750$ - эффективность регистрации β -частиц ^{133}Xe ; $Y_{30}^{\beta,133}=0,999$ - интенсивность β -частиц ^{133}Xe ; $\varepsilon_{30}^x=0,5$ - эффективность регистрации фотонов рентгеновского излучения в ROI-30; $Y_{30}^{133m}=0,547$ - интенсивность фотонов рентгеновского излучения ^{131m}Xe в ROI-30; $\varepsilon_{30}^{e,131m}=0,938$ - эффективность регистрации электронов конверсии ^{131m}Xe ; $Y_{30}^{e,133m}=0,981$ - интенсивность электронов конверсии ^{131m}Xe .

Относительная погрешность измерения активности радионуклидов ксенона на уровне 1σ определяется выражениями:

$$\delta^2 A(^{133}\text{Xe}) = \delta^2 S_{30}^{133} + \delta^2 \varepsilon_{80}^{\beta-\gamma,\Sigma},$$

$$\delta^2 A(^{131m}\text{Xe}) = \delta^2 S_{30}^{131m} + \delta^2 \varepsilon_{30}^{e-x,\Sigma}.$$

$$\delta \varepsilon_{80}^{\beta-\gamma,\Sigma} \approx 0,07;$$

$$\delta \varepsilon_{30}^{e-x,\Sigma} \approx 0,10$$

При измерении активности на уровне, соответствующем минимально детектируемой активности, статистическая погрешность:

$$\delta S_{80}^{133} \approx 0,30;$$

$$\delta S_{30}^{131m} \approx 0,40.$$

При измерении активности, превышающей минимально детектируемую активность в несколько раз, статистическая погрешность существенно уменьшается. Экспериментальная проверка показала, что в процессе проведения Инспекции на месте при экспозиции 24 ч минимально детектируемая активность целевых радионуклидов может быть обеспечена до 1 мБк при доверительной вероятности 0,68 и до 2 мБк при доверительной вероятности 0,95. Если временной интервал между моментом предполагаемого несанкционированного ядерного взрыва и началом проведения Инспекции на месте не превышает $\approx 15 \div 30$ дней, то можно ожидать присутствия в пробе ксенона радионуклида ^{133m}Xe ($T_{1/2} = 2,188$ дн.).

В этом случае в разности $(S_{30} - S_{30}^{133})$ присутствуют ^{131m}Xe и ^{133m}Xe , т.е. $(S_{30} - S_{30}^{133}) = S_{30}^{131m} + S_{30}^{133m} \approx S_{30}^{133m,133m}$.

Разделение суммы на два слагаемых осуществляется на основе пятикратного отличия периодов полураспада метастабильных радионуклидов ксенона. Для этого выполняются следующие процедуры:

а) через каждые 2 часа экспозиции измеряются и вычисляются частичные суммы:

$$\text{в интервале } 0-2 \text{ ч} - S_1^{131m,133m} \approx S_1,$$

$$\text{в интервале } 0-4 \text{ ч} - S_2^{131m,133m} \approx S_2,$$

$$\text{в интервале } 0-2i \text{ ч} - S_i^{131m,133m} \approx S_i,$$

а также их погрешности $\delta S_1, \delta S_2 \dots \delta S_i$.

б) вычисляются коэффициенты:

$$F_{11} \approx F(\lambda_{131m}, 2 \text{ ч}) = (1 - e^{-\lambda_{131m} \cdot 2 \text{ ч}}) / \lambda_{131m},$$

$$F_{i1} \approx F(\lambda_{131m}, 2i \text{ ч}) = (1 - e^{-\lambda_{131m} \cdot 2i \text{ ч}}) / \lambda_{131m},$$

$$F_{13} \approx F(\lambda_{133m}, 2 \text{ ч}) = (1 - e^{-\lambda_{133m} \cdot 2 \text{ ч}}) / \lambda_{133},$$

$$F_{i3} \approx F(\lambda_{133m}, 2i \text{ ч}) = (1 - e^{-\lambda_{133m} \cdot 2i \text{ ч}}) / \lambda_{133}$$

в) составляется матричное уравнение

$$\begin{pmatrix} F_{11} & F_{13} \\ F_{i1} & F_{i3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 \\ S_i \end{pmatrix},$$

или в векторной форме $\bar{F} \cdot \bar{I} = \bar{S}$,

где I_1, I_2 - интенсивности радионуклидов ^{131m}Xe и ^{133m}Xe , соответственно, на момент начала измерения (числа отсчетов в единицу времени).

Решая это матричное уравнение методом наименьших квадратов, получаем решение для интенсивности метастабильных радионуклидов и их дисперсии:

$$\hat{\bar{F}} = (\bar{F}^T \bar{F})^{-1} \cdot \bar{F}^T \cdot \bar{S},$$

$$D\hat{\bar{F}} = (\bar{F}^T \bar{F})^{-1} \cdot \bar{F}^T \cdot D\bar{S} [(\bar{F}^T \bar{F})^{-1} \cdot \bar{F}^T]^T,$$

где $(\cdot)$ над векторами означает их оценку методом наименьших квадратов.

**ОРНЫНДАҒЫ ИНСПЕКЦИЯ МӘСЕЛЕЛЕРІН ШЕШУІНДЕ ARIX-3F
ҚОНДЫРҒЫСЫНДА β - γ -ҮЙЛЕСУ ҮЛГІСІ БОЙЫНША КСЕНОН
РАДИОИЗОТОПТЕРІН СПЕКТРМЕТРЛІК ӨЛШЕУІНІҢ НӘТИЖЕЛЕРІН ӨНДЕУІ**

Попов В.Ю., Рыков Ю.М.

«В.Г. Хлопин атындағы радий институты ФӨБ» МБК, Санкт-Петербург, Ресей

Мақалада, β - γ -үйлесу режимінде өлшенген 30 кэВ фотошыңындағы және 80 кэВ фотошыңындағы санау сандарының арақатысын бағалауына кіретін ксенон радионуклидтерінің ядролық бөлінуінің өнімдерін анықтау әдістемесі сипатталады. Бұл арақатыс, ^{131m}Xe жоқ болуында, нақтылы қондырғысына тұрақты шама болып табылады ($K_0 \approx 1,12-1,20$). Орындағы инспекциясын өткізу процессінде айқындалған шаманың шегінен шығуы топрақ астындағы газда ^{131m}Xe саны туралы куәландырады. ^{131}Xe және ^{131m}Xe үшін минимальды детектрленетін белсендісінің экспериментальдық бағалауы өткізілген. Экспериментальды деректерін растаған есептеу әдістері әзірленген.

**PROCESSING OF RADIOXENON SPECTROMETRIC MEASUREMENTS RESULTS
WITH β - γ -COINCIDENCES CIRCUIT IN ARIX-3F COMPLEX FOR OSI TASKS SOLUTION**

V.Yu. Popov, Yu. M. Rykov

State Unitary Enterprise “V.G. Khlopin Radium Institute”, St-Petersburg, Russia

This paper describes nuclear fission products technique of xenon radionuclides. The technique should evaluate scale numbering ratio in photopeak of 30 keV and in photopeak of 80 keV, measured in β - γ -coincidences mode. This ratio is a constant value for a specific measuring facility ($K_0 \approx 1,12-1,20$) in case of ^{131m}Xe absence. The given value increase, that was revealed during on-site inspection, testifies quantity of ^{131m}Xe in subsoil gas. Experimental evaluation of minimal detected activity was conducted for ^{131}Xe and ^{131m}Xe . Designed methods were developed. The methods approved experimental data.

УДК 621.039.3:621.039.9

ПОЛУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ $^{133,131m}\text{Xe}$ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ
ПО ИЗМЕРЕНИЮ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ В ЗАДАЧАХ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ

Попов В.Ю., Казаринов Н.М., Преловский В.В.

Государственное унитарное предприятие «НПО Радиевый институт им. В.Г. Хлопина», Санкт-Петербург, Россия

В статье описана методика создания образцовых мер, содержащих радионуклиды ксенона и стабильный ксенон, а также методика проведения калибровки измерительной установки, которые могут быть использованы для обнаружения аномалий радиоксенона при проведении Инспекции на месте. Погрешность активности калибровочных препаратов составила 2-4%.

Достоверность определения аномального содержания радиоксенона при проведении Инспекции на месте в значительной степени определяется качеством проводимой калибровки измерительных средств, необходимость которой определяется рядом причин, по которым происходят изменения эффективности регистрации γ -детектора, β -детектора, качества работы электронных элементов, участвующих в работе детектирующего блока и др.

Основной способ поверки установок, измеряющих радиоактивные изотопы ксенона, - это использование образцовых мер, содержащих радионуклиды ксенона и стабильный ксенон. В НПО «Радиевый институт» разработана установка для наработки радионуклидов ксенона, а также методика проведения калибровки измерительных установок.

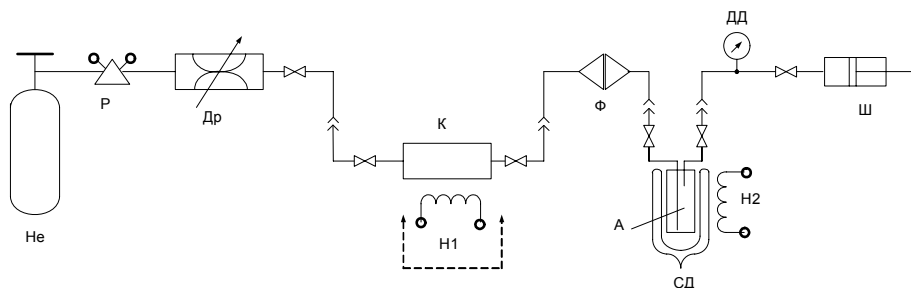
Полевые работы по обследованию инспектируемой территории могут начаться приблизительно через месяц после факта проведения несанкционированного ядерного взрыва. По истечении такого срока в подпочвенном газе реально останутся только долгоживущие изотопы ксенона - ^{133}Xe (5,24 d) и ^{131m}Xe (11,8 d). Поэтому калибровать измерительные средства следует смесью этих изотопов. Первый из названных изотопов (^{133}Xe) производится в Радиевом институте путем облучения ^{235}U нейтронами и может быть выделен в газовой фазе. Что касается изотопа ^{131m}Xe , то для его получения используется водный раствор иодида натрия с ^{131}I , производимый в НИФХИ им. Л.Я. Карпова. При хранении этого раствора во флаконе накапливается изотоп ^{131m}Xe , образующийся в результате распада ^{131}I . Для аттестации газообразных источников необходимо выполнить следующие операции:

1) наработка и выделение ^{133}Xe и измерение его активности;

- 2) выделение ^{131m}Xe и измерение его активности;
3) получение газообразных источников ^{131m}Xe и ^{133}Xe заданной активности в калибровочном препарате;
4) аттестация калибровочного препарата.

Ниже приведена методика приготовления спектрометрических препаратов, предусматривающая сначала получение исходных препаратов повышенной активности, а затем разбавление газовых аликвот этих препаратов. Для реализации методики создана установка, позволяющая нарабатывать ^{133}Xe и другие благородные газы облучением ^{235}U тепловыми нейтронами и последующим выделением газов на сорбент. Работа установки состоит в следующем. Двухокись ^{235}U в виде порошка помещается в алюминиевый контейнер. Контейнер выполнен в виде цилиндра, имеющего входной и выходной патрубки, на которые надеты резиновые вакуумные трубки с входами, перекрытыми зажимами. Для наработки газообразных продуктов деления контейнер помещается в нейтронный облучатель. Конструкция нейтронного облучателя представляет собой цилиндр, заполненный полиэтиленом, внутри которого находятся четыре точечных препарата ^{252}Cf . По оси нейтронного облучателя располагается колодец, куда помещается контейнер с ураном.

Оптимальное время наработки ^{133}Xe составляет 15 суток (3 периода полураспада $^{133}\text{Xe} = 5,24$ суток). За это время нарабатывается около 1000 Bq ^{133}Xe . При облучении в течение 12 часов активность ^{133}Xe составляет около 100 Bq, что вполне достаточно для изготовления серии калибровочных источников. Выделение газообразных продуктов деления из контейнера проводится по технологической схеме, приведенной на рисунке 1.



He – баллон с гелием; Р – редуктор высокого давления; Др – дроссель; К – контейнер с U – 235; Н1, Н2 – нагреватели; Ф – фильтр аэрозолей; А – ампула; СД – сосуд Дьюара; ДД – датчик давления

Рисунок 1. Установка для приготовления исходных препаратов ^{133}Xe

Для получения исходного препарата, содержащего ^{133}Xe , облученный проточный контейнер с ^{235}U присоединяется к установке. Контейнер нагревается до температуры 80°C и через него пропускается гелий с расходом около $0,03$ л/мин. Осколочный ксенон, накопившийся в контейнере в результате деления урана, захватывается потоком гелия, проходит через фильтр с тканью Петрянова для отделения аэрозольных примесей и поступает в охлаждаемую жидким азотом ампулу с углем, где адсорбируется. После пропускания заданного объема гелия процесс продувки контейнера прекращается, вход ампулы герметизируется, и она извлекается из жидкого азота. Десорбируемые при расхолаживании балластные газы сбрасываются со стороны выхода ампулы, и по достижении небольшого избыточного давления газа (контроль давления ведется с помощью датчика давления) выход ампулы закрывается. Ампула отделяется от установки и сохраняется в качестве исходного препарата, содержащего ^{133}Xe .

Исходный препарат $^{131\text{m}}\text{Xe}$ может быть получен в проточной ампуле с углем без привлечения специального оборудования. Для этого резиновую пробку флакона с раствором иодида натрия (^{131}I) прокалывают инъекционной иглой, надетой на шприц вместимостью $10\text{--}25\text{ см}^3$. Выполняют несколько качательных движений поршнем шприца, после чего фиксируют поршень в положении максимального отобранного объема газа. Извлекают иглу из пробки флакона и сразу через трубку с тканью Петрянова (фильтр) вводят отобранный газ в охлажденную ампулу с углем. Далее, вход ампулы герметизируют, ампулу расхолаживают, а десорбируемый при этом балластный газ сбрасывают через выход ампулы, который затем закрывают.

Далее ампулы поступают на первичное измерение активности, результат которого позволяет установить процедуру получения препарата заданной активности. Эта процедура заключается в расчете объема газовой фазы, в которую должен быть переведен ксенон, определении объема аликвот и степени их разбавления.

Перевод ксенона из ампулы с углем в газовую фазу осуществляется аналогично. Для этого контейнер с ^{235}U отсоединяется и заменяется перемычкой (трубкой), ампула нагревается до температуры 200°C и через нее пропускается расчетный объем гелия, который поступает в шприц с калиброванным объемом. Затем шприц герметизируется и подключается к устройству, с помощью которого отбирают аликвоты и готовят спектрометрические препараты. Схема устройства приведена на рисунке 2.

В состав устройства входит набор калиброванных шприцев вместимостью $1, 2, 5, 25$ и 150 см^3 , собранных в герметичную систему. Другие элементы устройства, кроме шприцев, имеют следующие

назначение: ДД – миниатюрный (с минимальный мертвым объемом) датчик абсолютного давления позволяет производить отбор аликвот и их разбавление под контролем давления; Вн – вакуумный насос предназначен для вакуумирования и промывки системы после отбора и разбавления аликвот; Нг – баллон с запасом гелия и дроссельным устройством плавного регулирования расхода газа для промывки системы и разбавления аликвот.

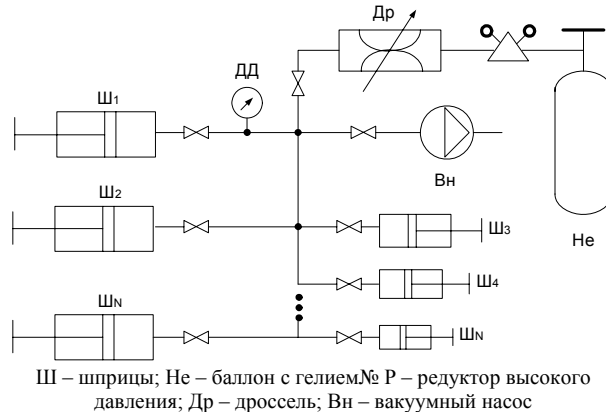


Рисунок 2. Устройство для отбора и разбавления аликвот

Устройство функционирует следующим образом. Из шприца с исходной активностью (как правило, относительно большой) отбирается аликвота расчетного объема, при этом поршни обоих шприцев должны быть установлены в положение, при котором ДД показывает заданное значение давления (например, 760 мм рт. ст.). После этого оба шприца герметизируются, и система промывается путем вакуумирования, а при необходимости – гелием.

Для уменьшения активности первой аликвоты содержащее соответствующего шприца отсасывают шприцем большего объема. Шприц от первой аликвоты герметизируют, а в систему и открытый шприц подается заданный объем гелия, после чего этот шприц герметизируют, систему вакуумируют и т.д.

Достоинством описанного способа получения препаратов заданной активности является возможность одновременного (т.е. в одинаковых условиях) приготовления серии препаратов, в т.ч. содержащих смесь радионуклидов, требуемых при проведении Инспекции на месте, и, что особенно важно, для калибровки нескольких спектрометров.

Проведено определение погрешности изготовленных препаратов. Она составила менее 2% , а при разбавлении исходного препарата в 2000 раз погрешность конечного препарата составила 4% . Основным достоинством описанного метода является получение калибровочных аттестованных источников, близких к измеряемой активности $1\text{--}100\text{ мВк}$ с погрешностью в несколько процентов.

**ОРНЫНДАҒЫ ИНСПЕКЦИЯ МӘСЕЛЕЛЕРІНДЕ БЕГЗАТ ГАЗДАРЫН ӨЛШЕУ
БОЙЫНША ЖАБДЫҚТАРЫН КАЛИБРЛЕУ ҮШІН $^{133,131}\text{M}\text{Xe}$ КӨЗДЕРІН АЛУЫ**

Попов В.Ю., Казаринов Н.М., Преловский В.В.

«В.Г. Хлопин атындағы радий институты ФӨБ» Мемлекеттік бірыңғай кәсіпорыны, Санкт-Петербург, Ресей

Мақалада, ксенон радионуклидтері және тұрақты ксенон болуының үлгілі өлшемдерін жасау әдістемесі, сондай-ақ Орнындағы инспекциясын өткізуінде радиоксенон аномалияларын табу үшін қолдануға болатын қондырғылардың калибрлеуін өткізу әдістемесі сипатталған. Калибрлеу препараттарының белсендігінің қателілігі 2-4% шамасында болды.

**OBTAINING $^{133,131}\text{M}\text{Xe}$ SOURCES FOR EQUIPMENT CALIBRATION
ON NOBLE GAS MEASUREMENT ACCORDING TO OSI TASKS**

V.Yu. Popov, N.M. Kazarinov, V.V. Prelovski

State Unitary Enterprise “V.G.Khlopin Radium Institute”, St-Petersburg, Russia

This paper describes creation techniques of standard measures containing xenon radionuclides and stable xenon and also techniques of facilities calibration, which could be used for radioxenon anomaly detection during on-site inspection. The inaccuracy of activity of calibration devices was 2-4%.

УДК 539.121.6:621.039.9

**АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ ФГУ НПП «ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА»
ДЛЯ РЕШЕНИЯ РАДИОЭКОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ****Мац Н.А., Степанов И.В., Хайкович И.М.***Федеральное государственное учреждение НПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, Россия*

Результаты площадных съемок техногенного загрязнения Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и прилегающих к нему территорий [1-3] убеждают в том, что создание технологии быстрого, надежного и дешевого выделения территорий, загрязненных техногенными (ТРН) и естественными (ЕРН) радионуклидами, и территорий, безопасных в радиационном отношении, по-прежнему актуально. Для ускоренного и надежного решения этой проблемы необходимо создать, используя последние теоретические, методические, аппаратные и метрологические разработки, современный комплекс исследований и картирования радиационно-опасных полей, который включает воздушные, наземные и каротажные работы и который позволит в кратчайшие сроки выделить наиболее опасные в биологическом отношении радионуклиды. Для этого могут быть использованы опыт, исследования и разработки специалистов РФ.

Радиоэкогеологическое обследование территорий представляют собой полный цикл исследований, в процессе которых, наряду с получением информации о величине и характере радиоактивного загрязнения, применяют оперативные меры с целью ликвидации выявленных загрязнений. Этот цикл, как правило, состоит из трех этапов: спектрометрическая аэрогамма-съемка (АГС-съемка), спектрометрическая автогамма-съемка (АвтоГС-съемка), пешеходная съемка. Для изучения последствий подземных ядерных взрывов дополнительно применяют спектрометрический гамма-каротаж (СГК).

Применение АГС-съемки позволяет оперативно выявить и оконтурить участки повышенной радиоактивности, обусловленные техногенными (ТРН) и естественными (ЕРН) радионуклидами, определить природу (радионуклидный состав) источников ионизирующих излучений (ИИИ), оценить степень площадной загрязненности обширных территорий, выявить локальные участки с высокими значениями мощности экспозиционной (эквивалентной) дозы γ -излучения (МЭД). Данные АГС-съемки используют при планировании заверочных наземных исследований.

АвтоГС-съемка - оперативный наземный метод поисков и оценки радиоактивной загрязненности территорий. Этот вид съемок обеспечивает рекогносцировочное обследование площади с выявлением значительных по размеру аномальных участков и участков радиоактивного загрязнения с высокими значениями МЭД γ -излучения.

Пешеходная γ -съемка - основной метод выявления, локализации и детализации выявленных аномальных участков и участков радиоактивного загрязнения, выявленных на предыдущих этапах исследований. Комплекс наземных радиометрических работ включает детальную пешеходную γ -съемку (а, при необходимости, - шпуровую) в радиометрическом и спектрометрическом вариантах, а также отбор проб с последующим их лабораторным анализом.

Скважинная γ -спектрометрия позволяет установить наличие (или отсутствие) продуктов ядерных взрывов в непосредственной окрестности взрыва, а также направление их миграции.

ФГУ НПП «Геологоразведка» (ВИРГ-Рудгеофизика) имеет практически полувековой опыт разработки геофизических и геохимических методов поисков и разведки месторождений урановых руд и почти четверть вековой опыт исследования радиационной обстановки больших территорий с применением методов воздушных, наземных и скважинных исследований. Создан ряд эффективных технологий, основанных на научных достижениях в области ядерной физики, приборостроения и вычислительной техники. В последние десятилетия разработанные технологии приобрели особое значение в связи с изучением состояния и контролем радиоактивного загрязнения окружающей среды. Особенность этих технологий заключается в комплексном подходе к оценке радиоактивного загрязнения территорий и в единстве теоретического, методического, аппаратного и метрологического обеспечения решаемых задач. Технологии были широко использованы при оценке радиоактивного загрязнения территории Европейской части бывшего Советского Союза, вызванного аварией на Чернобыльской АЭС.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведены исследования с целью оптимальной организации радиоэкогеологического обследования больших территорий, выбора способа регистрации и интерпретации данных полевой гамма-спектрометрии, спектрометрического гамма-каротажа, а также оптимальной организации метрологического обеспечения (МО) и т.д. Установлено, в частности, что при использовании аппаратуры с датчиками, разрешение которых по линии ^{137}Cs более 8%, меньшую погрешность обеспечивает т.н. «малоканальная» гамма-спектрометрия, когда число каналов равно $N+1$, где N - число анализируемых элементов.

Теоретические исследования в области организации МО позволили построить единую систему, в которой исходным образцовым средством измерений (ИОСИ) является комплект Государственных стандартных образцов (ГСО), хранящий массовые доли ЕРН и значения поверхностной активности ТРН. Показано, что в качестве стандартных образцов могут быть использованы естественные полиго-

ны и контрольно-поверочные скважины. Разработаны инструментальные методы передачи размера единиц от ИОСИ.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Составлены Регламенты и Инструкции, которые устанавливают порядок выполнения работ по оценке радиационной обстановки. Эти документы, в частности, позволили аккредитовать Лабораторию радиационного контроля (ЛРК) ФГУ НП «Геологоразведка» в Системе аккредитации лабораторий радиационного контроля (САРК) РФ. ЛРК получила право на испытания следующих объектов:

- материалы строительные;

- почвы и грунты;
- территории, в том числе под строительство зданий и сооружений;
- помещения промышленного, жилищного и социально-бытового назначения в зданиях и сооружениях;
- объекты нефтегазового комплекса: производственные отходы и территории.

Данные по объектам испытаний и соответствующая им нормативная документация приведены в таблице 1.

Таблица 1. Перечень объектов испытаний и соответствующих им средств измерений и нормативных документов

Объект испытаний	Измеряемая величина, диапазон измерения, погрешность измерения ($P=0,95$), средства измерения	Нормативная документация на		
		объект испытаний	методы подготовки испытаний	методы выполнения испытаний
1. Материалы и изделия строительные	Эффективная удельная активность природных радионуклидов ($Ra-226$, $Th-232$, $K-40$) Диапазон измерения: 100 - 2000 Бк/кг; погрешность измерений - от 10 до 30%; Средства измерений – радиометр-концентратор РКП-305М, спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС»	НРБ-99	ГОСТ 30108-94	МВИ-28-01. Инструкция. Измерение удельной эффективной активности природных радионуклидов в строительных материалах и изделиях приборами РКП-305М, РКП-305МС, РКП-306
2. Почвы, грунты	Объемная активность радона в грунтовой среде Диапазон измерения: 20-10000 кБк/м ³ ; погрешность измерений - не более 40% Средство измерения – Радиометр радона РЗА-04 «Омега-5М»			МВИ-31-01. Методика выполнения измерений объемной активности радона в грунтовой среде
3. Территории	Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения Диапазон измерения: 0,1 - 40 мкЗв/ч; погрешность измерения - от 50 до 90 % Средство измерения – дозиметр ДРГ-01Т1	НРБ-99	МРК-27-01. Радиационный контроль территорий. Регламент радиационного контроля территорий городов и населенных пунктов	МВИ-29-01. Инструкция. Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы при радиационном контроле методом пешеходной гамма-съемки территорий городов и населенных пунктов.
	Плотность потока радона с поверхности грунта Диапазон измерения 2-2000 мБк/(м ² ·с); погрешность измерения не более 30% Средство измерения – комплект оборудования на основе активированного угля НТЦ «Нитон», спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС»		МРК-27-01. Радиационный контроль территорий. Регламент радиационного контроля территорий городов и населенных пунктов	Методика измерения плотности потока радона с поверхности земли и строительных конструкций
4. Помещения промышленного, жилищного и социально-бытового назначения в зданиях и сооружениях	Мощность амбиентной дозы гамма-излучения Диапазон измерения от 0,1-40 мкЗв/ч; погрешность измерения от 50 до 90 % Средство измерения – дозиметр ДРГ-01Т1	НРБ-99	МУ 2.6.1.715-98	Методика выполнения измерений мощности амбиентного эквивалента дозы
	Эквивалентная равновесная объемная активность радона Диапазон измерения 10-10000 Бк/м ³ ; погрешность измерения не более 50% Средство измерения – радиометр радона РЗА-04 «Омега-5М»	НРБ-99	МУ 2.6.1.715-98	МВИ-30-01.. Методика выполнения измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона и торона в воздухе
	Объемная активность радона Диапазон измерения 15-10000 Бк/м ³ ; погрешность измерения не более 30%. Средство измерения – комплект оборудования НТЦ «Нитон», Спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС»	НРБ-99	МУ 2.6.1.715-98	Методика измерений средней за время экспозиции объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений. Методика измерений объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений, а также в рудниках всех типов, путем отбора пробы воздуха

5. Объекты нефтегазового комплекса 5.1. Производственные отходы	<i>Эффективная удельная активность природных радионуклидов (Ra-226, Th-232, K-40).</i> Диапазон измерения 100 - 2000 Бк/кг; погрешность измерений от 10 до 30%. Средство измерений – радиометр-концентратор РКП-305М; спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС»	НРБ-99 СП 2.6.1. 1291-2003	СПОРБ ПО НГК-2001 Регламент радиационного обследования нефтегазового комплекса	МВИ-28-01. Инструкция. Измерение удельной эффективной активности природных радионуклидов в строительных материалах и изделиях приборами РКП-305, РКП-305М, РКП-305МС, РКП-306.
	<i>Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения</i> Диапазон измерения от 0,1-40 мкЗв/ч; погрешность измерения от 50 до 90 %. Средство измерения – дозиметр ДРГ-01Т1			Методика выполнения измерений мощности амбиентного эквивалента дозы
5.2. Территории	<i>Плотность потока радона с поверхности грунта.</i> Диапазон измерения 2-2000 мБк/(м ² с); погрешность измерения не более 30%. Средство измерения – комплект оборудования на основе активированного угля НТЦ «Нитон»	НРБ-99 СП 2.6.1. 1291-2003	Регламент радиационного обследования объектов нефтегазового комплекса	Методика измерения плотности потока радона с поверхности земли и строительных конструкций
	<i>Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения</i> Диапазон измерения от 0,1-40 мкЗв/ч; погрешность измерения от 50 до 90 %. Средство измерения – дозиметр ДРГ-01Т1			Методика выполнения измерений мощности амбиентного эквивалента дозы
5.3. Производственные помещения	<i>Эквивалентная равновесная объемная активность радона</i> Диапазон измерения 10-10000 Бк/м ³ ; погрешность измерения не более 50%. Средство измерения – радиометр радона РЗА-04 «Омега-5М»	НРБ-99 СП 2.6.1.1291-2003	Регламент радиационного обследования объектов нефтегазового комплекса	МВИ-30-01.. Методика выполнения измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона и торона в воздухе
	<i>Объемная активность радона</i> Диапазон измерения 15 – 10000 Бк/м ³ ; погрешность измерения не более 30%. Средство измерения – комплект оборудования НТЦ «Нитон», спектрометрический комплекс «ПРОГРЕСС»	НРБ-99 СП 2.6.1.1291-2003	Регламент радиационного обследования объектов нефтегазового комплекса	Методика измерений средней за время экспозиции объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений. Методика измерений объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений, а также в рудниках всех типов, путем отбора пробы воздуха

АППАРАТУРА

Аэрогеофизическая аппаратура

Современным представителем аэрогеофизической аппаратуры, которая позволяет решать комплекс геолого-съёмочных и радиоэкогеологических работ над сушей, является аэрогеофизический комплекс КАС. В его состав входят

- аэрогамма-спектрометр ГСА-99;
- аэромагнитный градиентометр МГМ-05 с жестким размещением датчиков или аэромагнитометр МГМ-04М с буксируемой гондолой;
- аэроэлектроразведочная аппаратура СДВР-АПУ;
- радиометр инфракрасного излучения;

- газоанализатор углеводородов;
- спутниковая навигационно-геодезическая аппаратура.

Модульный принцип построения аппаратуры позволяет использовать модули в любых сочетаниях. Масса, габариты и электропотребление комплекса рассчитаны на использование легких самолетов грузоподъемностью 400-500 кг (типа АН-2) и вертолетов грузоподъемностью 500-800 кг (типа МИ-8). В таблице 2 приведены основные характеристики аэрогамма-спектрометра ГСА-99, входящего в состав комплекса КАС.

Таблица 2. Основные технические характеристики аэрогамма-спектрометра ГСА-99

Характеристика	Значение
Энергетический диапазон гамма-излучения, МэВ	0,17 – 2,62
Число рабочих каналов	256
Энергетическое разрешение по линии 0,661 МэВ, %	не более 12
Нестабильность масштаба энергетической шкалы за 8 ч, %	не более 0,3
Нестабильность масштаба энергетической шкалы за 90 ч, %	не более 0,5
Чувствительный объем детектора NaI(Tl), л	6 – 25
Время установления рабочего режима, мин	не более 15
Периодичность измерений, с	0,25 – 999

Как следует из таблицы 2, гамма-спектрометр - 256-канальный, обеспечивает регистрацию гамма-излучения в энергетическом диапазоне 0,17 – 2,62. Традиционным достоинством аэрогамма-спектрометра ГСА-99, является высокая стабильность масштаба энергетической шкалы при одновременном жестком амплитудном сопряжении всех сцинтиблоков. Это обеспечивает стабильность энер-

гетического разрешения и, в сочетании с автоматической диагностикой работоспособности комплекса, позволяет вести съемку в автоматическом режиме.

Автомобильный гамма-спектрометр РСА-97 предназначен для решения широкого круга наземных геологических и радиоэкогеологических задач. Его основные характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3. Основные технические характеристики автогамма-спектрометра РСА-97

Характеристика	Значение
Энергетический диапазон гамма-излучения, МэВ	0,2 – 2,62
Число рабочих каналов	256
Энергетическое разрешение по линии 0,661 МэВ, %	не более 13
Нестабильность масштаба энергетической шкалы, %	не более 0,5
Диапазон измерений ЕРН, % уран и торий калий	(1-500)10 ⁻⁴ 1-50
Диапазон измерений поверхностной активности ¹³⁷ Cs, Ки/км ²	0,1 – 100
Время установления рабочего режима, мин	не более 15
Периодичность измерений, с	1
Масса, кг	120

Автомобильный гамма-спектрометр, также как аэро-спектрометр ГСА-99, 256 – канальный и характеризуется практически тем же энергетическим диапазоном гамма-излучения. Гамма-спектрометр устанавливается в салоне автомобиля типа «Джип». Блок детектирования спектрометра состоит из двух монокристаллов NaI(Tl) размером 200х100 мм. Непрерывная регистрация спектра гамма-излучения в процессе движения автомобиля ведется на жесткий

диск компьютера типа «Notebook». Станция оснащена аппаратурой спутниковой привязки.

Полевой спектрометр энергии гамма-излучения РГП-501 предназначен для пешеходных съемок с целью решения как поисково-разведочных задач (в т. ч. при геологическом картировании) и инженерных изысканий, так и при радиоэкогеологических исследованиях и дозиметрии. Основные технические характеристики спектрометра приведены в таблице 4.

Таблица 4. Основные технические характеристики полевого гамма-спектрометра РГП-501

Характеристика	Значение
Энергетический диапазон гамма-излучения, МэВ	0,17 – 2,62
Число каналов спектрометра	256
Число измерительных каналов	Не менее 6
Энергетическое разрешение по линии 0,661 МэВ, %	не более 12
Нелинейность энергетической шкалы, %	не более 0,1
Максимальное число импульсов, регистрируемое каналом	65535
Диапазон измерений ЕРН, % уран и торий калий	(1-500)10 ⁻⁴ 1-50
Диапазон измерений поверхностной активности ¹³⁷ Cs, Ки/км ²	0,1 – 100
Энергонезависимая память емкостью, не менее: - энергетических спектров - элементопределений	1000 20000
Интерфейс	RS-232
Питание от аккумуляторной батареи Напряжение, В Емкость А·ч	не более 0,5 12,5±2 11,5
Детектор NaI(Tl) размером, мм	80х80
Время установления рабочего режима, мин	не более 15
Периодичность измерений, с	0,25 – 999

Прибор характеризуется таким же числом каналов и энергетическим диапазоном регистрируемого гамма-излучения, как аэро- и авто-спектрометры. Он позволяет по результатам измерения характеристик спектра гамма-излучения непосредственно на месте определять содержания естественных радионуклидов и поверхностную активность техногенных радионуклидов. В комплект поставки входит зарядное устройство.

Автоматизированная малогабаритная каротажная станция

Станция предназначена для решения поисково-разведочных задач рудной геофизики, а также для решения гидрогеологических, инженерно-геологических и радиоэкогеологических задач. Она компактна, имеет унифицированную современную компьютеризированную аппаратуру комплексного каротажа, которая установлена на борту малогабаритного полноприводного легкового автомобиля. В разработке использованы новейшие достижения в области цифровой техники,

новый тип каротажного подъемника и легкий геофизический кабель, что позволило сделать станцию универсальной и мобильной, способной работать в труднодоступных местах и в различных ландшафтных и климатических условиях. Построенная на гибком модульном принципе, станция позволяет легко изменять как модификацию геофизических методов, так и глубину исследований при каротаже. В процессе разработки станции были созданы новые типы многофункциональных каротажных приборов с одновременной передачей по кабелю цифровой информации (радиоактивного, электрического, магнитного каротажа). Оригинальное программное обеспечение позволяет управлять процессом каротажа и осуществлять визуализацию регистрируемых параметров, записывать, хранить и обрабатывать полученную информацию непосредственно на месте проведения работ. Аппаратура и оборудование станции по научному уровню и техническому дизайну не уступает аналогичным зарубежным каротажным комплексам, а по стоимостным характеристикам значительно дешевле.

В общем случае наиболее распространенными методами исследования скважин являются: гамма-каротаж (ГК), спектрометрический гамма-каротаж (ГКС), электрокаротаж методами кажущегося сопротивления (КС), естественной поляризации (ПС), бокового каротажного зондирования (БКЗ), каротаж магнитной восприимчивости пород (КМВ), акустический каротаж (АК), гамма-гамма-каротаж – плотностной (ГГК-П) и селективный (ГГК-С), нейтронный гамма-каротаж (НГК), диэлектрический каротаж, термокаротаж. Поскольку роль каждого метода меняется в зависимости от конкретных задач и особенностей геологического разреза, то в разработанной станции в качестве базовых каротажных методов реализован наиболее распространенный и оптимальный с точки зрения получения полезной геологической информации комплекс геофизических методов, включающий ГК, КС, ПС, КМВ. Комплекс предоставляет информацию о литологических и петрофизических характеристиках изучаемого разреза, о распределении по глубине и о природе естественных радиоактивных элементов и др., что, в конечном счете, обеспечивает создание геолого-геофизической модели рудных объектов. Предлагаемый базовый комплекс позволяет, таким образом, эффективно и экспрессно, непосредственно в полевых условиях за один-два спуско-подъема скважинных приборов получить сведения о составе и свойствах горных пород и построить геологический разрез вплоть до глубин 600 метров. В то же время в станции предусмотрена возможность подключения любого серийного каротажного скважинного прибора.

Блок детектирования (БД) для спектрометрического гамма-каротажа

Блок детектирования каротажный, предназначенный для измерения энергетического спектра гамма-излучения и получения информации о составе радионуклидов, создан на основе монокристалла NaI(Tl) размером 50x250 мм с разрешением не хуже

10% по линии 661 кэВ ^{137}Cs . Блок размещается в корпусе скважинного прибора диаметром 75 мм и длиной 1500 мм, может быть использован для каротажа скважин глубиной до 1200 м.

Измеряемый энергетический диапазон гамма-излучения - от 0,2 до 3 МэВ. Интегральная нелинейность на выходе прибора не превышает 1,0 %. Предусмотрена система электронной стабилизации высокого напряжения не хуже 0,1 % и стабилизация энергетической шкалы.

Система автоматизированного радиационного контроля бытовых отходов САРК-БО

Система предназначена для выявления загрязненных гамма-излучающими радионуклидами бытовых отходов, поступающих автотранспортом на пункты складирования и на перерабатывающие заводы. Система представляет собой средство измерения и состоит из следующих основных частей:

- три блока детектирования гамма-излучения на основе сцинтилляционных монокристаллов NaI(Tl) размером 80x80 мм. Блоки детектирования установлены таким образом, что один из них располагается сверху, а два других - на боковых стойках;
- блок обработки информации;
- кабельная сеть, обеспечивающая питание блоков детектирования и их связь с компьютером;
- персональный компьютер для управления процессом сбора и обработки информации;
- принтер - для документирования результатов контроля.

САРК-БО работает в двух режимах - радиометрическом и спектрометрическом. Радиометрический режим предназначен для обнаружения радиоактивного загрязнения, а спектрометрический - для оценки значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в интервале энергий от 100 кэВ до 3 МэВ. С каждого из трех блоков детектирования на компьютер поступает информация о плотности потока гамма-квантов и мощности эквивалентной дозы гамма-излучения. Измерение МЭД позволяет использовать получаемую информацию для целей экологического мониторинга в режиме реального времени. Система позволяет при необходимости регистрировать спектр гамма-излучения - для оценки его природы специалистами-экспертами. Диапазон измерения МЭД - от 0,01 до 5 мкЗв/ч. Разрешающая способность измерения МЭД - не хуже 0,005 мкЗв/ч при фоновом значении от 0,010 до 0,20 мкЗв/ч. Основная относительная погрешность измерения МЭД не превышает 25 %. Система может эксплуатироваться при любых колебаниях атмосферного давления и влажности воздуха, при температуре окружающей среды от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Измерения проводятся при остановке автотранспорта или в режиме движения со скоростью не более 5 км/ч. Превышение установленного уровня МЭД гамма-излучения сопровождается звуковым сигналом в текстовой форме и световым сигналом на экране монитора.

Блок детектирования (БД) гамма-излучения для экспрессного радиационного контроля акваторий

Блок предназначен для радиационного контроля акваторий, загрязненных гамма-излучающими радионуклидами. Измерения проводят в режиме буксирования при погружении БД на заданную глубину. Управление процессом измерений осуществляет персональный компьютер. БД может эксплуатироваться при температуре среды от 0 до 35°C. Измеряемая величина - мощность экспозиционной дозы внешнего гамма-излучения (МЭД) в интервале энергий от 100 кэВ до 3 МэВ в диапазоне от 0,5 до 5000 мкР/ч и/или значение удельной активности (УА) эквиваленте УА радионуклида ^{137}Cs в диапазоне от 0,3 до 30000 Бк/л. Основная погрешность измерения МЭД не более 25 %.

Блоки детектирования состоят из следующих основных частей:

- детектор гамма-излучения на основе монокристалла NaI(Tl) размером 80×80 мм, размещен в водонепроницаемом корпусе;

- блок обработки информации;
- блок питания БД;
- кабельная сеть, обеспечивающая питание блоков детектирования и их связь с компьютером;
- персональный компьютер, установленный на борту судна - для управления процессом сбора и обработки информации;
- принтер - для документирования результатов контроля.

Измерение МЭД гамма-излучения проводится методом прямых измерений. Значение удельной активности (УА) находят путем пересчета значений МЭД в значения удельной активности ^{137}Cs или иного радионуклида. Для перевода результатов измерений в значения УА используют значения эквивалентов УА на единицу МЭД гамма-излучения. Применительно к водной среде значения эквивалентов УА для различных типов источников и границы погрешности при доверительной вероятности 0,95 приведены в таблице 5.

Таблица 5. Значения эквивалентов удельной активности на единицу МЭД в водной среде для различных типов источников гамма-излучения

Тип источника	Значения эквивалентов удельной активности, Бк/л на 1 мкР/ч	Граница погрешности при P=0,95
^{226}Ra в равновесии	10,96±0,28	16,4
^{232}Th в равновесии	7,90±0,19	16,3
^{137}Cs	33,67±1,25	17,3
^{134}Cs	3,70±0,43	16,8
^{60}Co	7,31±0,11	15,9

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В ФГУ НПП «Геологоразведка» разработана единая система метрологического обеспечения (МО), охватывающая воздушные, наземные и каротажные радиометрические исследования различного назначения. Эта система обеспечена средствами измерения и нормативной документацией, которые гарантируют обеспечение требуемой точности исследований.

В качестве примера системного подхода к вопросу организации МО ниже приведены основные требования, которые реализованы в РФ и которых следует придерживаться при построении единой системы МО методов ГК и СГК. Основу системы составляет комплект из четырех СО – уранового/радиевого, ториевого, калиевого и смешанного составов, размеры которых обеспечивают «насыщение» по гамма-излучению, а конструкция - изоляцию материала СО от внешней среды. Стандартные образцы изготовлены по единой технологии, которая обеспечивает в течение не менее 10 лет сохранность параметров, свободную циркуляцию эманации и исключает сегрегацию материала СО. Для обеспечения нужд полевых радиоэкогеологических исследований в состав комплекта включен СО поверхностной активности из ^{137}Cs . Стандартные образцы комплекта аттестованы по массовым долям ЕРН, по интегральной массовой доле урана в каждом СО комплекта, по мощности экспозиционной (или амбиентного эквивалента) дозы, а СО поверхностной активности – по поверхностной активности. В состав исходных образцовых (эталонных) средств измерений (ИОСИ) входят, кроме комплекта СО, эта-

лонный одноканальный и многоканальный радиометры и источник (эталон) из ^{226}Ra . Источник (эталон) из ^{226}Ra аттестован по массе радия и по мощности экспозиционной (или амбиентного эквивалента) дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м. В состав образцовых СИ первого разряда могут входить малогабаритные (от 50 до 100 кг) СО, изготовленные по стандартной технологии, и СО-полигоны, контрольно-поверочные скважины, аттестованные методом передачи размера единиц от ИОСИ. Функционирование системы обеспечивает нормативно-техническая документация, в состав которой входят Инструкция по контролю стабильности параметров, Инструкция по использованию СО - в том числе при поверке и калибровке рабочих средств измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт организации работ по радиоэкогеологическим исследованиям в РФ, по аппаратурному и метрологическому обеспечению этих исследований, безусловно, может быть полезен при оценке масштабов радиоактивного загрязнения СИП и при решении вопроса об использовании земель в районе этого полигона для хозяйственных нужд. Естественно, что достоверные результаты могут быть получены только в том случае, если исследования будут проводиться современной, метрологически обеспеченной аппаратурой. Полагаем, что для этого целесообразно создать региональные Межгосударственные Метрологические центры (полигоны) – для поверки, калибровки и испытаний аппаратуры, используемой при радиоэкологических исследованиях на СИП, в том числе аппаратуры, ввозимой из-за рубежа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Предварительная оценка радиологической ситуации на Семипалатинском испытательном полигоне Республики Казахстан//Отчет экспертной группы МАГАТЭ. – Вена: МАГАТЭ, 1996. – 49 с.
2. Дубасов Ю.В., Пахомов С.А., Шагин Б.О. Радиационная обстановка вокруг Семипалатинского полигона и прилегающих поселках//Геофизика и проблемы нераспространения. Радиоэкология. Охрана окружающей среды/Вестник НЯЦ РК.- Курчатов: НЯЦ РК, 2003. – С. 23 – 28.
3. Гринштейн Ю.А., Сюсюра Б.Б. К вопросу радиоэкологического картирования территорий бывших испытательных полигонов//Радиоэкология. Охрана окружающей среды: Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2001. - Вып.3. - С. 108-113.

РАДИОЭКОЛОГИЯ МӘСЕЛЕЛЕРІН ШЕШУ ҮШІН ФММ «ГЕОЛОГИЯБАРЛАУ» ҒӨК-НЫҢ АППАРАТУРА-ӘДІСТЕМЕЛІК ӘЗІРЛЕМЕЛЕРІ

Мац Н.А., Степанов И.В., Хайкович И.М.

Федеральдік Мемлекеттік Мекеме «Геологиябарлау» ҒӨК, Санкт-Петербург, Ресей

Семей сынау полигонының (ССП) және оған жататын аумақтарының техногенді ластану бойынша аудандық түсіруінің нәтижелері [1-3] техногенді (ТгРН) және табиғи (ТбРН) радтонуклидтерімен ластанған аумақтарын, сондай-ақ радиация қатысты қауіпсіз аумақтарын тез, сенімді және арзан бөлу технологиясын жасауы бұрынғыдай көкейтесті болып келетіне көз жеткізеді. Осы проблеманы жедел және сенімді шешу үшін, соңғы теоретикалық, әдістемелік, аппаратуралық және метрологиялық әзірмелерін қолданып, әуе, жер бетіндегі және картаж жұмыстарын қосатын және биологиялық қатынасында қауіпті радионуклидтерді қысқаша уақытта айқындауына мүмкіндік беретін қазіргі замандағы зерттеулерінің және радиациялық-қауіпті өрістерін картаға түсіру кешенін жасауы қажет. Бұл мақсатта Ресей Федерациясы мамандарының тәжірибесін, зерттеулерін және әдістемелерін қолдануға болады.

EQUIPMENT AND METHODOLOGICAL ELABORATIONS OF FSD SIE «GEOLOGORAZVEDKA» FOR SOLUTION OF RADIOECOLOGICAL PROBLEMS

N.A. Mats, I.V. Stepanov, I.M. Khaikovich

FSD SIE «Geologorazvedka», Sankt-Petersburg, Russia

The results of areal surveys of man-caused contamination on Semipalatinsk Test Site (STS) and neighboring territories prove that it is still pressing to work out a fast, safe and inexpensive identification methods for territories, contaminated with man-caused (MRN) and natural (NRN) radionuclides, and for radiation safe territories. For quick and reliable solution of this problem it is necessary to create, using the latest theoretical, methodical, hardware and metrological elaborations, an up-to-date complex for studying and mapping of radiation-hazardous fields, which includes air-borne, ground-based and logging works and which will allow to identify the most hazardous, in biological sense, radionuclides within the shortest possible time. For this purpose the experience and methodical elaboration of the RF specialists may be useful.

УДК 550.37/38:504(571.54)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА НА БАЙКАЛЬСКОМ ПРОГНОСТИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Неведрова Н.Н., Эпов М.И.

Институт геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

В работе представлен анализ результатов электромагнитного мониторинга с учетом геоэлектрического строения Байкальского прогностического полигона. Геоэлектрические исследования с искусственными источниками для изучения строения, а также активный электромагнитный мониторинг проводятся здесь с 80-х годов прошлого века. Накоплен значительный объем экспериментальных материалов. В лаборатории электромагнитных полей Института геофизики СО РАН предложен оригинальный подход к интерпретации временных рядов мониторинга, основанный на решении обратной задачи.

ВВЕДЕНИЕ

Байкальский прогностический полигон расположен на юго-восточном побережье озера Байкал, включая район дельты Селенги, который относят к наиболее сейсмоактивному, континентальному участкам Байкальской рифтовой зоны. Полигон образован при участии трех организаций – Геофизического объединения «Иркутскгеофизика» (г. Иркутск), Института геофизики СО РАН (г. Новосибирск) и Института высоких температур РАН (г. Москва). Размещение района работ показано на рисунке 1. Исследовательская работа на полигоне сразу была ориентирована на широкое применение электромагнитных методов с контролируемым источником. Кроме электромагнитных измерений проводится тектономагнитный мониторинг, а также слежение за уровнем озера и метеорологическими параметрами – атмосферным давлением и температурой.



Рисунок 1. Расположение Байкальского прогностического полигона

Существуют некоторые хорошо установленные закономерности. Одна из них – процесс подготовки практически любого тектонического события сопровождается аномалиями геофизических полей, в том числе и электромагнитных. Электромагнитные поля обладают высокой чувствительностью к изменению напряженно-деформированного состояния

геологической среды. Об этом свидетельствуют многочисленные лабораторные и натурные испытания. Электромагнитные предвестники сейсмических событий достаточно подробно описаны во многих научных публикациях, например, в [1, 4], и их существование не вызывает сомнений. На данном этапе в мировой практике существует всего несколько полигонов, на которых накоплены многолетние измерения геофизических полей. Эти материалы отражают уникальные характеристики каждого сейсмоактивного региона. Анализ таких полевых измерений можно проводить в различных аспектах. В данной статье будут приведены некоторые результаты обработки полевых структурных и режимных данных для Байкальского прогностического полигона, полученные в лаборатории электромагнитных полей Института геофизики СО РАН.

СПОСОБЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА

Наиболее часто используемый способ интерпретации данных мониторинга заключается в сравнении измеряемых величин с рядами сейсмических событий и в расчете различных корреляционных либо спектральных характеристик, что и было, в частности, реализовано специалистами «Иркутскгеофизика» для материалов Байкальского полигона [6].

В лаборатории электромагнитных полей предложен другой подход, основной особенностью которого является восстановление геоэлектрической модели в пунктах режимных наблюдений с использованием решения обратной задачи. Далее, при обработке временных рядов мониторинга обратная задача решается для каждого ежедневного измерения, строятся геометрические и электрические параметры разреза для всего временного интервала измерений, и проводится совместный анализ относительных вариаций значений истинных электрических параметров и сейсмического режима области. Впервые такой подход был применен при обработке рядов мониторинга методом становления электромагнитного поля, выполненного с мощным искусственным источником. Поле возбуждалось в линии АВ=2 км (рисунок 2) током, силой 250 А. Пункт измерений находился на берегу озера Байкал в пос. Энхалук. После обработки и интерпретации результатов измерений были построены временные ряды вариаций значения истинного удельно-

го электрического сопротивления проводящих слоев разреза за несколько лет.

Основные результаты и выводы приведены в [5] и заключались кратко в следующем. Относительные вариации истинных электрических параметров имеют значительные амплитуды (20- 80%), они более выразительны по сравнению с вариациями э.д.с. поля. Наблюдается связь вариаций электрического сопротивления с сейсмическим режимом области.

Разноглубинные слои разреза по-разному реагируют на сейсмические события.

Способ обработки временных рядов на основе решения обратных задач был применен также при интерпретации данных мониторинга, полученных на постоянном токе. Измерения начаты в 1990 г., они проводились в районе питающих диполей, использовалась электроразведочная аппаратура АЭ-72. Параметры установки приведены в таблице.

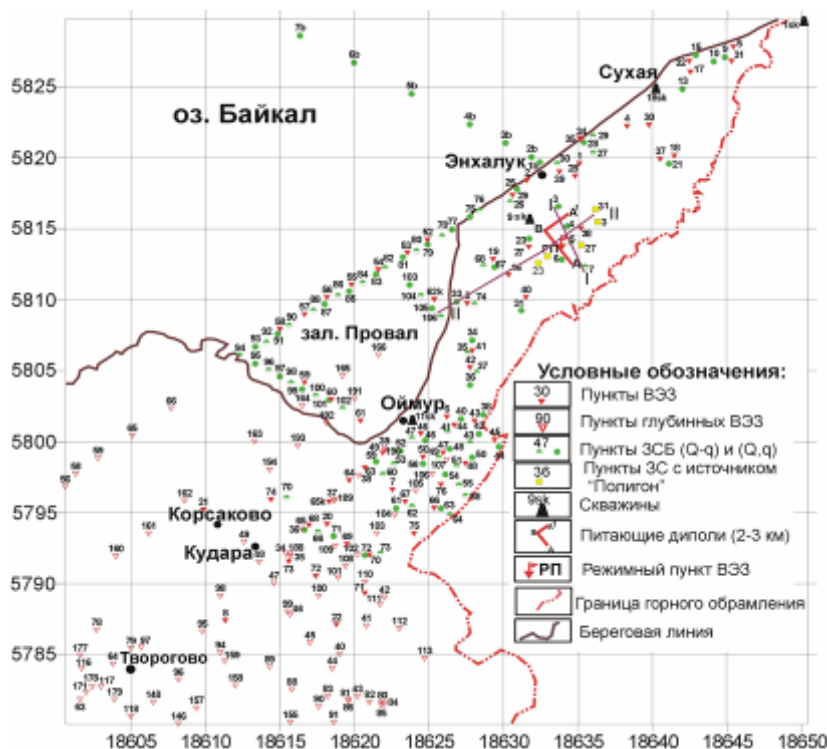


Рисунок 2. Схема сбора фактического материала

Таблица. Размеры установки ВЭЗ, применяемой для мониторинга.

Тип линии	Длина									
AB/2 (м)	75	250	250	500	500	1000	1000	1500	1500	
MN/2 (м)	12.5	12.5	75	75	250	250	500	500	1000	

Как видно из таблицы, максимальный размер питающей линии АВ равнялся 3 км.

Новизна обработки данных электрических зондирований заключается в параметризации. В качестве электрической характеристики среды рассматривалось не электрическое сопротивление, а интегральные параметры – суммарная продольная проводимость и поперечное сопротивление геоэлектрического разреза [2,7]. На рисунке 3 приведен пример обработки данных, полученных за 2 года, – 1994-1995 гг.

Показаны временные ряды кажущегося электрического сопротивления и интегральной продольной проводимости (ST) для серии глубин. В нижней части рисунка стрелками отмечены сейсмические события. Величина стрелок пропорциональна энергетическому классу землетрясения и дана в соответствии с приведенной масштабной линейкой.

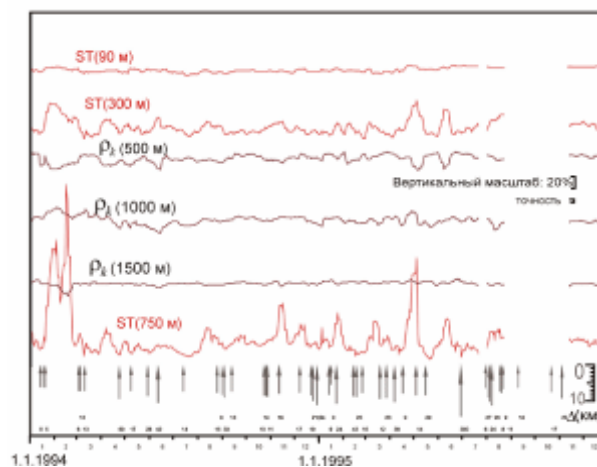


Рисунок 3. Пример обработки временных рядов электрического мониторинга на Байкальском полигоне за 1994-1995 гг.

Исследована диаграмма чувствительности (направленности) для установки мониторинга на по-

стоянном токе. Динамические ряды электрического мониторинга получены за длительный период, но на данном этапе обработаны данные для временного интервала 1990-1996 гг. Как было показано, эти ряды достаточно хорошо отражают геодинамический режим территории. Установлено, что во всем указанном временном промежутке амплитуда локального максимума проводимости, предшествующего землетрясению, существенно меняется.

Проведенный анализ временных графиков интегральной продольной проводимости позволил уста-

новить различную чувствительность системы наблюдений стационарного поля к сейсмическим событиям. Выявлена также зависимость величины вариаций интегральных параметров разреза от азимутального направления на эпицентр землетрясения и построена полярная диаграмма чувствительности (направленности) установки ВЭЗ при мониторинге. Для большей наглядности диаграмма нанесена на географическую карту. Ее центр совмещен с положением установки ВЭЗ (рисунок 4).

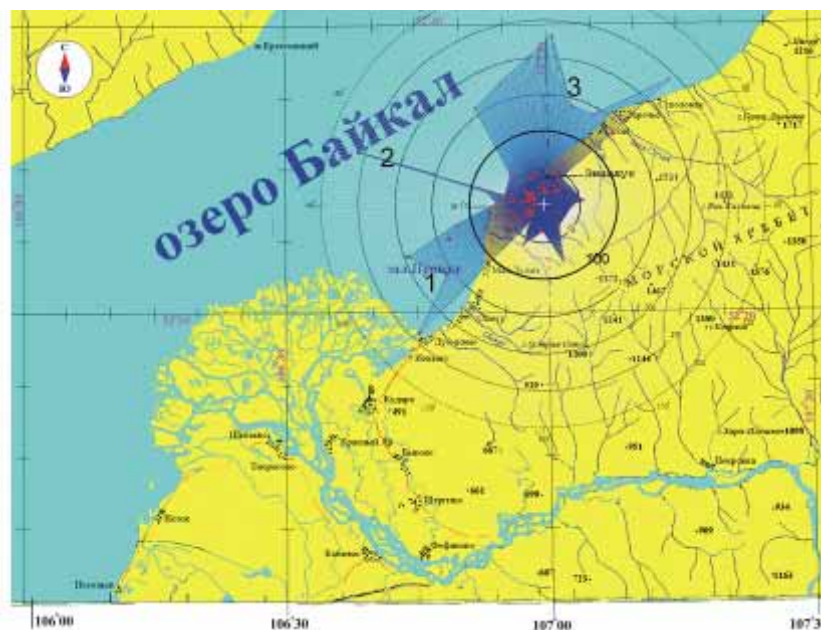


Рисунок 4. Диаграмма направленности установки мониторинга на постоянном токе.

Как видно из рисунка 4, здесь ясно прослеживаются три области максимальной чувствительности установки по отношению к сейсмическим событиям. Полученные данные проанализированы в связи с вопросом, какие известные геоэлектрические и тектонические особенности строения полигона проявляются на диаграмме направленности. Первое направление повышенной чувствительности установки мониторинга (1 на рисунке 4), наиболее выраженное, соответствует хорошо изученным структурным элементам полигона – Селегинской депрессии и тектоническому грабену залива Провал. Этот залив является зоной сейсмотектонического опускания части территории дельты после катастрофического землетрясения 1896 г. Известно, что блок этого грабена ограничен разломами и продолжает опускаться вниз. Два других направления повышенной чувствительности установки мониторинга (2, 3 на рисунке 4) соответствуют прибрежным разломным структурам в акватории озера Байкал.

Выяснялся также вопрос, как размещаются на местности эпицентры сейсмических событий, предваряемые максимальными аномалиями интегральной проводимости. Используются аномалии около 100 и более процентов. Сведения о разломной тектонике и об эпицентрах землетрясений взяты по материалам Института земной коры СО РАН [10]. По этим данным построена карта размещения эпи-

центров землетрясений, для которых фиксируются максимальные аномалии чувствительности установки мониторинга (рисунок 5).

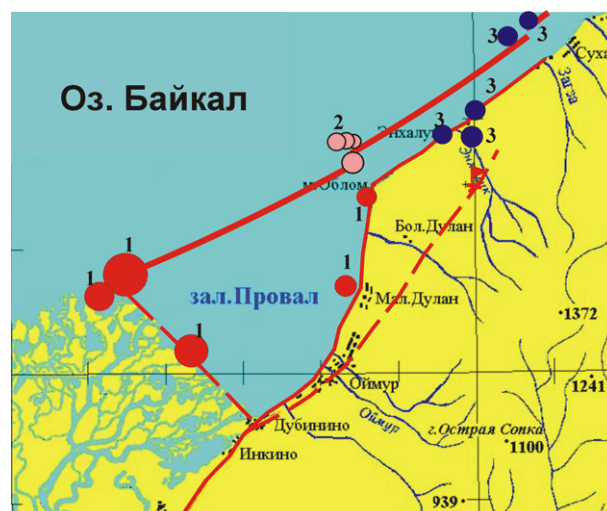


Рисунок 5. Размещение эпицентров землетрясений

Как видно из рисунка 5, по первому направлению эпицентры (1) располагаются в разломных зонах залива Провал. По второму, очень локальному направлению, эпицентры землетрясений (2) соответствует области пересечения двух прибрежных разломов, находящихся в акватории озера на отно-

сительно небольших глубинах, зафиксированных геологами. Третье направление связано с эпицентрами событий (3) также расположенными в известных разломных структурах, относящихся к системе разломов Черского.

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПОЛИГОНА

По результатам анализа полученных данных был сделан вывод, что для более полного понимания особенностей геодинамических процессов полигона и характера их влияния на вариации электрических параметров важны более подробные сведения о строении, прежде всего, участка северо-восточного побережья, где расположены практически все пункты электромагнитного мониторинга (рисунки 1, 2). В геологическом отношении эта территория представляет собой узкую впадину, вытянутую вдоль побережья и ограниченную с юго-востока отрогами Приморского хребта. Со стороны озера Байкал в прибрежной зоне наблюдается серия разломов.

Электромагнитные измерения с целью изучения геоэлектрического строения полигона проводились в разные годы. Так, например, в 50-х годах прошло-

го века на территории Селенгинской депрессии были выполнены вертикальные электрические зондирования с разносами более 16 км. Переинтерпретация этих полевых данных с использованием современного программного комплекса позволила построить геоэлектрическую модель депрессии, которая отразила основные особенности строения - присутствие мощной осадочной толщи и многочисленные тектонические нарушения.

Для северо-восточного участка полевые данные были получены, в основном, в 80-90 годах, частично в 50-е годы с использованием пунктов структурных наблюдений (рисунок 2). По результатам интерпретации данных комплекса электроразведочных работ - зондирования становлением поля (ЗС) в различных модификациях и ВЭЗ, - определены значения глубины опорного электрического горизонта, по которым построена карта, приведенная на рисунке 6, для северо-восточного участка полигона. На нее нанесены также некоторые пункты измерений и элементы топографии.

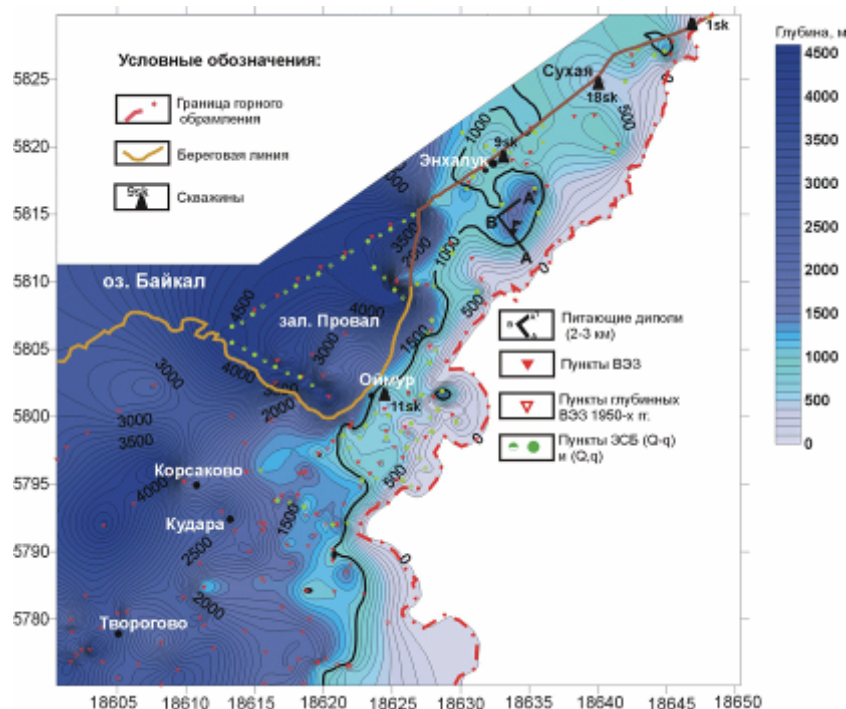


Рисунок 6. Карта глубин опорного электрического горизонта

Карта свидетельствует о блочном строении участка. В районе пункта мониторинга методом ВЭЗ наблюдается значительное увеличение мощности осадочных пород. Осадочная толща, характеризующаяся относительно низким сопротивлением и мощностью порядка 800-1000 м, развита вплоть до береговой линии озера и разломных структур залива Провал. В заливе мощность толщи быстро возрастает, достигая 4500 м и более.

Полученная карта глубин опорного горизонта меняет представления о геологическом строении прибрежной депрессии. В соответствии с ней все пробуренные немногочисленные скважины расположены в пределах приподнятых блоков, где мощ-

ность осадочного чехла не превышает 500-600 м. Поэтому до проведения подробных электроразведочных работ считалось, что в пределах данного участка рифтовой зоны значительная мощность осадочных пород не существует. В [9] приводится схема палеогеографии Прибайкалья в миоцене, которая свидетельствует о существовании озерного водоема на юго-восточном побережье за дельтой Селенги. В заболоченном озере накапливались тонкослоистые озерные осадки, в основном глины и песчаники. Учитывая сведения, полученные методами электроразведки, глубина озера достигала 1500 м. И только последующие тектонические движения создали современную блочную структуру осадочной толщи и фундамента северо-восточного побережья.

Геоэлектрическое строение района расположения пункта мониторинга может быть рассмотрена на основе данных метода ВЭЗ (флажок в районе питающих диполей на рисунке 2). На рисунке 7 приведены значения полевых измерений и теоретическая кривая электрического зондирования, а также геоэлектрическая модель среды, полученные по результатам режимного зондирования ВЭЗ.

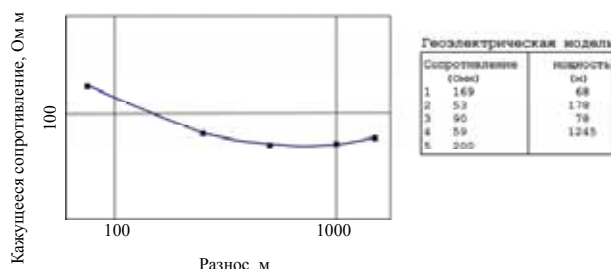
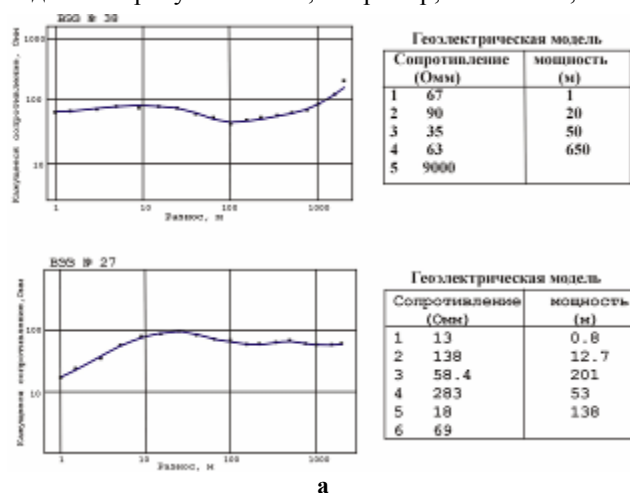


Рисунок 7. Режимное зондирование. 06.01.1999 г.

Как следует из приведенных данных, суммарная мощность пород до опорного геоэлектрического горизонта составляет 1.5 км. Другие данные электрического и электромагнитного зондирования в пунктах, размещенных в окрестности режимного пункта ВЭЗ и в пределах погруженного блока, приведены на рисунке 8. Это, например, ВЭЗ № 38, 27



(рисунок 8 а), а также зондирование становлением поля ЗС № 23, 4 (рисунок 8 б). По данным ВЭЗ № 27 мощность осадочной толщи оценена как более 400 м (полевая кривая не выходит на асимптоту). По данным ВЭЗ № 38 уверенно получена глубина до опорного горизонта 720 м. Замечено, что методу зондирования на постоянном токе не всегда хватало глубинности исследования.

Зондирование становлением поля в пункте № 23, расположенном примерно в 300 м к северо-западу от режимного пункта ВЭЗ, позволяет уверенно получить глубину до фундамента, равную 880 м, и его сопротивление - 2000 Ом м. Мощность осадочной толщи 1540 м получена зондированием становления поля в пункте № 4, что хорошо согласуется с оценкой в пункте мониторинга ВЭЗ. Благодаря тому, что зондирование становлением поля имеет достаточную глубинность и позволяет уверенно определять геоэлектрические параметры разреза, удалось получить детальное строение рассматриваемого участка. При этом впервые была проведена компьютерная интерпретация данных по семи зондированиям становлением поля, полученным с использованием мощного источника «Полигон», обеспечивающим повышенную глубинность исследования.

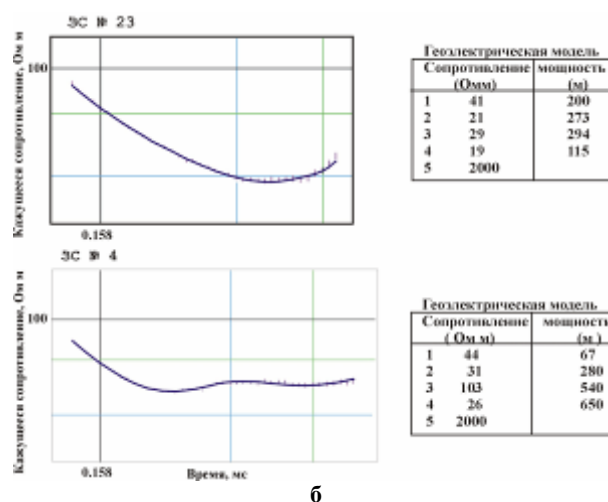


Рисунок 8. Полевые и теоретические кривые, геоэлектрические модели: а - ВЭЗ (№38, №27); б - ЗС(№23, №4)

Ниже приведено несколько геоэлектрических разрезов. Геоэлектрический разрез по линии I-I (рисунок 2), представлен на рисунке 9 и построен по результатам интерпретации зондирований становлением поля. Показаны предполагаемые линии разрывных нарушений. По этим данным вместе с данными, приведенными на рисунке 7, можно судить о геоэлектрической обстановке на участке проведения электрического мониторинга. Размеры погруженного блока фундамента достаточно большие - примерно 3х4 км, и, скорее всего, ограничены разломами с нескольких сторон. Например, на рисунке 7 с севера и северо-запада можно наблюдать приподнятый блок фундамента с мощностью осадочных пород не более 500-600 м. В пункте мониторинга по геоэлектрическому разрезу осадочной толщи выделяется несколько слоев, отличающихся по электрическому сопротивлению. Основная геоэлектрическая модель разреза представлена пятью достаточно

проводящими слоями, со значениями удельного электрического сопротивления, изменяющимися в интервале от 30 до 120 Ом м. Наиболее мощный проводящий слой в разрезе характеризуется в среднем электрическим сопротивлением 40-60 Ом м. Таким образом, пункт мониторинга ВЭЗ расположен в пределах тектонического грабена с мощностью низкоомной осадочной толщи в основном до 1.5 км. Можно отметить, что в этом блоке наблюдается некоторое понижение удельного электрического сопротивления в верхних слоях разреза по сравнению с относительно приподнятыми блоками пород. Скорее всего, это связано с сильной заболоченностью и обводненностью территории.

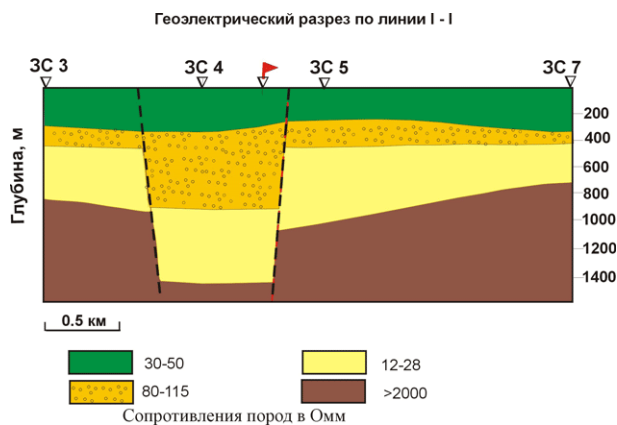


Рисунок 9. Геоэлектрический разрез по линии I-I в районе пункта мониторинга ВЭЗ

Разломы на разрезах выделяются по нескольким признакам. Во-первых, по резкому изменению мощности осадочной толщи в двух соседних пунктах.

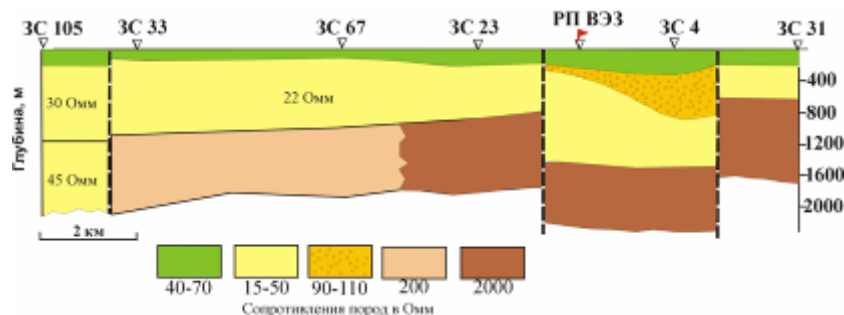


Рисунок 10. Геоэлектрический разрез по линии II-II от акватории залива Провал до пункта ЗС 31

Таким образом, получена достаточно подробная геоэлектрическая модель северо-восточной части Байкальского полигона, которая представляет систему разноглубинных блоков. Следует подчеркнуть, что разломно-блоковым строением характеризуется как осадочная толща, так и фундамент.

Совместный анализ результатов мониторинга и особенностей геоэлектрического строения свидетельствуют, что вариации электропроводности, имеющие максимальные амплитуды по времени, связаны с геодинамическими событиями, происходящими в основных тектонических структурах полигона. Значительные изменения электрических параметров, скорее всего, обусловлены перераспределением проводящей жидкости (флюида) в геологическом массиве. При анализе результатов мониторинга на Байкале невозможно игнорировать факт присутствия огромной массы воды озера в непосредственной близости от пунктов измерений [8] и системы многочисленных разрывных нарушений. Можно предположить, что во время тектонических движений, в области береговых разломов происходит значительное изменение гидрогеологических условий полигона. В этой связи следует обратиться к сведениям о гидрогеологических условиях. Район залива Провал и северо-восточная часть дельты принадлежат к участкам гидрогеодинамической активизации, связанной с сейсмотектоническими процессами опускания дна залива Провал. В скважине, пройденной в акватории залива, наблюдается наиболее высокая минерализация водоносного ком-

Во-вторых, по достаточно частым понижениям электрического сопротивления опорного горизонта.

Чтобы можно было яснее представить общую геоэлектрическую структуру прибрежной депрессии, на рисунке 10 приведен геоэлектрический разрез по линии II-II (рисунок 2). На разрезе хорошо просматривается система разноглубинных блоков. В заливе можно видеть резкое нарастание мощности осадочной толщи - более 2 км, затем наблюдается протяженный блок, с достаточно низким электрическим сопротивлением опорного горизонта, всего 200 Ом м, и мощностью осадков 900-1000 м. Электрическое сопротивление в 200 Ом м, учитывая информацию по скважинам, характеризует трещиноватые, обводненные породы фундамента. Далее, в районе пункта мониторинга, в разрезе наблюдается грабен.

плекса. Здесь же при сейсмических событиях происходит интенсивная разгрузка глубоко залегающих вод более древних отложений. В заливе Провал наблюдаются многочисленные термальные и грязевые источники, что подтверждает гипотезу об активном перемещении поровых и пластовых вод на этом участке [3]. Можно представить, что землетрясения, происходящие, например, в разломных зонах залива Провал, активизируют перемещение поровых и пластовых вод во всех проводящих слоях побережья. Значительно изменяется флюидный режим, что приводит в результате к существенному понижению электрического сопротивления осадочной толщи в пункте мониторинга.

Выводы

1. Установлено блочное строение осадочной толщи и фундамента в пределах территории прогностического полигона, а также наличие системы связанных между собой разрывных нарушений.

2. Анализ результатов мониторинга с учетом особенностей геоэлектрического строения свидетельствует, что вариации электропроводности, имеющие максимальные значения амплитуды по времени, связаны с геодинамическими событиями, происходящими в основных тектонических структурах полигона.

3. Значительные изменения электрических параметров перед сейсмическими событиями, скорее всего, обусловлены перераспределением проводящей жидкости (флюида) в геологическом массиве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсуков О.М., Сорокин О.Н. Изменения кажущегося сопротивления горных пород в Гармском сейсмоактивном районе//Известия АН СССР. Физика Земли. - N 10.- С.100-103.
2. Дашевский Ю. А., Неведрова Н.Н., Жирова Н.В. Интегральная проводимость разреза как индикатор напряженного состояния среды при активном электромагнитном мониторинге на Южно-Байкальском прогностическом полигоне//Доклады Академии Наук, 2000.- том 370, № 6.- С. 807-809.
3. Дзюба А.А., Лебедева В.В., Папшев М.В. Гидрогеологическое районирование Южно-Байкальского геофизического полигона для целей сейсмопрогностических электрических зондирований. Информационный отчет. Фонды ИЗК СО РАН. Иркутск. 1990, - 141 С.
4. Журавлев В.И., Коновалов Ю.Ф., Лукк А.А., Сидорин А.Я. Модель геоэлектрического разреза земной коры Гармского района в сопоставлении с геологическими и сейсмологическими данными//Физика Земли, 1998. - № 8. - С. 38-48.
5. Мандельбаум М.М., Эпов М.И., Морозова Г.М., Неведрова Н.Н., Ельцов И.Н. Сейсмическая активность и динамика электропроводности геоэлектрического разреза на Байкальском прогностическом полигоне// Геология и геофизика, 1996. - N 6. - С. 88-95.
6. Мороз Ю.Ф., Мандельбаум М.М., Шпак И.П., Жирова Н.В. Результаты электромагнитного мониторинга на Байкальском прогностическом полигоне/ Физика Земли, 2000. - №8.- С.48-53.
7. Неведрова Н.Н., Дашевский Ю.А. Связь сейсмического режима с элементами активной тектоники по данным электромагнитных зондирований//Материалы международной конференции "Сейсмология в Сибири на рубеже тысячелетий" Новосибирск. 27-29 сентября, 2000. - С. 173-178
8. Пиннекер Е.В., Попов А.М., Шпынев Е.Б. О глубине проникновения приповерхностных вод в земную кору (на примере Прибайкалья)//ДАН, 1998. т. 359, № 1. - С. 397-400.
9. Саркисян С.Г. Мезозойские и третичные отложения Прибайкалья, Забайкалья и Дальнего Востока, 1958. - С. 201-330.
10. Солоненко В.П. Сейсмотектоника и современное структурное развитие Байкальской рифтовой зоны//. Байкальский рифт/под ред. Флоренсова Н.А., ИЗК СО АН СССР, М.: Наука. - 1968.

БАЙКАЛ БОЛЖАМДАУ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ ЭЛЕКТРМАГНИТТІК МОНИТОРИНГІСІНІҢ НӘТИЖЕЛЕРІН ТАЛДАУ

Неведрова Н.Н., Эпов М.И.

РФА СБ Геофизика институты, Новосибирск, Ресей

Жұмыста Байкал болжамдау полигонының геоэлектрикалық құрылысын есепке алып электромагниттік мониторингісінің нәтижелерінің талдауы келтірілген. Құрылымын зерделеу үшін жасанды көздерімен геоэлектрикалық зерттеулері, сондай-ақ белсенді электромагниттік мониторингісі осында өткен ғасырдың 80-ші жылдарынан жүргізіліп келеді. Экспериментальды материалдардың үлкен көлемі жиналған. РФА СБ Геофизика институтының электромагниттік өрістер лабораториясында мониторингтің уақыттық қатарларын өзінше пайымдауына кәрі есебін шешуінде негізделген соны көзқарас ұсынылған.

ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC MONITORING RESULTS AT BAIKAL PROGNOSTIC TEST-SITE

N.N. Nevedrova, M.I. Epov

Institute of Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

The report provides analysis of electromagnetic monitoring results taking into account the geoelectric structure of Baikal Prognostic Test-Site. The geoelectric researches using man-made sources, performed to study the structure, and the active electromagnetic monitoring at the Test-Site have been conducted since 1980s. It is accumulated significant volume of experimental material. The Laboratory of Magnetic Fields of Institute of Geophysics SB RAS suggested an original approach to the interpretation of monitoring series times, based upon solution of the inverse problem.

УДК 551.594:504.064.36

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ В ИНТЕРЕСАХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

¹⁾Азметов Р.Р., ²⁾Григорьев В.А., Знаменщиков Б.П., ³⁾Московенко В.М.¹⁾Центральная база авиационной охраны лесов от пожаров²⁾ТОО "Григо", Щучинск, Казахстан³⁾ЗАО НПО «Технологии мониторинга», Москва, Россия

Характеристики импульсного электромагнитного излучения, возникающего при атмосферных ядерных взрывах, близки соответствующим характеристикам излучения молниевых разрядов на землю. Этот факт позволяет использовать методический аппарат радиотехнического метода контроля ядерных испытаний для создания систем и комплексов регистрации молниевых разрядов в интересах решения хозяйственных задач.

В статье описана система регистрации молниевых разрядов, используемая в службе охраны лесов от пожаров и для других потребителей. Оперативная информация о местоположении и параметрах молниевых разрядов весьма актуальна для диспетчерского управления авиационной охраной лесов от пожаров. Использование данных мониторинга грозовых фронтов для достоверного прогноза возможных возгораний в лесу позволяет уменьшить наносимый ими ущерб.

ВВЕДЕНИЕ

Оперативная информация о грозовой активности как факторе риска представляет практический интерес для многих потребителей, в частности, диспетчерских служб, осуществляющих управление сложными системами, функционирующими в природной среде. Это относится к лесному хозяйству, авиации, энергетике, транспорту, гражданской обороне и многим другим отраслям хозяйства и сферам человеческой деятельности.

Грозовые разряды способны вызывать лесные пожары, поражать воздушные и морские суда, линии электропередачи и связи, нефте- и газопроводы, промышленные и гражданские объекты, приводить к авариям при проведении работ с пожаро- и взрывоопасными материалами. Поэтому контроль грозовой обстановки с целью обнаружения и местоопределения грозовых очагов и прогнозирования их перемещения на больших территориях – актуальнейшая задача информационной поддержки деятельности в упомянутых выше сферах деятельности.

Для лесов России грозы являются вторым по значимости, после антропогенного, фактором пожарной опасности. Поэтому достоверная оперативная информация о грозовой деятельности весьма актуальна при диспетчерском управлении авиационной охраной лесов. Надежный прогноз возможных возгораний вследствие прошедших грозовых фронтов позволяет оптимизировать маршруты авиатрулирования, обеспечить своевременность обнаружения растительных пожаров, уменьшить наносимый ими ущерб. Это подтверждено результатами эксплуатации первого опытного участка Системы регистрации молниевых разрядов (СРМР) в 1997 г. на территории Красноярского края, Иркутской и Томской областей и в 2000-2003 гг. в зоне контроля, охватывающей территорию Забайкалья, Читинской области, Алтая и Ханты-Мансийского автономного округа.

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДОВ

Система регистрации молниевых разрядов (СРМР) обеспечивает обнаружение, определение координат и параметров молниевых разрядов (МР)

на контролируемой территории и выдачу полученной информации потребителям. Функционирование СРМР основано на регистрации электромагнитного излучения (ЭМИ) молниевых разрядов в пространственно-разнесенных пунктах регистрации (ПР) – рисунок 1. Каждый пункт (ПР1, ПР2, ПР3) регистрирует время приема сигнала (dt_{12} , dt_{23}) электромагнитного излучения молниевых разрядов (МР1, МР2.), определяет пеленг (F_1 , F_2 , F_3) на МР, измеряет параметры сигнала и передает полученные данные в обрабатывающий центр (ОЦ), где ведется расчет координат и параметров МР.

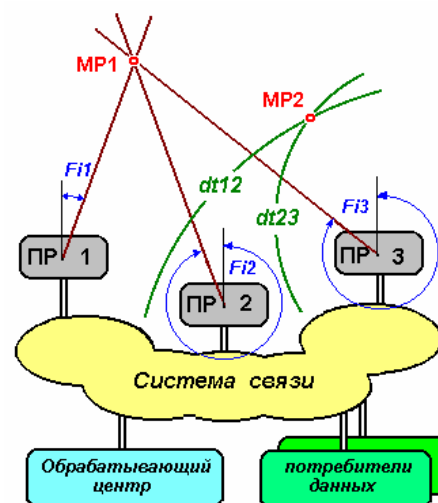


Рисунок 1. Схема местоопределения молниевых разрядов

Действующая в настоящее время система регистрации молниевых разрядов состоит из шестнадцати пунктов регистрации (ПР), расположенных в городах: Печора, Сыктывкар, Ханты-Мансийск, Омск, Горно-Алтайск, Томск, Красноярск, Иркутск (два ПР), Братск, Чита, Чара, Нижне-Ангарск, Архангельск, Енисейск, Могоча и обрабатывающего центра, расположенного в Москве. Обмен данными в системе осуществляется по сети Internet с помощью электронной почты. Зоны контроля, обслуживаемые системой из 16 ПР, представлены на рисунке 2.

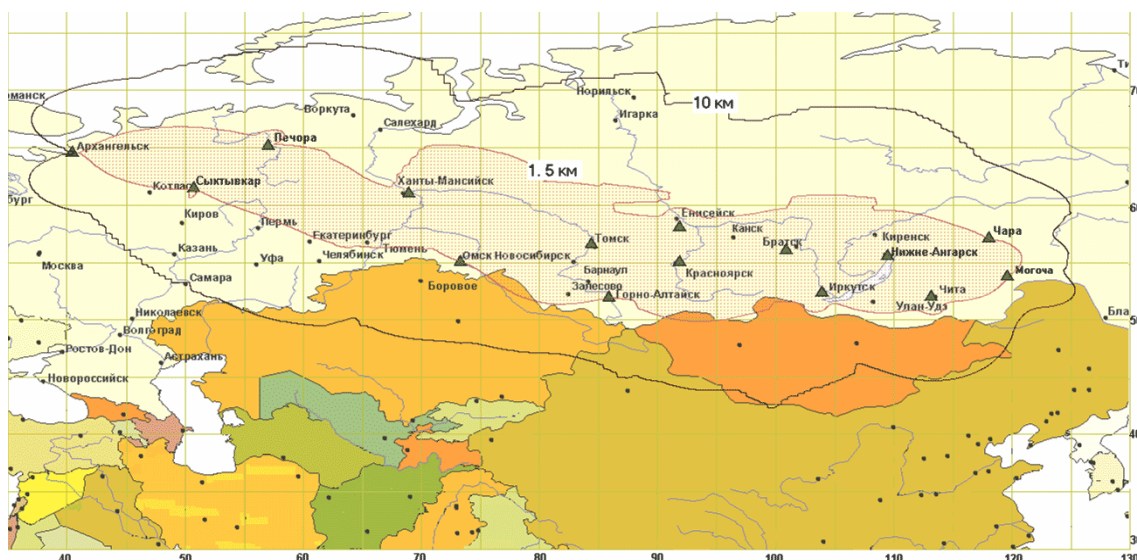


Рисунок 2. Зоны, контролируемые системой регистрации молниевых разрядов

Как видно, на рисунке 2 показано две зоны контроля: с погрешностью местоопределения 1.5 км, которая занимает площадь 4.1 млн. км², и с погрешностью до 10 км – площадью 11.7 млн. км².

ПУНКТ РЕГИСТРАЦИИ СИСТЕМЫ

Структурная схема аппаратного модуля пункта регистрации (АМРР) представлена на рисунке 3. Аппаратурный модуль обеспечивает регистрацию импульсных сигналов электромагнитного излучения, их обработку, формирование оперативных со-

общений (ОС), содержащих параметры зарегистрированных сигналов, и передачу ОС в обрабатывающий центр, прием и отображение данных о МР. Модуль может быть использован как в автономном режиме, так и в составе системы местоопределения МР (рисунок 1). При работе комплекса в составе СРМР информация о параметрах зарегистрированных сигналов передается в связной компьютер по ЛВС. Связной компьютер, в свою очередь, передает данные в обрабатывающий центр.

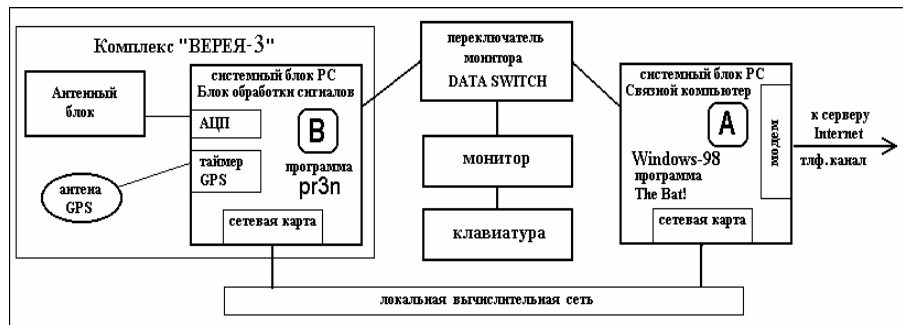


Рисунок 3. Структурная схема аппаратного модуля пункта регистрации

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЧАСТЕЙ АППАРАТУРНОГО МОДУЛЯ (РИСУНОК 3)

Антенный блок предназначен для приема, усиления и фильтрации молниевых разрядов. Блок рассчитан на прием электрической компоненты Ez и двух ортогональных магнитных компонент Hx, Hy электромагнитного поля молниевых разрядов в диапазоне частот 1...50 кГц. Для этой цели в блоке имеется антенная система, состоящая из трех антенн, а также усилители, фильтры и схемы, обеспечивающие передачу по кабелю принятых сигналов в блок обработки сигналов. Конструктивно выносной антенный блок выполнен в виде полусферы радиусом 70 мм, который устанавливается на поверхности земли, на крыше здания или на мачте (рисунок 4).



Рисунок 4. Выносной антенный блок

Блок имеет разъем для подключения многожильного сигнального кабеля. В составе комплекса используется серийный навигационный приемник GPS типа ACI-3 или аналогичный ему.

Приемник предназначен для привязки принимаемых сигналов к шкале единого времени. Конструктивно приемник состоит из антенны, размещаемой на открытом воздухе, и платы сопряжения, устанавливаемой в блоке обработки сигналов. Антенна соединяется с блоком обработки коаксиальным кабелем длиной 5 м.

Антенна GPS конструктивно оформлена как блок размером 50×40×15 мм и устанавливается на кронштейне или свободном пространстве на расстоянии не менее 2 м от компьютера.

Блок обработки сигналов обеспечивает обработку зарегистрированных сигналов по заданному алгоритму и формирует выходное оперативное сообщение (ОС) по каждому принятому сигналу. Оперативное сообщение содержит следующие данные:

- время приема сигнала с точностью до единиц микросекунд;
- пеленг на молниевый разряд;
- амплитудно-временные параметры сигнала.

За каждый час работы формируется пакет данных в виде приложения к письму электронной почты и по локальной сети передается в связной компьютер, на котором установлена почтовая программа.

Почтовая программа автоматически, с заданным интервалом времени, передает данные в обрабатывающий центр. Соединение с сервером сети Internet осуществляется либо по выделенному Internet-каналу, либо по коммутируемому телефонному каналу через модем.

Программное обеспечение блока обработки сигналов работает в среде MS-DOS и состоит из следующих модулей:

- приема данных от аналого-цифрового преобразователя;
- обработки сигналов ЭМИ;
- формирования оперативного сообщения;
- формирования письма для передачи данных в ОЦ;

- синхронизации шкалы времени;
- диагностики (автоматического тестирования);
- отображения и связи с оператором.

Программное обеспечение связного компьютера работает в среде Windows-98 и содержит почтовую программу The Bat!, которая загружается планировщиком заданий на 10-ой минуте каждого часа. После загрузки программа автоматически проверяет свой почтовый ящик и передает данные в ОЦ.

Аппаратурный модуль работает круглосуточно в автоматическом режиме. На 50-ой минуте каждого часа программа блока обработки данных формируется письмо с данными для передачи в ОЦ и переносит его в соответствующие папки связного компьютера. На 10-ой минуте каждого часа почтовая программа связного компьютера отправляет письмо в ОЦ и получает новые данные о молниевых разрядах. В задачу оператора входит периодический контроль формирования, приема и передачи писем в программе The Bat!, а также анализ результатов автоматического тестирования блока обработки сигналов. На связном компьютере установлены программы, позволяющие оператору просматривать и документировать данные о молниевых разрядах, поступающие из ОЦ.

ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР

Обрабатывающий центр представляет собой компьютер, имеющий прямое подключение к сети Интернет для надежного доступа к почтовому ящику, через который осуществляется обмен данными. В обрабатывающем центре производится сбор данных от всех пунктов регистрации, расчет координат и параметров МР. Результаты расчета по электронной почте автоматически рассылаются абонентам. Операционная система установлена на компьютере – Windows-98. Программные модули, осуществляющие сбор и обработку данных, подключаются планировщиком заданий по расписанию. В таблице 1 приведен список основных программных модулей, их функциональное назначение и расписание подключения.

Таблица 1. Список программных модулей, используемых в обрабатывающем центре

№ п.п.	Наименование	Функциональное назначение	Расписание
1	The Bat!	Прием данных от ПР системы и передача результатов расчета абонентам	Каждые 30 минут
2	Bb_plan	Расчет координат и других параметров МР, запись результатов расчета в архив, рассылка абонентам	Каждые 2 часа
3	Test_bat	Проверка и восстановление программы The Bat!	Каждые 12 часов
4	Testm_oc	Проверка поступления данных от ПР, проверка работы ОЦ, формирование справки, рассылка справки о работе системы	Каждые 6 часов
5	Wr_baz	Формирование обзорной и региональных карт-схем с нанесенными МР, формирование справки по авиабазам, рассылка данных абонентам.	Каждые 12 часов

На компьютере обрабатывающего центра установлена программа ARM, предназначенная для отображения на карте координат молниевых разрядов и ряд дополнительных сервисных программ, предназначенных для анализа работы пунктов регистрации и системы мониторинга в целом. Компьютер рабо-

тает автоматически в круглосуточном режиме. В задачи оператора входит анализ справки о работе системы, формируемой программой Testm_oc и принятие мер в случае прекращения поступления данных от ПР.

СТРУКТУРА ДАННЫХ О МОЛНИЕВЫХ РАЗРЯДАХ, ПЕРЕДАВАЕМЫХ ИЗ ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕНТРА

Данные о молниевых разрядах передаются по электронной почте в виде файлового приложения к письму. Файлы передаются в виде, сжатом программой pkzip. Имя файла формируется по схеме, приведенной на рисунке 5.

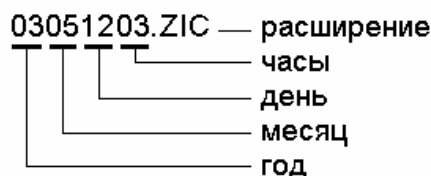


Рисунок 5. Схема формирования имени файла

Для распаковки файла используется программа pkunzip, которая формирует файл с тем же именем и расширением .ZOC – текстовый файл (ASCII), содержащий время, координаты и параметры МР. Фрагмент файла представлен на рисунке 6.

В таблице 2 представлен формат данных о молниевом разряде, выдаваемых обрабатывающим центром.

В таблице 3 приведен пример справки о молниевых разрядах, выдаваемой пунктам диспетчерского управления авиабаз.

Результаты выявления молниевых разрядов отображаются на карте-схеме в виде залитых окружностей, цвет которых характеризует силу тока молниевых разрядов. Пример такой карты-схемы приведен на рисунке 7.

!1506!072444	7424897	0544256	1125110	8630	24	9	0	0%%
!1506!073528	3205000	0565438	1044931	8662	34	5	0	0%%
!1506!074043	9638235	0551102	1115127	-3120	27	7	0	0%%
!1506!074312	6212213	0543444	1125654	1846	15	9	0	0%%

Labels for Figure 6:
 - 03: разделитель (separator)
 - 05: день (day)
 - 12: месяц (month)
 - 03: часы (hours)
 - 7424897: микросекунды (microseconds)
 - 0544256: градусы (degrees)
 - 1125110: минуты (minutes)
 - 8630: секунды (seconds)
 - 24: градусы (degrees)
 - 9: минуты (minutes)
 - 0: секунды (seconds)
 - 0%%: интенсивность МР (intensity of MR)
 - 24: служебная информация (service information)
 - 9: разделитель (separator)
 - 0: разделитель (separator)

Рисунок 6. К расшифровке текстового файла с данными о молниевом разряде

Таблица 2. Формат данных обрабатывающего центра

№ байта	содержание	№ байта	содержание	№ байта	содержание	№ байта	содержание
1	разделитель	17	сотни мкс	33	десятки мин.	49	единицы
2	день	18	десятки мкс	34	единицы мин	50	пробел
3	день	19	единицы мкс	35	десятки сек	51	пробел
4	месяц	20	десятые мкс	36	единицы сек	52	пробел
5	месяц	21	пробел	37	пробел	53	пробел
6	разделитель	22	сотни град.	38	знак	54	единицы
7	десятки часов	23	десятки град.	39	тысячи	55	разделитель
8	единицы часов	24	единицы град.	40	сотни	56	разделитель
9	десятки мин.	25	десятки мин.	41	десятки	57	пробел
10	единицы минут	26	единицы мин.	42	единицы	58	пробел
11	десятки сек.	27	десятки сек.	43	пробел	59	пробел
12	единицы сек.	28	единицы сек.	44	десятки	60	пробел
13	пробел	29	пробел	45	единицы	61	пробел
14	сотни мс	30	сотни град.	46	пробел	62	пробел
15	десятки мс	31	десятки град.	47	единицы	63	ВК (13)
16	единицы мс	32	единицы град.	48	пробел	64	ПС (10)

Таблица 3. Пример справки о молниевых разрядах для Иркутской авиабазы на 23 июня

№п/п	Время	Азимут	Дальность	Ток МР, кА	Число МР	Число - МР	№п/п	Время	Азимут	Дальность	Ток МР, кА	Число МР	Число - МР
Качугское авиаотделение							Непское авиаотделение						
1	10:18:58	24	39	56	1	1		10:48:07	269	120	21	1	0
2	10:27:22	54	98	48	1	1		--	--	--	--	--	--
Черемховское авиаотделение							Преображенское авиаотделение						
1	10:04:11	42	104	14	1	0	1	10:08:48	197	41	7	1	0
2	10:08:56	38	60	13	1	1	2	11:37:43	236	97	154	1	0

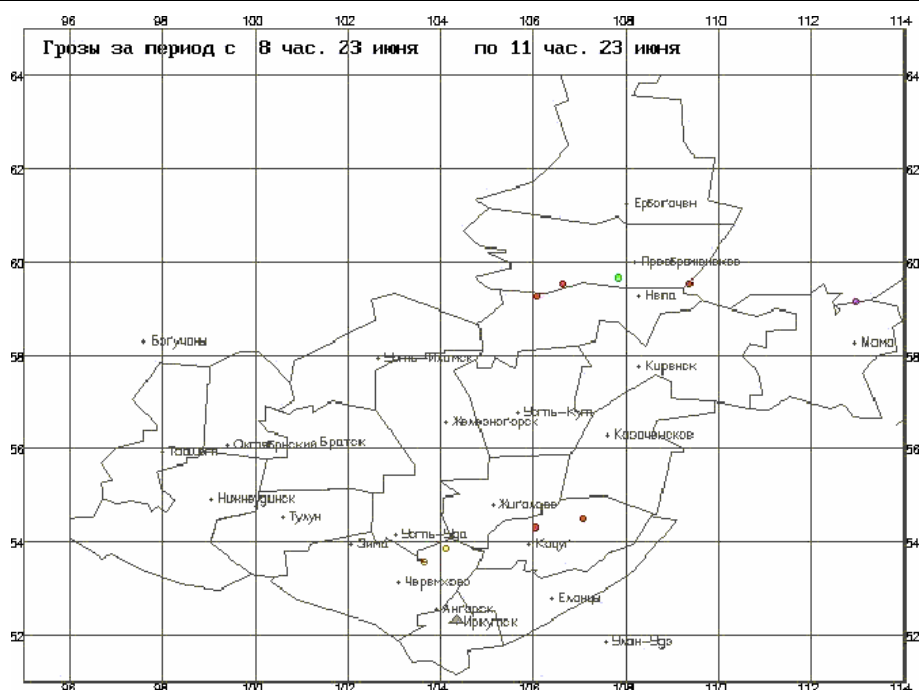


Рисунок 7. Пример карты-схемы молниевых разрядов, построенной по результатам мониторинга

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРМР

Для оценки эффективности СРМР применяется методика, основанная на подсчете разницы между суммой *предполагаемого* экономического ущерба и затрат на ликвидацию пожаров при организации *штатного* патрулирования (без оперативных данных о грозах, по утвержденным маршрутам) и суммой *фактического* ущерба и затрат на *скорректированное* патрулирование (с учетом данных СРМР, по уточненным маршрутам.) Анализ полученных данных позволяет оценить ожидаемый эффект от своевременного использования информации СРМР как положительный.

Для оценки эффективности СРМР на рисунке 8 приведена гистограмма, характеризующая зависимость площади обнаруженных пожаров от интервала времени между прошедшей грозой и вылетами летчиков-наблюдателей.

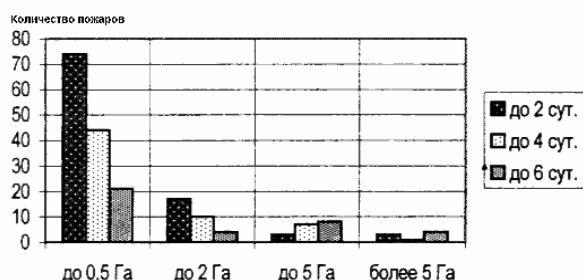
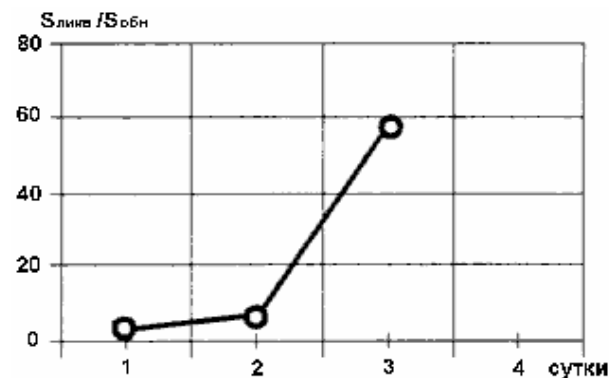


Рисунок 8. Распределение площади пожара в зависимости от интервала времени между началом полетов и прошедшим грозовым фронтом

Из рисунка 8 видно, что основная доля небольших пожаров (площадью менее 0.5 гектара) обнаруживается в первые двое суток после прохождения грозового фронта. Задержка с проведением контрольных полетов приводит к значительному расширению области пожаров, увеличению затрат на

тушение и ущерб от сгоревшего леса. В общем случае площадь пожара между моментом обнаружения летчиками-наблюдателями и моментом ликвидации пожара увеличивается в среднем в шесть раз.

На рисунке 9 представлена зависимость средней величины $S_{ликв}/S_{обн}$ (где $S_{ликв}$ - площадь пожара в момент его ликвидации, $S_{обн}$ - площадь пожара в момент обнаружения) от интервала времени между временем прохождения грозы и временем обнаружения пожара.

Рисунок 9. Зависимость величины $S_{ликв}/S_{обн}$ от интервала времени (сутки) между прохождением грозы и обнаружением пожара

Из рисунка 9 видно, что при обнаружении пожара в первые двое суток после грозы, его площадь увеличивается в среднем в четыре раза. Через четверо суток после грозы, площадь пожара возрастает в среднем в шесть раз. Аналогично возрастают затраты на тушение пожара. Наименьшие затраты имеют место при патрульных полетах не позднее трех суток после прохождения грозового фронта, что дает снижение в среднем в 3...5 раз по сравнению со случаями обнаружения пожара через 5...6 суток после грозы.

Выводы

1. Импульсное электромагнитное излучение, возникающее при молниевых разрядах на землю, позволяет использовать методический аппарат радиотехнического метода контроля ядерных испытаний для регистрации молниевых разрядов при решении ряда хозяйственных задач.

2. Создана и эффективно действует система регистрации молниевых разрядов в интересах охраны лесов от пожаров. Информация о грозах, получаемая в процессе мониторинга, имеет высокую достоверность и надежность и оказывает существенную помощь диспетчерской службе. Учет грозовой обстановки в комплексе с метео-, оперативными данными и данными о природной пожарной опасности, позволяет диспетчеру рационально распорядиться ограниченными ресурсами при планировании патрульных полетов и организации борьбы с пожарами.

3. Точность определения координат гроз удовлетворяет требованиям выполнения авиалесоохранных работ.

4. Получены ценные экспериментальные данные и накоплен определенный опыт, позволяющие при

развертывании системы в полном составе, учесть особенности регионов и обеспечить функционирование системы с улучшенными характеристиками.

5. Анализируя статистику горимости лесов за последние годы, нельзя не обратить внимание на то, что на пожары от гроз (при их относительном числе от 8.8% до 17.5%) приходится от 37% до 53.8% пройденной огнем лесной площади. Такая картина объясняется во многом тем обстоятельством, что нередкие сухие грозы, порождающие массовые возгорания на больших пространствах, создают напряженную ситуацию для организации борьбы с огнем. В таких условиях точная и своевременная информация о грозах может оказать весьма существенную помощь в ликвидации многочисленных одновременно возникших очагов лесных пожаров. Так, например, по мнению западных специалистов «...благодаря эксплуатации систем грозоопеленгации в США, Канаде, Франции, Китае потери лесных ресурсов от пожаров, вызванных грозами, снизились на 70%, а в некоторых регионах – на 90%...».

БАҚЫЛАУЫНЫҢ РАДИОТЕХНИКАЛЫҚ ӘДІСІН ХАЛЫҚ ШАРУАШЫЛЫҒЫ МҮДДЕСІНДЕ ҚОЛДАНУЫ

¹⁾Азметов Р.Р., ²⁾Григорьев В.А., Знаменщиков Б.П., ³⁾Московенко В.М.

¹⁾*Орманды өрттен авиациялық қорғауының орталық базасы*

²⁾*ЖШС "Григо", Щучинск, Қазақстан*

³⁾*ЖАҚ «Мониторинг технологий» ФӨБ, Москва, Ресей*

Атмосфералық ядролық жарылыста пайда болатын импульсті электрмагнитті сәулеленуінің мінездемелері жерге түсетін найзағай разрядталуында сәулеленуінің тиісті мінездемелеріне жакын келеді. Бұл дерек ядролық жарылыстарын бақылауының радиотехникалық әдісінің әдістемелік аппаратын шаруашылық мүддесінде найзағай разрядталуын тіркеу үшін жүйелері мен кешендерін жасауға мүмкіндік береді

Мақалада, орманды өрттен қорғау қызметінде және басқа тұтынушылар үшін қолданылатын найзағай разрядталуын тіркеу жүйесі сипатталады. Орманды өрттен авиациялық қорғауын диспетчерлік басқаруында найзағай разрядталуының орны мен параметрлері туралы жедел ақпараты өте көкейтесті болып табылады.

APPLICATION OF RADIO TECHNICAL TESTING METHOD FOR NATIONAL ECONOMY PURPOSES

R.R. Azmetov, V.A. Grigorev, B.P. Znamenshikov, V.M. Moskovenko

¹⁾*Central Base of Forest Aviation Protection from Fires*

²⁾*Grigo Ltd., Schuchinsk, Kazakhstan*

³⁾*Monitoring Technologies Corporation, Moscow, Russia*

Characteristics of impulse electromagnetic radiation occurring at atmospheric nuclear explosions are close to relevant characteristics of strike radiation on the earth. This fact allows using an instrument of radio technical testing method for producing systems and complexes to record strikes for national economy purposes.

This paper gives data on strike recording system used in forest protection service and for other consumers. Operative information on location and parameters of strikes is crucial for forest fire protection aviation service monitoring. Reliable prognosis of possible inflammations in the forest resulting from thundery fronts allows us reducing damages.

УДК 550.34:550.834.535

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ
ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЩНЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ**¹Селезнев В.С., ²Еманов А.Ф., Соловьев В.М., ³Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В.¹*Геофизическая служба СО РАН, Новосибирск, Россия*²*Алтае-Саянская опытно-методическая сейсмологическая экспедиция СО РАН, Новосибирск, Россия*³*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия*

Описываются результаты геофизических исследований, проведенных с использованием мощных вибрационных источников сейсмических волн на территории Сибири в последние тридцать лет, что позволило определить основные черты глубинного строения земной коры и верхней мантии Сибирской платформы, Байкальской рифтовой зоны, Алтае-Саянской складчатой области и районов Охотско-Чукотского региона.

Геофизические исследования с мощными вибрационными источниками сейсмических волн, созданными в Сибирском отделении РАН, проводятся в течение трех десятилетий в различных районах Сибири и Дальнего востока. Полученные в процессе проведения полевых экспериментов уникальные сейсмические данные положены в основу построения региональных карт сейсмического районирования изучаемых территорий. В проведении широкомасштабных экспериментальных вибросейсмических исследований на территории Сибири участвовали ведущие научные коллективы Сибирского отделения РАН - Институт вычислительной математики и математической геофизики, Институт геофизики, Институт горного дела, Геофизическая служба и Алтае-Саянская опытно-методическая сейсмологическая экспедиция СО РАН. В ряде экспериментов участвовали ученые ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта, ИГи НЯЦ Республики Казахстан, Японии, США, организаций промышленности и Высшей школы [1-6].

В результате проведенных опытно-методических работ были определены энергетические характеристики низкочастотных вибраторов как источников сейсмических волн и дальности регистрации различных типов зондирующих сигналов. Гармонические сигналы от мощных вибраторов зарегистрированы на удалении до 1500 км, получены кондиционные вибросейсмические коррелограммы на удалении до 370 км, по качеству сравнимые с записями от взрывов в водоемах и скважинах. Показано, что 40-минутная работа мощного 100-тонного виброисточника по сейсмической энергии эквивалентна взрыву 4-5 т тротила, а 40-минутная работа 40-тонного сборно/разборного вибратора в 3-4 раза слабее расщепленного взрыва заряда тротила весом 1.5 т в водоеме глубиной 1.5-2.5 м. В разработанных конструкциях мощных вибраторов достигнута высокая стабильность и повторяемость вибрационных воздействий, составляющая десятки доли миллисекунд.

Результаты вибросейсмических исследований в различных регионах Сибири дают представление о

строении земной коры в регионах с различной геологией и о структуре волнового поля, создаваемого мощными вибросейсмическими источниками на различном удалении.

Наибольший объем экспериментальных исследований с мощными вибрационными источниками был выполнен в Алтае-Саянском регионе [1,8,9]. Изучение строения земной коры и закономерностей вариаций параметров сейсмических волновых полей проводилось вдоль сейсмических профилей различной протяженности и азимутальной направленности. Основные профили, вдоль которых проводились экспериментальные работы, это: 1) Быстровка-Алейск-Савушки - протяженность 356 км, ориентация север-юг; 2) Быстровка-Маслянино-Прокопьевск - протяженность 200 км, ориентация запад-восток; 3) Быстровка-Малиновое озеро (направление Быстровка-Дегелен (Семипалатинский испытательный полигон) - протяженность 372 км, ориентация северо-восток - юго-запад; 4) Быстровка-Барабинск - протяженность 300 км, ориентация запад-восток (рисунок 1).

Зондирование трасс производилось с использованием стационарного вибратора ЦВ-100, установленного на вибросейсмическом полигоне СО РАН в районе п. Быстровка, и передвижного виброисточника ЦВ-40. Время обработки сигналов в пунктах регистрации для получения вибрационных сейсмограмм изменялось в зависимости от удаления пунктов регистрации и составляло, в среднем, 20-40 мин на удалении 0-100 км и 40-60 мин на удалении 100-400 км.

Колебания регистрировались вертикальными (группы приборов СВ-5) и трехкомпонентными приборами на многоканальную цифровую аппаратуру: «КАРС», «ВИРС», «КРОСС-РС», «РОСА», «Альфа-Геон» и Reftek.

Зарегистрированное волновое поле от виброисточника типа ЦВМ-100 на профилях 1 и 2 можно условно разбить на три области: волновое поле на удалении 0-(80-100) км, (80-100)-200 км и свыше 200 км.

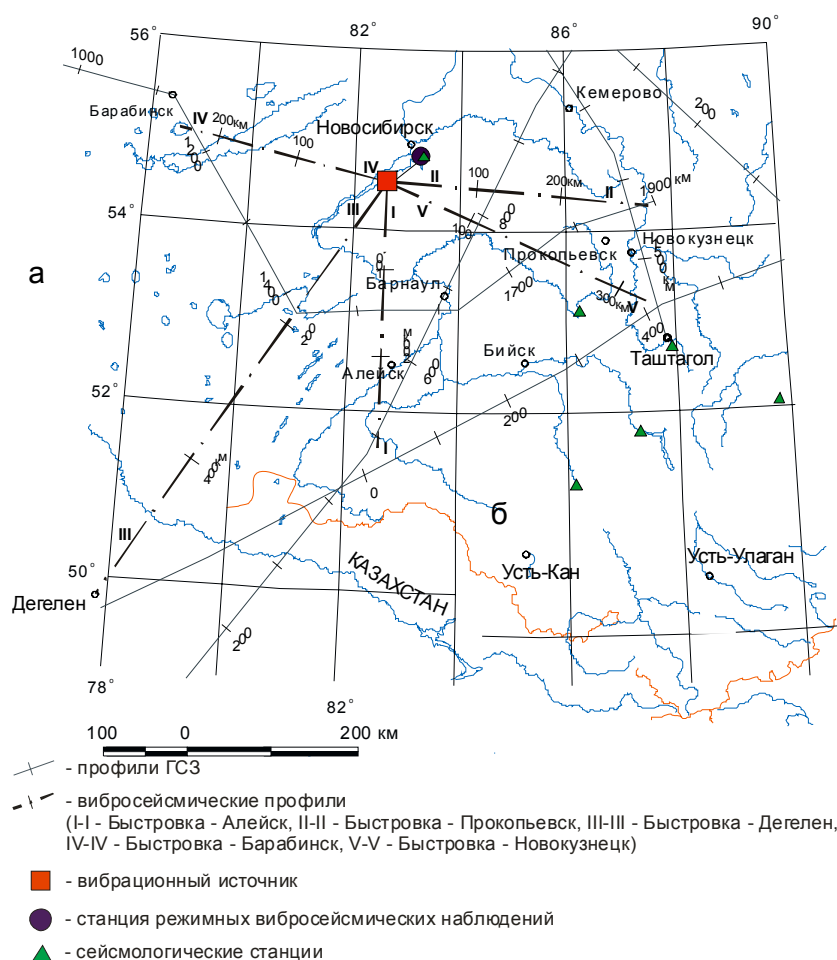


Рисунок 1. Схема вибросейсмических наблюдений в северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области

Удаление 0 - (80-100) км - это область уверенной регистрации преломленных продольных P_n^{ϕ} - и поперечных S_n^{ϕ} - волн от поверхности фундамента. В первых вступлениях на удалении 0 - (80-100) км регистрируются трех-четырефазные волны с кажущимися скоростями на коррелограммах 6 - 7 км/с и видимыми частотами 6-8 Гц. Годографы первых вступлений P_n^{ϕ} -волн в диапазоне удаления 0 - (80-100) км на профилях 1 и 2 усредняются прямыми линиями, а значения кажущейся скорости составляют 5.6-5.8 км/с. В последующей части записи за волной P_n^{ϕ} на вертикальных и трехкомпонентных записях выделяются многофазные группы колебаний, которые по аналогии с данными ГСЗ в этом регионе отнесены к внутрикоровым отраженным волнам. По коровым отраженным волнам значения эффективной скорости продольных волн в верхней части земной коры составляют 6.0-6.1 км/с. На сейсмограммах выделяются группы колебаний, относящиеся к поперечным преломленным волнам от поверхности фундамента S_n^{ϕ} , превышающие по интенсивности P_n^{ϕ} - волны на Z-компоненте. Значения кажущейся скорости поперечных волн, полученные по осредненным годографам этих волн на профилях 1 и 2 составляют 3.4 ± 0.1 и 3.3 ± 0.1 км/с, соответственно. В последующей части записи за S_n^{ϕ} волнами выделяются интенсивные группы колебаний, которые по аналогии с Р-волнами отнесены к коро-

вым отражениям. Эффективная скорость этих волн составляет 3.44 ± 0.1 км/с.

Для удалений (80-100)-200 км характерно изменение волновой картины в первых вступлениях на ортогональных профилях. На профиле 1 при этих удалениях падает интенсивность преломленных P_n^{ϕ} - и S_n^{ϕ} - волн от поверхности фундамента, и они практически не выделяются на коррелограммах. На профиле 2 в первых вступлениях отчетливо наблюдается повышение значений кажущейся скорости от 5.6-5.8 до 6.3 км/с и повышение интенсивности записи, что обусловлено выходом в первые вступления волн от глубинной внутрикоровой границы (P_n^k - волн). Осредненные значения по годографу P_n^k - волн составляют 6.3 ± 0.1 км/с. В последующей части записи, на удалении свыше 100 км, выделяются интенсивные группы волн, интерпретируемые как P_o^M - волны, отраженные от поверхности Мохоровичича. Волны P_o^M составляют многофазную группу колебаний, имеют на сейсмограммах повышенные амплитуды. Видимые частоты, как и у волн в первых вступлениях, составляют 7-9 Гц. Эффективная скорость, определенная по годографам P_o^M - волн составляет 6.4 ± 0.1 км/с.

На удалении свыше 200 км волну P_n^k сменяет волна с повышенными значениями кажущейся скорости, интерпретируемая как волна P_n^M - преломленная на границе Мохоровичича. Из записей этой волны для различных удалений видно, что маловы-

разительная группа P_n^M – волн на расстоянии от источника в 200 км перерастает на удалении свыше 300 км в интенсивную группу колебаний с отношением сигнал/шум более, чем в 3-4 раза, что может быть обусловлено рефракцией в верхней мантии.

С использованием данных регистрации Р- и S-волн на территории Западной Сибири и северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области были составлены обобщенные годографы Р- и S-волн от границ в земной коре и верхней мантии на удалении более 600 км (Рисунок 2).

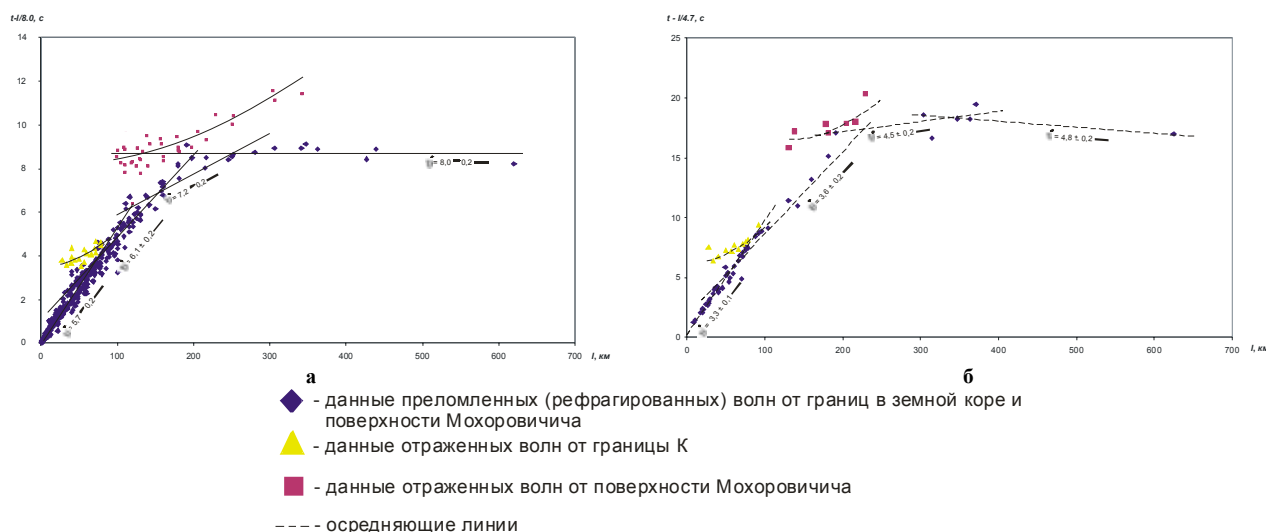


Рисунок 2. Сводные редуцированные годографы Р (а) и S (б) - волн от мощных виброисточников для северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области и территории Западной Сибири

В результате обобщенной интерпретации вибрационных данных и данных глубинных сейсмических исследований на двух 300-километровых профилях - Быстровка-Алейск и Быстровка-Прокопьевск, были получены вибросейсмические разрезы, на которых отражены основные тектонические зоны северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области, различающиеся глубинным строением. В пределах исследуемого района мощность осадочного чехла изменяется от первых сотен метров - в пределах Томь-Колыванской складчатой зоны, Салаирского кряжа и Горного Алтая, до 4-6 км - в центральной части Бийско-Барнаульской впадины, и 10 км - в Кузнецкой впадине. Скорости в верхней части фундамента на участке Томь-Колыванской складчатой зоны и Салаирского кряжа составляют 5.7 ± 0.1 и 3.33 ± 0.1 км/с для Р- и S-волн.

Поверхность Мохоровичича расположена на резко меняющихся глубинах от 48-50 км - на участках складчатых структур в пределах Томь-Колыванской складчатой зоны и центральной части Салаирского кряжа, до 35-45 км - на участке Бийско-Барнаульской и Кузнецкой впадины. В целом средние скорости Р- и S-волн во всей толще земной коры, по данным отраженных Р- и S-волн от поверхности Мохоровичича, составляют 6.4 ± 0.1 и 3.65 ± 0.1 км/с, соответственно. Пластовые скорости в нижележащей толще от границы К до поверхности М, по данным Р- и S-волн, составляют 6.7 ± 0.1 и $3.78 \pm$

0.1 км/с, соответственно. По данным закритических отраженных волн в нижней части коры по профилю 1 фрагментарно выделен слой со скоростью продольных волн 7.5 км/с.

По данным регистрации разнополяризованных SV- и SH-волн от поверхности Мохоровичича, отличающихся по временам прихода, было обнаружено существование анизотропии в верхней мантии. При обработке данных площадных сейсмологических наблюдений в Алтае-Саянском регионе показано, что в западной части площади (вблизи профиля Быстровка-Прокопьевск) установлено повышение скорости продольных волн по поверхности Мохоровичича в направлении север-юг по отношению к направлению запад-восток. Хорошая корреляция данных, полученных разными методами, наряду с самым важным фактом анизотропии в верхней мантии, указывает на надежность результатов, получаемых при вибросейсмических исследованиях с мощным виброисточником.

В Байкальской рифтовой зоне экспериментальные вибросейсмические наблюдения проводятся с 1990 г (Рисунок 3). Регистрация осуществляется площадной сейсмической антенной на удалении 0-200 км от стационарного виброисточника ЦВО-100, установленного на южном берегу оз. Байкал в районе пос. Бабушкин. Диапазон возбуждаемых частот составляет в среднем 6.25-11.0 Гц, длительность сеансов - 20-40 мин.

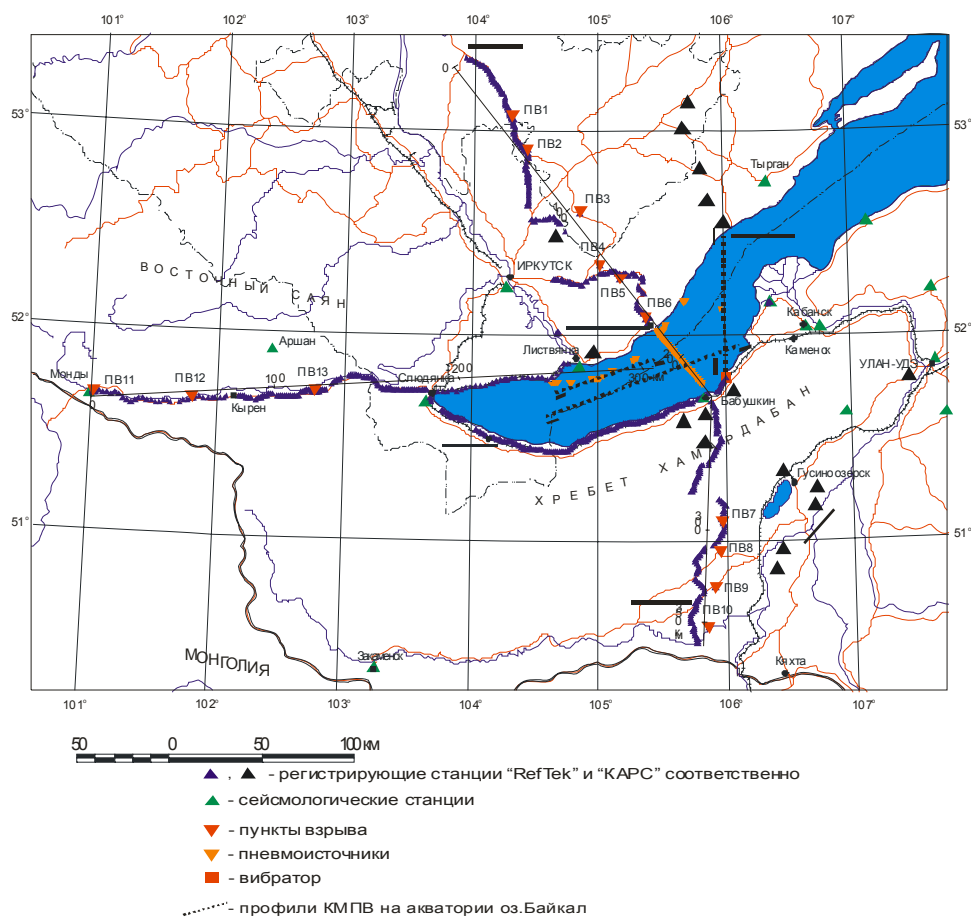
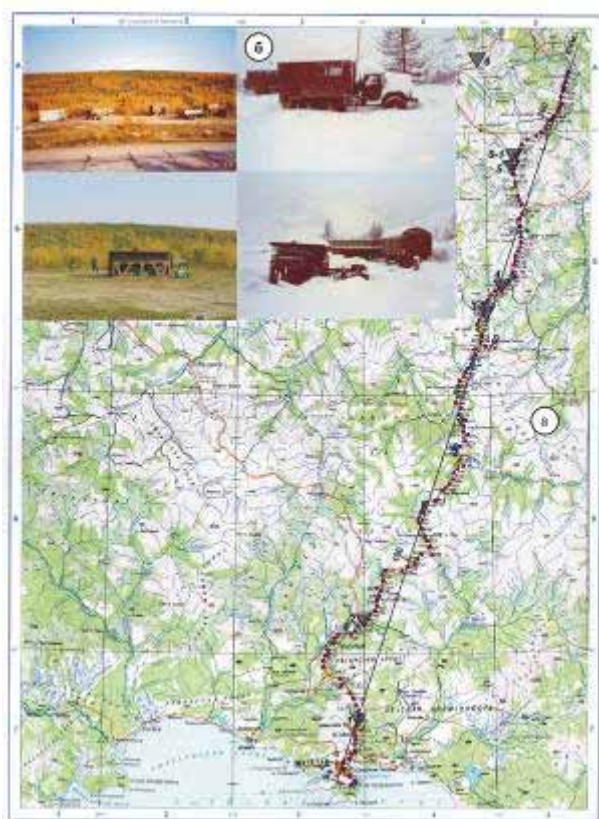


Рисунок 3. Схема сейсмических наблюдений на юге озера Байкал

С использованием стационарного виброисточника ЦВО-100 и пневмоисточника (на акватории озера Байкал) отработан субмеридиональный профиль Бугульдейка-Бабушкин-Селенга. Совместный анализ материалов позволил детально охарактеризовать строение верхней части земной коры по линии вкрест простираения Байкальского рифта и получить новое представление о механизме сочленения Сибирского кратона и Хамардабанского складчатого террейна. По сейсмическим данным горное обрамление северо-западной части Южно-Байкальской котловины (Приморский хребет) шириной в десятки километров характеризуется практически с поверхности повышенными значениями скорости продольных волн - $6.0-6.2$ км/с, равными значениям скорости в кристаллическом основании котловины. Скорость продольных волн, определенная по годографам волн в первых вступлениях при удалении до 50 км (характеризует верхнюю часть земной коры юго-восточной части озера Байкал - Хамардабанский массив до глубин 4-6 км) изменяется от 4.6 до 5.4 км/с, что практически совпадает со значениями пластовой скорости толщи докайнозойских отложений Южно-Байкальской впадины. По данным вибросейсмических наблюдений, выполненных при большом удалении, определена скорость продольных волн по поверхности Мохоровичича (равная 8.0 ± 0.1 км/с), значения средней скорости в земной коре ($6.3-6.5$ км/с) и глубина залегания поверхности Мохоровичича в Прибайкальском прогибе (39-43 км) [7 - 10].

Экспериментальные исследования с мощными вибрационными источниками в Нижнеудинском районе Присаянья проводились в 1990-1991 гг. Здесь решались следующие задачи: отработка технологии эксперимента с новым передвижным 40-тонным виброисточником, сопоставление волновых полей от взрывов и вибратора, изучение глубинного строения разреза по 80-километровому профилю, расположенному вблизи 300-километрового профиля ГСЗ, отработанного ранее со взрывными источниками. По профилю был построен фрагмент глубинного разреза до поверхности фундамента. Скорость продольных волн, определенная по сводному редуцированному годографу, изменяется от 3.3-3.9 км/с - в самой верхней части разреза, до 6.0 ± 0.1 км/с - на поверхности кристаллического фундамента. Толща пород мощностью до 500 м в верхней части разреза характеризуется скоростью распространения волн 3.3-3.9 км/с и отвечает мергелям и алевролитам верхоленской свиты. Ниже по разрезу залегают доломиты и ангидриты ангарской свиты, характеризующиеся скоростью распространения волн 4.8 ± 0.1 км/с. Нижезалегающие породы мотской свиты имеют значения скорости распространения волн 5.8-5.95 км/с, полученные по данным ОГТ в этом регионе. Кровля свиты расположена на глубине от 1.6 до 2.7 км. Поверхность кристаллического фундамента со скоростью распространения волн 6.0 ± 0.1 км/с залегает на глубине 4.0-4.4 км.



Регистрирующие станции:
● - СТС-24Р
● - "БАЙКАЛ"
● - Reftek
▼ - виброисточники

Рисунок 4. Схема глубинных вибросейсмических исследований (а) и условия работы (б) на участке профиля 2-ДВ (Магадан – Усть-Среднекан)

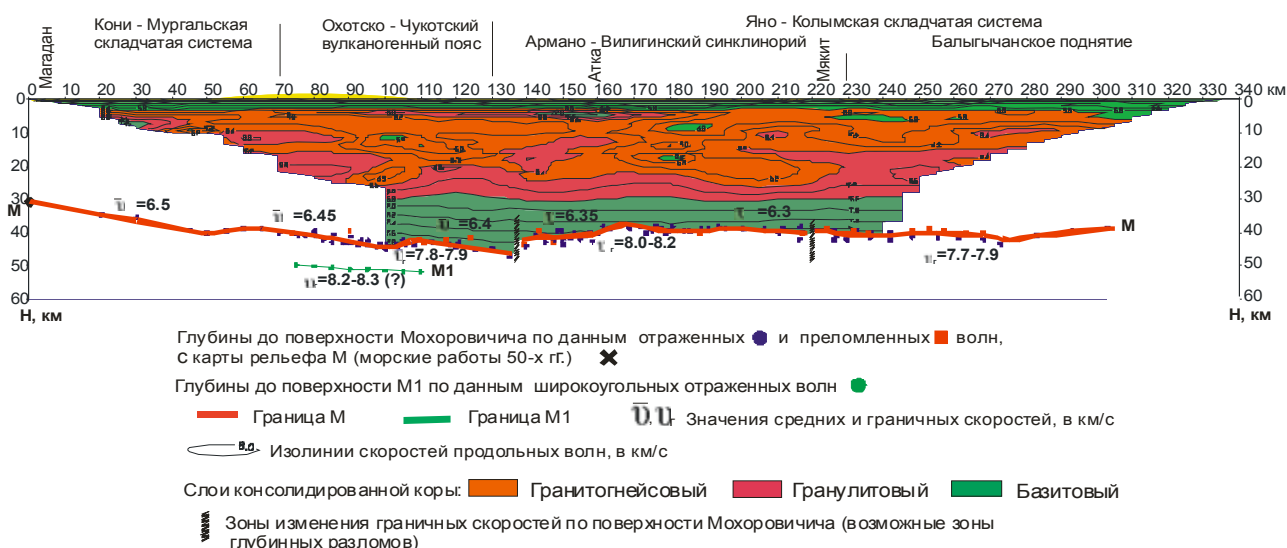


Рисунок 5. Сейсмотомографический разрез по участку профиля 2-ДВ (Магадан – Усть-Среднекан)

Применяя новые технологии, можно снизить затраты на организацию крупномасштабных полевых работ, что открывает широкие возможности проведения глубинных сейсмических исследований в промышленных районах, на территориях национальных заповедников (таких как, например, 100-километровая заповедная

В Охотско-Чукотском регионе полевые исследования проводились совместно СНИИГИМС и АСОМСЭ на 320-километровом участке профиля 2-ДВ (г. Магадан-пос. Усть-Среднекан) с использованием передвижного вибросейсмического комплекса на базе вибратора ЦВ-40 [5, 11] (Рисунок 4).

По результатам работ построен обобщенный глубинный сейсмический разрез (рисунок 5), который включает сейсмотомографический разрез земной коры по данным преломленных волн, а также поверхность Мохоровичича, построенную по данным головных и закритических отраженных волн. Средняя скорость распространения сейсмических волн до поверхности Мохо составляет 6.3-6.5 км/с. Граничная скорость вдоль профиля меняется от 7.7 до 8.2 км/с. Наиболее низкие и пониженные значения скоростей отмечаются в северо-восточной и юго-восточной его части. Нормальные значения 8.0-8.2 км/с соответствуют центральной части профиля. Мощность земной коры по профилю изменяется от 31 км - в его начальной части (район г. Магадан), до 43-45 км - в его центральной и северо-восточной части.

Экспериментальные исследования с различными конструкциями мощных стационарных и передвижных виброисточников убедительно доказали возможность их использования при изучении глубинного строения земной коры и верхней мантии в различных регионах России и мира, а также при решении задач региональной калибровки сейсмических станций Международной системы мониторинга. Полученные к настоящему времени сведения о волновых сейсмических полях, генерируемых мощными вибрационными источниками на больших расстояниях, построенные глубинные вибросейсмические разрезы являются уникальными и пока не имеют аналогов в мире.

зона вокруг озера Байкал), где невозможно проведение стандартных буровзрывных работ. Установлено, что экономический эффект от использования мощных вибраторов при изучении глубинного строения регионов Сибири составляет порядка 2-2.5 млн. руб. в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Селезнев В.С. и др. Вибросейсмические исследования Алтае-Саянского региона // Геофизические методы изучения земной коры. – Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1998. – с. 33–40.
2. Алексеев А.С. О кинематических и динамических свойствах основных глубинных волн в некоторых моделях земной коры // Глубинное сейсмическое зондирование в СССР. – М.: Гостоптехиздат. – 1962.
3. Алексеев А.С. Обратные динамические задачи сейсмики // Некоторые методы и алгоритмы интерпретации геофизических данных. – М.: Наука, 1967 – с. 9–84.
4. Алексеев А.С., Зейгарник В.А. Комплексный мониторинг сейсмоопасных зон // Проблемно-ориентированные вычислительные комплексы ВЦ. – 1992.
5. Еманов А.Ф., Сальников А.С., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Кашун В.Н., Данилов И.А., Жемчугова И.В. Результаты опытно-промышленных глубинных сейсмических исследований с использованием мощных вибраторов на участке профиля 2-ДВ (г. Магадан – пос. Усть-Среднекан) // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики: в 3-х т./Материалы Всероссийского совещания, посвященного 90-летию академика Н.А.Шило (XII годичное собрание Северо-Восточного отделения ВМО). Магадан, 3-6 июня 2003г. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – т.1. – с.76-78.
6. Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Соловьев В.М. Методика вибросейсмических исследований земной коры для целей прогноза землетрясений // Динамические задачи механики сплошной среды, теоретические и прикладные вопросы вибрационного просвечивания Земли. – Краснодар, 1990. – с. 212-213.
7. Селезнев В.С., Соловьев В.М. Отзыв-комментарий на статью А.Н.Булгатова «Вероятная тектоническая природа докайнозойского осадочного комплекса южной котловины оз. Байкал» // Геология и геофизика. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 1999. – т.40, №10. – с. 1513-1516.
8. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Еманов А.Ф. К обоснованию постановки вибросейсмического мониторинга юго-западной части Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1998. – с. 105–111.
9. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Жемчугова И.В., Лисейкин А.В. Глубинное строение Алтае-Саянского региона по данным площадных сейсмологических систем наблюдений // Сейсмология в Сибири на рубеже тысячелетий / Материалы международной геофизической конференции. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2000. – с. 222-228.
10. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Еманов А.Ф. и др. Изучение поверхности Мохоровичича Алтае-Саянского региона по данным площадных систем наблюдений преломленных волн от землетрясений // Методы изучения, строение и мониторинг литосферы / Материалы международной геофизической конференции. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 1998. – с. 275 – 282.
11. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Еманов А.Ф., Сальников А.С., Фельдман Л.Л., Кашун В.Н., Кузнецов В.Л., Марков В.М., Данилов И.А., Жемчугова И.В. Глубинное строение Юго-Западной части Охотско-Чукотского региона по результатам вибросейсмических исследований с мощными передвижными вибраторами // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия / Материалы международной геофизической конференции. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. – с. 374-382.

КҮРДЕЛІ ДІРЛІГІШ КӨЗДЕРІН ҚОЛДАНУЫМЕН СІБІР АУМАҒЫНЫҢ ЖЕР ҚЫРТЫСЫНЫҢ ТЕРЕНДІКТЕГІ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ МАНТИЯСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫСЫН ЗЕРТТЕУІ

¹⁾ Селезнев В.С., ²⁾ Еманов А.Ф., Соловьев В.М. ³⁾ Алексеев А.С., Глинский Б.М., Ковалевский В.В.

¹⁾ *РФА СБ Геофизикалық қызметі, Новосибирск, Ресей*

²⁾ *РФА СБ Алтай-Саян тәжірибелі-әдістемелік сейсмологиялық экспедициясы, Новосибирск, Ресей*

³⁾ *РФА СБ Есептеуіш математика және математикалық геофизика институты, Новосибирск, Ресей*

Сібір аумағында соңғы отыз жыл ішінде өткізілген және Сібір платформасының, Байкал рифтілік белдемінің, Алтай-Саян қатпарлық облысының және Охотск-Чукотка аймағының жер қыртысының терендіктегі және жоғарғы мантиясының құрылысының негізгі ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік берген күрделі дірілгіш көздерімен геофизикалық зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

RESEARCH OF EARTH'S CRUST AND UPPER MANTLE DEEP STRUCTURE OF SIBERIA TERRITORY USING POWERFUL VIBRATING SOURCES

¹⁾ V.S. Seleznev, ²⁾ A.F. Emanov, V.M. Soloviev, ³⁾ A.S. Alekseev, B.M. Glinsky, V.V. Kovalevsky

¹⁾ *Geophysical Survey, SB RAS, Novosibirsk, Russia*

²⁾ *Altai - Sayan Methodical-Seismological Expedition, SB RAS, Novosibirsk, Russia*

³⁾ *Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, SB RAS, Novosibirsk, Russia*

The article represents the results of geophysical researches with powerful vibrating sources of seismic waves, which have been carried out on the territory of Siberia for the last thirty years. These researches have allowed determining the basic features of the deep structure of the Earth's crust and the upper mantle of the Siberian platform, Baikal rift zone, Altai – Sayan folded area and Okhotsk-Chukotka region.

УДК 551.14:550.346(571.15)

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЭПИЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО ДАННЫМ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ОТ АФТЕРШОКОВ

Лисейкин А.В., Соловьев В.М.

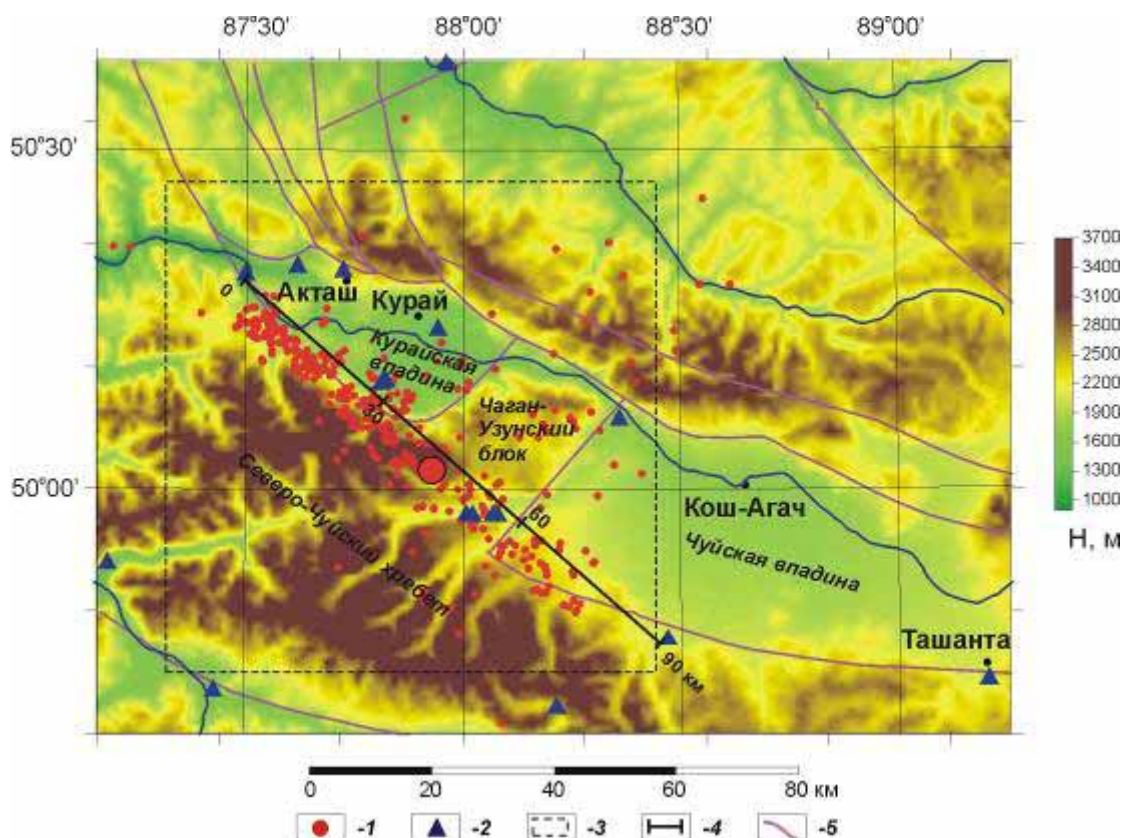
Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, Россия

Изучено строение верхней части земной коры в районе эпицентральной зоны Чуйского землетрясения (27.09.2003 г) по временам пробега прямых Р- и S-волн от афтершоков. Для интерпретации данных использовалась методика лучевой сейсмической томографии на временных задержках. Построена трехмерная модель очаговой зоны Чуйского землетрясения площадью 80х80 км и глубиной до 15 км (распределение значений скоростей продольных и поперечных волн, а также коэффициента Пуассона). Проанализирована пространственная связь полученных упругих параметров среды с сейсмичностью исследуемой зоны.

ВВЕДЕНИЕ

Эпицентральная зона Чуйского землетрясения, произошедшего 27 сентября 2003 г. на юге Республики Алтай, располагается в южной части Алтае-Саянской складчатой области в районе Северо-Чуйского хребта, Чуйской, Курайской межгорных впадин и разделяющего их Чаган-Узунского приподнятого блока (рисунок 1). По данным предыдущих исследований [1], зона находится в районе повышенной сейсмической активности. С августа 2002 г. в этой части Алтае-Саянского региона действует

локальная сеть станций Алтайского сейсмологического полигона [2]. После землетрясения в этом районе развернута сеть дополнительных временных сейсмологических станций, которыми в течение двух месяцев зарегистрированы многочисленные афтершоки. Плотность сети временных станций позволила определять параметры гипоцентров с высокой точностью, что стало предпосылкой для изучения трехмерного строения земной коры по сейсмологическим данным с использованием томографических методов.



1- эпицентры Чуйского землетрясения (крупный кружок) и его афтершоков (по данным Еманова А.А., Лесковой Е.В.);
2- сейсмологические станции; 3-граница район исследований; 4- линия профиля; 5- разломы (по данным ГИН РАН [2])

Рисунок 1. Схема наблюдений в районе эпицентральной зоны Чуйского землетрясения

Сведения о глубинном строении Алтае-Саянской складчатой области, полученные до настоящего времени, основывались на результатах малодетальных работ ГСЗ [3], являются региональными и не охватывают

эпицентральную зону землетрясения. Кроме данных по профилям, имеются региональные сведения о глубинном строении центральной части Алтае-Саянского региона, полученные по данным площад-

ной сети сейсмологических станций [4]. Однако для понимания механизмов образования землетрясений и протекания афтершоковых процессов, необходимы более детальные геофизические сведения о строении земной коры в гипоцентральной зоне, прежде всего, данные о распределении скоростей P- и S-волн.

МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

С использованием совокупности данных региональных профильных и площадных сейсмологических исследований построена сводная зависимость скоростей P- и S-волн от глубины для земной коры в районе эпицентральной зоны Чуйского землетрясения (рисунок 2).

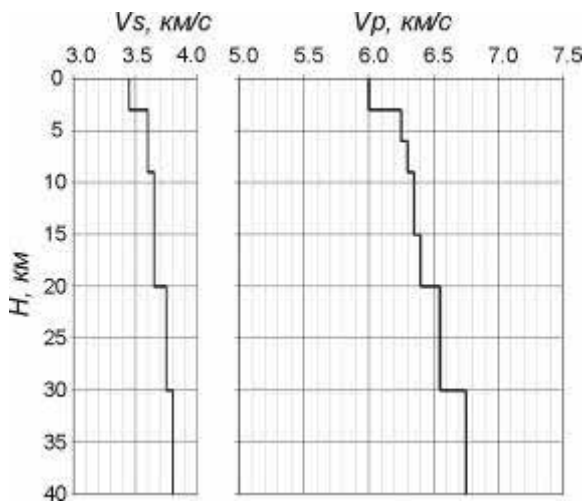


Рисунок 2. Сводная зависимость пластовых скоростей P- и S-волн от глубины в земной коре для района эпицентральной зоны Чуйского землетрясения (по [3,4])

Данная скоростная модель была использована для определения параметров гипоцентров афтершоков (расчеты координат гипоцентров выполнены Емановым А.А., Лесковой Е.В. [2]).

Для изучения строения верхней части земной коры были собраны обработанные данные по прямым P- и S-волнам от афтершоков Чуйского землетрясения, зарегистрированным сетью временных и постоянных сейсмостанций. Высотные значения размещения сейсмостанций и глубины гипоцентров событий были приведены к общему относительному уровню 2200 м. Использованы данные около 250 событий с энергетическими классами $K > 7$, в основном, с глубиной от 0 до 15 км. Ошибка (стандартное отклонение) в исходных данных составляла: 1.5 км - для эпицентральных координат, 3.0 км - для глубин гипоцентров, 0.05 с - для времен пробега. Количество лучей, пересекающих исследуемую область, составило около 1700 для P- и 1500 - для S-волн. С учетом особенностей системы наблюдений, числа лучей, величины ошибок в исходных данных и др. обоснована детальность томографических построений - определено, что детальность должна быть не мельче, чем 15-20 км по латерали и 5 км по глубине.

Для интерпретации данных использована методика лучевой сейсмической томографии на временных задержках, изложенная в [5]. Основные прин-

ципы методики заключаются в следующем. Исследуемая область среды разбивается на блоки с постоянной скоростью, задаваемой согласно априорной референтной модели; лучи аппроксимируются ломанными линиями; время пробега волн определяется суммой времен по всем сегментам этой ломанной. По полученным суммам составляется система линейных уравнений, правой частью которых являются невязки между наблюдаемыми временами прихода волн и теоретическими, рассчитанными по референтной модели. Решением системы уравнений является распределение невязок скоростей к исходной модели среды. При неточном задании референтной модели траектории лучей неверны, в связи с чем, применяется итеративная процедура: каждая восстановленная модель используется в качестве референтной с последующим расчетом лучей, что постепенно приближает систему к реальным условиям. В данной работе для упрощения решения обратной задачи с применением сейсмической томографии учтены следующие соображения.

С использованием сводных зависимостей скоростей от глубины (рисунок 2) была рассчитана прямая кинематическая задача для рефрагированных и прямолинейных лучей и это позволило установить, что на удалениях до 60 км расхождение годографа прямой и рефрагированной волны при различных глубинах источников составляет не более 0.02 с, расхождения траекторий лучей при этом не превышают 2 км. В то же время, величина ошибок в исходных данных, связанная с неточностью определения параметров гипоцентров землетрясений, в исследуемом районе составляет до 0.05 с по времени и до 3 км по глубине. Исходя из выбранных размеров скоростных блоков, сделано предположение, что на удалениях до 60 км траектории лучей P- и S-волн можно считать практически прямолинейными.

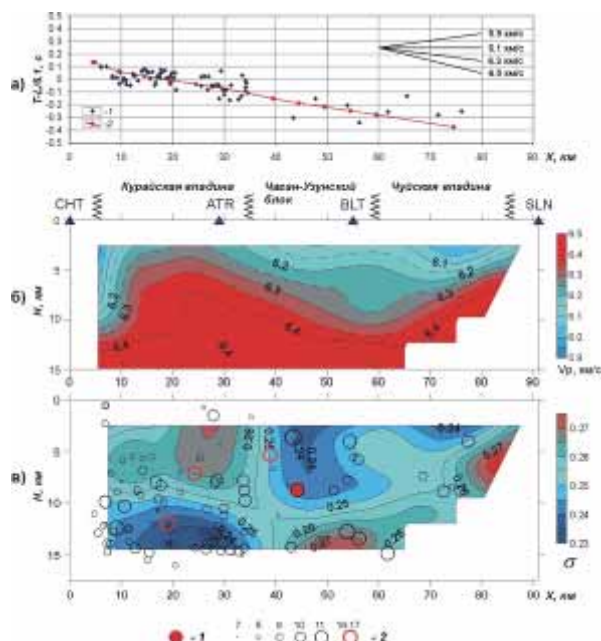
Для обоснования выбранной методики томографической интерпретации сейсмологических данных проведен ряд расчетов по восстановлению трехмерно-неоднородных скоростных моделей среды. При этом, система наблюдений соответствовала реальному расположению сейсмостанций в эпицентральной зоне и распределению гипоцентров афтершоков, размеры восстанавливаемых скоростных блоков составили 20 км по латерали и 5 км по глубине. Результаты расчетов показали, что для данной системы наблюдений при ожидаемых ошибках в исходных данных, скоростные аномалии, расположенные на глубине от 0 до 10 км, восстанавливаются с погрешностью не более 0.1 км/с. Для больших глубин (10-15 км) модель среды восстанавливается несколько хуже, с ошибкой 0.15-0.2 км/с, что связано с влиянием ошибок исходных данных.

Экспериментальные данные интерпретировались двумя способами:

- двумерная интерпретация по профилю, простирающемуся вдоль Северо-Чуйского хребта, включающему афтершоки, расположенные практически линейно вдоль разломов и 4 наблюдательные сейсмические станции;

- трехмерная интерпретация совокупности всех данных о временах пробега Р- и S-волн от афтершоков, зарегистрированных площадной сетью станций.

Длина выделенного профиля составила около 90 км, ширина, с учетом разброса эпицентров, - около 15 км. Отобрано свыше 500 лучей Р- и 400 S-волн от гипоцентров, расположенных на удалении до 60 км и отсортированных по глубине. По этим данным построены годографы, приведенные к общему пункту приема. Пример экспериментального годографа продольной волны, построенного по данным сейсмостанции «Чибит» (СНТ) от источников на глубинах 10-15 км приведен на рисунке 3а.



1 - гипоцентр Чуйского землетрясения, 2 - гипоцентры афтершоков с энергетическим классом К (по данным Еманова А.А., Лесковой Е.В.)

Рисунок 3. Результаты интерпретации сейсмологических данных по профилю в районе эпицентральной зоны Чуйского землетрясения: а - экспериментальный (1) и теоретический (2) годографы от источников на глубине 10-15 км; б - распределение скорости продольных волн; в - распределение коэффициента Пуассона

Построенные годографы позволили провести отбраковку некачественных данных, связанных, очевидно, с плохой точностью определения, в отдельных случаях, времени в очаге t_0 и координат гипоцентров. Оставшиеся данные (времена вступления) использованы в качестве исходных для интерпретации методом сейсмической томографии. Размеры восстанавливаемых скоростных блоков приняты 5 км по глубине и 15 км по профилю. В качестве референтной модели среды использована одномерная зависимость скоростей Р- и S-волн с глубиной, приведенная выше. В результате интерпретации было получено двумерное распределение скоростей Р- и S-волн (рисунок 3 б) и распределение коэффициента Пуассона σ (рисунок 3 в).

При проведении трехмерной интерпретации использованы данные о временах пробега Р- и S-волн от 300 афтершоков, полученные 12 станциями площад-

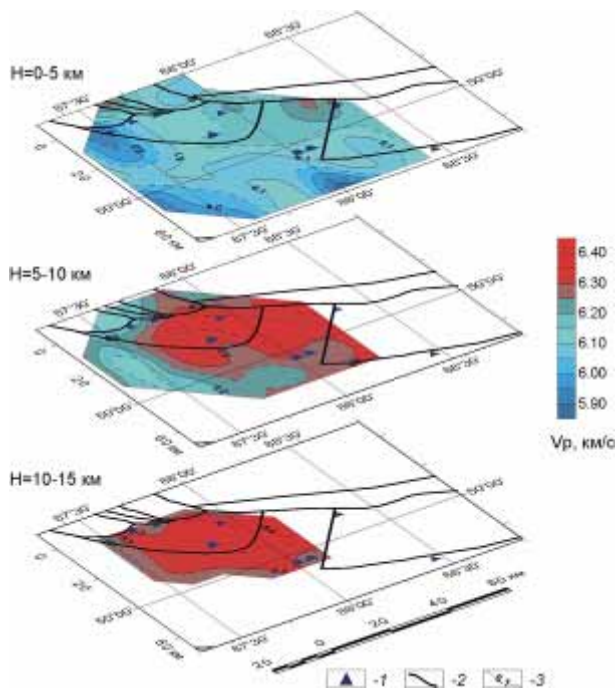
ной сети эпицентральной зоны. Количество лучей, секущих исследуемую область и имеющих длину до 60 км, составило около 1300 для Р- и 1000 для S-волн. В качестве референтной модели использовались сводная зависимость скоростей продольных и поперечных волн с глубиной для территории эпицентральной зоны Чуйского землетрясения (рисунок 2). В результате интерпретации было получено распределение значений скоростей Р- и S-волн в верхней части земной коры до глубины 15 км на площади 80x80 км, а также распределение коэффициента Пуассона σ .

РЕЗУЛЬТАТЫ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ

Результаты двумерной интерпретации сейсмологических данных представлены на рисунке 3. Как видно из него, значения скорости Р-волн, в целом, по разрезу меняются от 5.9 км/с до 6.5 км/с. Выделяются зоны с пониженными значениями скорости: до 5.9-6.0 км/с - в районе юго-западной части Курайской впадины, 6.1 км/с - в пределах Чаган-Узунского блока; 6.0 км/с - в верхней части разреза (глубина 0 - 5 км) в районе Чуйской впадины. В южной части Курайской впадины отмечается зона с повышенными значениями скорости до 6.2 км/с. На уровне глубин от 5 до 10 км выделяется зона с пониженным значением скорости до 6.1 км/с в юго-западной части Курайской впадины, остальной участок разреза характеризуется значениями скорости 6.3-6.4 км/с. В нижней части профиля (на глубине 10-15 км) значения скорости продольных волн составляют 6.4-6.5 км/с. Значения коэффициента Пуассона по разрезу меняются от 0.23 до 0.28. В верхней части земной коры, до глубины 7-8 км, выделяется блок с повышенным значением данного параметра до 0.27, который соответствует участку Курайской впадины. На глубине от 8 до 12 км на этом участке находится переходная зона с понижением коэффициента Пуассона, значение которого составляет 0.23 на глубине около 15 км. На участке Чаган-Узунского блока до глубины порядка 10 км наблюдается зона с пониженным значением коэффициента до 0.24, которая граничит снизу с блоком повышенных σ до 0.27. Участок Чуйской впадины характеризуется средними значениями коэффициента Пуассона 0.25, лишь в юго-западной части ее на глубине 5-10 км наблюдается зона с повышенным значением σ до 0.27.

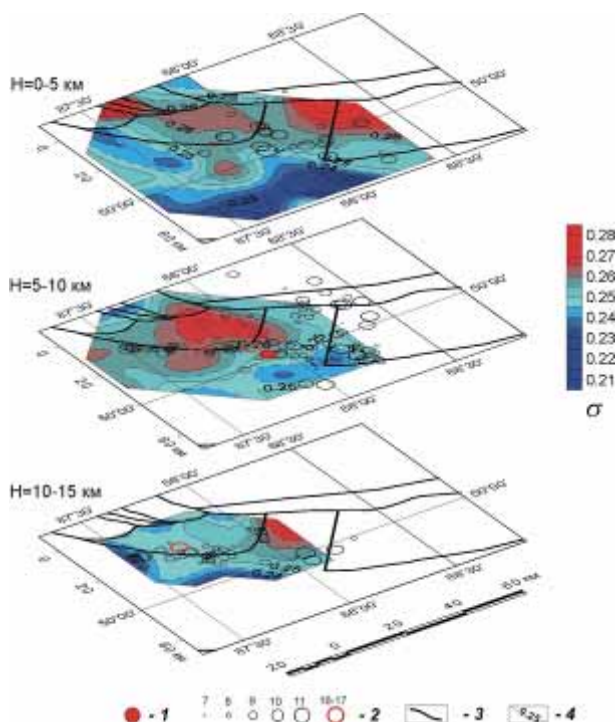
На рисунке 4 приведены результаты трехмерной интерпретации Р-волн в виде распределений пластовых скоростей по площади на уровнях глубин 0-5 км, 5-10 км и 10-15 км.

Из рисунка 4 видно, что значения скорости Р-волн в исследуемой области изменяются от 5.9 км/с до 6.4 км/с. Выделяется протяженная зона пониженных значений скорости Р-волн вдоль Северо-Чуйского хребта - от 5.9-6.1 км/с в слое 0-5 км до 6.2 км/с в слое 5-10 км и до 6.3 км/с на глубинах 10-15 км. В центральной части Курайской впадины и Чаган-Узунского блока находится область с повышенным значением скорости продольных волн - от 6.2 км/с до 6.3 км/с и 6.4 км/с на уровнях глубин 0-5 км, 5-10 км и 10-15 км, соответственно.



1- сейсмостанции, 2- разломы по данным ГИН РАН [2], 3- изолинии скорости в км/с.

Рисунок 4. Результаты интерпретации данных Р-волн в верхней части земной коры эпицентральной зоны Чуйского землетрясения



1- гипоцентр Чуйского землетрясения, 2- гипоцентры афтершоков с энергетическим классом К (по данным Еманова А.А., Лесковой Е.В.), 3- разломы по данным ГИН РАН [2], 4- изолинии коэффициента Пуассона

Рисунок 5. Распределение коэффициента Пуассона. Верхняя часть земной коры эпицентральной зоны Чуйского землетрясения

С использованием данных трехмерного распределения скоростей Р- и S-волн в верхней части земной коры эпицентральной зоны построено распределение значений коэффициента Пуассона (рисунк 5).

Как видно из рисунка, значения коэффициента Пуассона (σ) в исследуемой области меняются в общем диапазоне от 0.21 до 0.28. Выделяется протяженная зона с пониженными значениями σ до 0.21-0.23 в районе Северо-Чуйского хребта и в юго-западной части Чаган-Узунского блока на уровне глубин 0-5 км. Данная зона пониженных значений коэффициента Пуассона прослеживается и на других уровнях со значениями $\sigma=0.23-0.24$ на глубине 5-15 км. Район Курайской межгорной впадины характеризуется повышенными значениями σ до 0.26-0.27 на глубине 0-10 км и средним значением σ около 0.25 на уровне глубин 10-15 км. В районе северо-восточной части Чаган-Узунского блока и примыкающего к нему западного окончания Чуйской межгорной впадины также находится зона с повышенными значениями коэффициента Пуассона до 0.27-0.28 и 0.26-0.27 на глубине 0-5 км и 5-15 км, соответственно.

Выводы

В результате анализа полученного трехмерного распределения значений скоростей Р- и S-волн, а также коэффициента Пуассона, в верхней части земной коры, ранее практически неизученного юго-западного участка Алтае-Саянской складчатой области, выделены основные особенности глубинного строения эпицентральной зоны Чуйского землетрясения. Установлено, что верхняя часть земной коры очаговой зоны Чуйского землетрясения неоднородна по своим упругим свойствам как по латерали, так и по глубине. Приуроченность выявленных неоднородностей в большей мере к крупным тектоническим структурам, ограниченными глубинными разломами, позволяет рассматривать исследуемую среду как состоящую из крупных блоков с различными упругими свойствами. На резких границах этих блоков под влиянием тектонических воздействий можно ожидать возникновения подвижек и, как следствие, высвобождения упругой энергии в виде землетрясений и последующих афтершоков.

Об этом свидетельствует факт линейного пространственного распределения эпицентров афтершоков Чуйского землетрясения вдоль разломов, отделяющих положительные аномалии коэффициента Пуассона в районе Курайской и Чуйской межгорных впадин от отрицательной аномалии σ в районе Северо-Чуйского хребта.

Гипоцентр главного толчка Чуйского землетрясения располагается также в зоне с переходным значением σ . Анализ пространственного распределения положительной аномалии скорости Р-волн под Курайской впадиной и примыкающей к ней с юга отрицательной аномалии под Северо-Чуйским хребтом указывает на то, что плоскость разделяющего их разлома, скорее всего, имеет наклон в направлении на юго-запад. Этот результат может представлять интерес для геофизиков и геологов, изучающих тектоническое строение земной коры.

В эпицентральной зоне Чуйского землетрясения в 2004 г. планируется установить дополнительную сеть временных сейсмологических станций. В этой связи полученные данные могут быть приняты в качестве исходных для уточнения по данным дополнительных сейсмологических исследований.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Президиума СО РАН (интеграционный проект № 73). Авторы благодарны С.В. Гольдину за

организацию, поддержку и непосредственное участие в работах по созданию Алтайского сейсмологического полигона, на котором еще за год до Чуйского землетрясения была развернута временная сеть сейсмологических станций и получены ценные материалы. Авторы благодарны также коллегам из Алтай-Саянского филиала ГС СО РАН, проявившим активное участие в получении и обработке экспериментальных данных, а также в обсуждении материалов статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жалковский Н.Д., Кучай О.А., Мучная В.И. Сейсмичность и некоторые характеристики напряженного состояния земной коры Алтай-Саянской области //Геология и геофизика. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 1995. - т.36, № 10. - С.20-30.
2. Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф. и др. Чуйское землетрясение и его афтершоки//Доклады Академии Наук, 2004,. – М.: Наука. - т. 395, № 4. - С.1-4.
3. Глубинные сейсмические исследования в Западной Сибири. - М.: Наука, 1970. - 128 с.
4. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Жемчугова И.В., Лисейкин А.В. Глубинное строение Алтай-Саянского региона по данным площадных сейсмологических систем наблюдений//Сейсмология в Сибири на рубеже тысячелетий/ Материалы международной геофизической конференции, 27-29 сентября, 2000 г.. - Новосибирск, 2000. - С.222-228.
5. Нолет Г. Сейсмическая томография с приложениями в глобальной сейсмологии и разведочной геофизике. //Пер. с англ. - М: Мир, 1990. - 416 с.

**АФТЕРШОКТЕРДЕН ЖЕРГІЛКІТІ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОМОГРАФИЯСЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІ
БОЙЫНША ЧУЯ ЖЕРСІЛКІНУІНІҢ ЭПИОРТАЛЫҚ БЕЛДЕМІНІҢ ТЕРЕНДІКТЕГІ ҚҰРЫЛЫСЫ**

Лисейкин А.В., Соловьев В.М.

РФА геофизикалық қызметінің Алтай-Саян филиалы, Новосибирск, Ресей

Афтершоктерден тікелей Р- және S-толқындардың өту уақыты бойынша Чуя жерсілкінуінің (2003 ж. 09.27) эпиорталық белдемі ауданының жер қыртысының жоғарғы бөлшегінің құрылысы зерделенген. Деректерді өзінше пайымдау үшін уақыттық кідірісіндегі сәулелі сейсмикалық томография әдістемесі қолданылған. Чуя жерсілкінуінің ошақ белдемінің 80х80 км. аумағына және 15 км. дейін терендігіне үш өлшемді моделі құрылған (қума және көлденең толқындардың жылдамдықтар мәндерінің, сондай-ақ Пуассон коэффициентінің үлесі). Ортаның алынған серпімді параметрлерінің зерттелген белдемінің сейсмикалылығымен кеңістіктік байланысының талдауы жасалған.

**DEEP STRUCTURE OF THE CHUYA'S EARTHQUAKE EPICENTRAL ZONE
ACCORDING TO THE DATA ON LOCAL SEISMIC TOMOGRAPHY FROM AFTERSHOCKS**

A.V. Liseikin, V.M. Solovjev

Altay-Sayan Branch of Geophysical Survey SB RAS, Novosibirsk, Russia

The upper part of the Earth's crust structure was investigated in the Chuya's earthquake epicentral zone (9.27.2003) according to P- and S-waves travel time from aftershocks. Ray Seismic Tomography using time delays was used for data interpretation. A 3D model of Chuya earthquake focal area (distribution of P- and S-wave velocities and Poisson's coefficient) was designed for the territory of 80x80 km with depth up to 15 km. It was analyzed spatial relation of obtained elasticity parameters for environment with seismicity of observed area.

УДК 504.064.36(100):622.81

**СБОР ДАННЫХ ИСТИНЫ ЗЕМЛИ О ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВАХ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМОЙ МОНИТОРИНГА**

Эльтеков А.Ю., Гордон В.Р., Фирсов В.А., Червяков В.Б.

Научно-исследовательский институт импульсной техники, Москва, Россия

Статья посвящена организационным и техническим проблемам, связанным с задачей своевременного уведомления Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний о производимых крупных химических взрывах, включая сведения о местоположении и времени взрыва, количестве и типе используемого взрывчатого вещества, а также о конфигурации и предполагаемой цели взрыва. Особый интерес представляют взрывы, регистрируемые Международной системой мониторинга, данные о которых могут быть использованы в целях калибровки системы мониторинга. Представлены результаты сбора данных истины земли и локаций некоторых взрывов на горнодобывающих предприятиях России. Рассмотрены особенности сбора данных истины земли о горнопромышленных взрывах

В «Договоре о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний» (ДВЗЯИ) указано [1], что в качестве меры укрепления доверия каждое государство-участник ДВЗЯИ на добровольной основе предоставляет Техническому секретариату Организации по ДВЗЯИ уведомление о любом химическом взрыве с использованием взрывчатого материала в количестве 300 или более тонн в тротиловом эквиваленте, подрыв которого производится в виде единичного взрыва на его территории или в любом месте на его территории, находящейся под его юрисдикцией или контролем. В уведомлении указываются сведения о местоположении и времени взрыва, количестве и типе используемого взрывчатого вещества, а также о конфигурации и предполагаемой цели взрыва. Уведомление должно (как правило) предоставляться заранее (т.е. до проведения взрыва).

Эти меры обусловлены тем, что сейсмические сигналы от мощных взрывов химических взрывчатых веществ могут интерпретироваться Международной системой мониторинга (МСМ) как сейсмические сигналы от ядерных взрывов. В случае регистрации Международной системой мониторинга незаявленного или локализованного с большой погрешностью заявленного взрыва государство-участник ДВЗЯИ должно предоставить разъяснение по поводу зарегистрированных подозрительных сейсмических явлений как можно скорее, но в любом случае, не позже чем через 48 часов после запроса Технического секретариата ОДВЗЯИ [1]. На рисунке 1 показаны события на территории РФ, зафиксированные МСМ в 2003 г.



Рисунок 1. События на территории Российской Федерации, зафиксированные станциями МСМ в 2003 г

Как следует из рисунка 1, часть зарегистрированных событий по данным Международного центра данных приходятся на районы проведения крупных горнопромышленных взрывов – Курская магнитная аномалия, Средний Урал, Кузбасс и др.

При определенных условиях химические взрывы в карьерах могут регистрироваться инфразвуковыми станциями МСМ. При наличии данных об этих взрывах инфразвуковые сигналы могут использоваться для контроля состояния верхних слоев атмосферы и для оценки возможностей инфразвуковой подсистемы МСМ [7].

Кроме того, при определенных условиях химические взрывы в карьерах могут регистрироваться

инфразвуковыми станциями МСМ. При наличии данных об этих взрывах инфразвуковые сигналы могут использоваться для контроля состояния верхних слоев атмосферы и для оценки возможностей инфразвуковой подсистемы МСМ [7].

Отмеченные положения ДВЗЯИ непосредственно касаются крупных горнопромышленных взрывов, регулярно проводимых добывающими предприятиями. В России основная доля крупных химических взрывов приходится на 5-6 регионов. На рисунке 2 показаны основные регионы РФ, в которых проводятся крупные горнопромышленные взрывы.

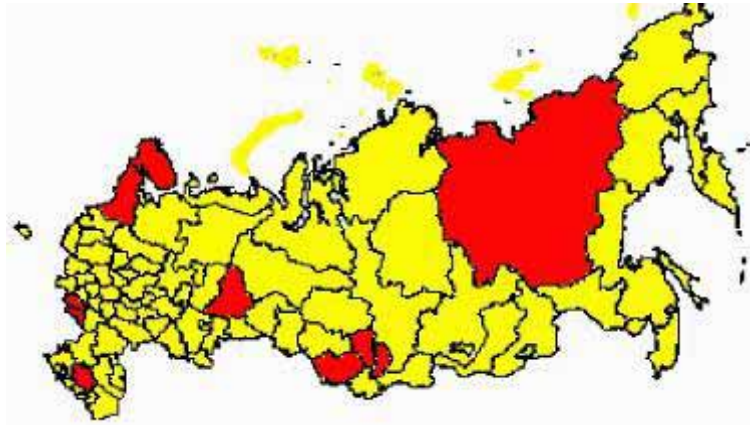


Рисунок 2. Основные регионы Российской Федерации, в которых проводятся крупные горнопромышленные взрывы

Сведения, которые должны предоставляться Техническому секретариату Организации по ДВЗЯИ, имеются только у организаций, непосредственно связанных с подготовкой и проведением взрывов. В настоящее время в РФ не выявлено организаций, которые обладают информацией в систематизированном виде по всей совокупности, проводящихся взрывов. Получение данных о взрыве требует заключения соответствующих договоров с организациями, проводящими или контролирующими промышленные взрывы. Поэтому для выполнения обязательств РФ по ДВЗЯИ необходимо создать ответственную организацию по сбору необходимых данных в сжатые сроки. При этом потребуются решить ряд организационно-технических и финансовых вопросов. В частности, остается открытым вопрос о форме предоставления данных о химических взрывах.

В рамках проекта МНТЦ 1221 во НИИИТ разработан прототип системы мониторинга химических взрывов, который может служить основой для централизованного сбора данных о горнопромышленных взрывах в России [6]. В качестве формата данных может быть использован формат таблицы eventfact центральной базы данных (БД) разработанного прототипа. В таблицу eventfact заносят данные о конкретном взрыве химического вещества. Данные, содержащиеся в центральной БД, позволяют в кратчайший срок предоставить практически полную информацию о химическом взрыве и сейсмических сигналах, порожденных этим взрывом, при поступлении запроса от Технического секретариата ОДВЗЯИ.

Предварительный анализ возможности получения детализированных данных о химических промышленных взрывах массой 300 и более тонн показывает, что в настоящее время заблаговременно возможно информирование о цели взрыва, о типе вещества, о местоположении и дате взрыва. В то же время, информирование о времени взрыва возможно postfactum с низкой точностью (до минут), о количестве (массе) – возможно спустя 3-4 недели, о конфигурации – практически (как правило) невозможно и требует специальных договоренностей и финансирования компаний, проводящих взрывы. Для дальнейшего пополнения БД и получения точных данных о времени события требуется развертывание

локальных сейсмических сетей в регионах проведения химических взрывов. При этом должна быть обеспечена оперативная доставка данных от сейсмических станций локальных сетей в организацию, которая будет проводить их обработку. Ниже приведены типовые причины задержки предоставления информации о крупных химических взрывах [5].

Неполная калибровочная информация. Неточная калибровочная информация о месте взрыва приводит к значительным ошибкам определения координат, что в свою очередь, затрудняет правильную адресацию запроса о месте проведения взрывов. Так, по ряду взрывов на КМА в 2002-2003 гг. координаты событий определены со смещением на 70-120 км от карьеров [3]. Пример ошибок при локации событий на КМА средствами Международной системы мониторинга показан на рисунке 3. При этом расчетные события оказывались за пределами административных границ субъекта РФ, обеспечивающего надзор за горнопромышленными взрывами на КМА.



Рисунок 3. Пример локации событий на КМА средствами МСМ ($R_{mis} \sim 80$ км, $S \sim 13000$ км²)

Такая ситуация вызывает задержку на переадресацию запроса на 1-2 дня. Основным средством предотвращения подобных ситуаций является локальная калибровка мест проведения крупных взрывов. При этом могут быть использованы данные регистрации взрывов относительно небольшой массы (единицы и десятки тонн). Опыт проекта МНТЦ № 1221 показал, как мониторинг взрывов на Среднем Урале позволил уточнить локальный годограф в направлении на сейсмическую станцию ARU Международной системы мониторинга [4].

Отсутствие или недостаточное техническое обеспечение подготовки сведений на местах. Отсутствие или недостаточное техническое обеспечение сбора информации и подготовки ответа на местах приводит к задержкам в 1-2 недели. При недостаточном техническом обеспечении подготовка данных в виде, удобном для ввода в БД, требует, как показала практика, до месяца работы. Планы взрывов составляются, как правило, на бумажном носителе, а не в электронной форме. Кропотливая и трудоемкая работа по переводу планов в электронную форму сопряжена с многократным сканированием отдельных фрагментов плана. Модернизация технического обеспечения организаций, проводящих химические взрывы, позволит ускорить процесс сбора и подготовки данных для ОДВЗЯИ.

Кроме того, для получения данных о точном времени взрыва требуется оснащение мест проведения взрыва регистрирующей аппаратурой (оборудование на местах). Если установка регистраторов близ места взрыва невозможна, то необходимо развернуть сеть локального мониторинга как можно ближе к месту взрыва (в радиусе до 30 км). Подобные эксперименты осуществлены по проекту МНТЦ № 1221 в районе карьеров КМА, Среднего Урала и Северного Кавказа. Установлено, что точность определения времени события повышается, если сети локального мониторинга предварительно откалиброваны по нескольким взрывам [2].

Слабо развитая сеть коммуникаций и связи. Для разъяснений природы события может потребоваться дополнительная фактографическая или геофизическая информация, например, данные локальных сетей мониторинга. Анализ роуминга сетей сотовой телефонной связи на территории РФ показал, что для некоторых регионов (в частности, региона Курской магнитной аномалии) для передачи данных, а также для связи с персоналом, находящимся на станциях, могут использоваться телефоны сотовой связи. Однако для большинства регионов России (Якутия, Кольский полуостров, Кемеровская область и др.) роуминг практически отсутствует, а передача данных и связь могут осуществляться только по каналам спутниковой связи. Например, с использованием каналов связи:

- низкоорбитальных субсинхронных спутников связи системы «Гонец» (полное развертывание этой системы должно быть завершено не ранее 2005 г.);
- системы Инмарсат (представителем которой в РФ является компания Морсвязьспутник).

Несмотря на большую стоимость спутниковой телефонной связи (примерно в 100 раз больше, чем сотовых телефонов), ее использование остается единственным средством обеспечения оперативной связи для большинства регионов России.

Выводы

Основной целью предпринимаемых усилий по обеспечению выполнения положений ДВЗЯИ по укреплению мер доверия должно быть решение организационных, юридических и, при необходимости, материально-технических и финансовых вопросов оперативной подготовки и доставки данных о химических взрывах во НИИИТ для их записи в БД и дальнейшей передачи в ОДВЗЯИ.

Кроме того, GT-данные по химическим взрывам массой как больше, так и меньше 300 тонн могут быть использованы для сейсмической калибровки МСМ. При этом обеспечивается возможность улучшения решения ряда задач: локации сейсмических событий, уменьшения неясностей, неопределенностей и размеров эллипса ошибок, коррекции и оценивания скоростных моделей коры, получения станционных поправок (Source-Specific Station Corrections) для сейсмических станций МСМ.

Сбор данных истины земли обеспечивает проведение научных исследований механизмов возбуждения сейсмической энергии от распределенных и отдельных взрывов, и того, как эта энергия распределена между Р- и S-волнами. Эмпирические исследования механизма возбуждения S-волн как модели источника в случае взрывов являются предметом этих исследований. Для заранее известных крупных взрывов могут быть развернуты малобазовые сейсмические группы и трехкомпонентные станции на различном удалении от карьеров. Результаты наблюдений в формате CSS3.0, заархивированные в центральной базе данных, позволят провести совместный анализ записей сигналов от промышленных взрывов, полученных этими станциями и оборудованием на местах (сетями локального мониторинга), а также выполнить оценку соотношения энергии Р- и S-волн, порождаемых взрывом, и изменения этого соотношения в процессе распространения волн.

Совокупность зарегистрированных сигналов и GT-данных позволяет проводить исследование влияния на возбуждение и распределение сейсмической энергии таких факторов как региональная среда источника и ее перегрузка, локальная геологическая структура, окружающая тектоническая область. Данные могут быть использованы для исследования и усовершенствования моделей затухания региональных фаз Pn, Pg, Sn, Lg и поверхностных волн. Эти исследования имеют целью развитие калибровочных моделей земной структуры скорости и ослабления, особенно, в асейсмических областях.

Таким образом, надлежащая постановка работ по сбору данных истины земли позволит:

- получить фактографические данные о горнопромышленных взрывах с мест их проведения в согласованном формате;

- получить дополнительные геофизические данные для уточнения локальных моделей распространения сейсмических фаз в направлениях на станции мониторинга;
- качественно и полно разъяснить природу событий, зарегистрированных Международной системой мониторинга;
- в дальнейшем обеспечить своевременную подготовку данных по крупным химическим взрывам на территории России для Организации по ДВЗЯИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. – Вена: Подготовительная комиссия ОДВЗЯИ, 1996. – 165 с.
2. Эльтеков А.Ю. Калибровка комплекса локального мониторинга крупных химических взрывов//Проблемы калибровки методов контроля ДВЗЯИ. - Обнинск, 1997.
3. Эльтеков А.Ю. и др. Данные калиброванных сетей локального мониторинга для релокации событий//Проблемы сейсмической калибровки станций Международной системы мониторинга ДВЗЯИ. - Москва, 2003.
4. Эльтеков А.Ю., Солодилов Л.Н., Дружинин В.С., Базина З.П., Феклисова В.А. Локация горнопромышленных взрывов по данным геоэкологического мониторинга на примере Среднего Урала//Пятые геофизические чтения им. В.В.Федынского. - Москва, 2003.
5. Эльтеков А.Ю., Червяков В.Б., Базина З.П. Особенности сбора данных о химических взрывах в России//Проблемы сейсмической калибровки станций Международной системы мониторинга ДВЗЯИ. - Москва, 2003.
6. Эльтеков А.Ю., Шведов Е.Е., Феклисова В.А., Щипанов А.А. Распределенная информационная система сейсмических данных для верификации и укрепления мер доверия по ДВЗЯИ//Четвертые геофизические чтения им. В.В.Федынского. - Москва, 2002.
7. A.Yu. Eltekov, E.E. Shvedov, Z.P. Bazina, I.P. Gabsatarova Infrasound ground truth data collection by local seismic network at quarries in Russia//Infrasound Technology Workshop, DeBilt. - The Netherlands, 2002.

МОНИТОРИНГТИҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ЖҮЙІСІМЕН ТІРКЕЛГЕН КЕН ӨНЕРКӘСІБІ НІҢ ЖАРЫЛЫСТАРЫ ТУРАЛЫ ЖЕР АҚІҚАТЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІН ЖИНАУЫ

Эльтеков А.Ю., Гордон В.Р., Фирсов В.А., Червяков В.Б.

Импульсы техника ғылыми-зерттеу институты, Москва, Ресей

Мақала, жарылыстар орыны және уақыты, қолданған жарылғыш заттын саны мен түрі, сондай-ақ жарылыстың кескін үйлесі мен болжаудағы мақсаты туралы мағлұматтарын қоса, ірі химиялық жарылыстар туралы Ядролық сынауларына бәрін қамтитын тиым салу туралы шарты бойынша Ұйымын дер кезінде хабардар ету мәселесімен байланысты ұйымдастыру және техникалық проблемаларына арналған. Деректерін жүйені калибрлеу мақсатында қолдануға болатын, Мониторингтің халықаралық жүйесімен тіркелген жарылсыздар ерекше қызық болып көрінеді. Ресейдің кен өндіруші кәсіпорындарындағы жер ақиқаты және кейбір жарылыстардың орынын анықтау деректерін жинау нәтижелері келтірілген. Кен өнеркәсібінің жарылыстары туралы жер ақиқаты деректерін жинауының ерекшеліктері қаралған.

GROUND TRUTH DATA COLLECTION ON MINING INDUSTRIAL EXPLOSIONS REGISTERED BY THE INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM

A.Yu. Eltekov, V.R. Gordon, V.A. Firsov, V.B. Chervyakov

Scientific Research Institute of Pulse Equipment, Moscow, Russia

The presentation is dedicated to organizational and technical issues connected with the task of Comprehensive Test-Ban-Treaty Organization timely notification on large chemical explosions including data on explosion location and time, on applied explosive substance quantity and type, and also on configuration and assumed purpose of explosion. Explosions registered by International Monitoring System are of special interest. Their data could be used for calibration of the monitoring system. Ground truth data collection and some explosions location results on Russia's mining enterprises were given. Ground truth data collection peculiarities according to mining industrial explosions were considered.

УДК 550.34:622.235

ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА МАССОВЫХ КОРОТКОЗАМЕДЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ**Кишкина С.Б.***Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия*

С использованием большого объема инструментальных данных выполнен пространственно-временной анализ сейсмических сигналов от массовых взрывов на карьерах. Получен критерий для обобщенного аналитического описания сейсмического эффекта массовых взрывов, выполняемых по разным схемам подрыва зарядов: в традиционной формуле для приведенного расстояния $R = r/Q^{1/3}$ (где r - абсолютное расстояние до взрывного источника) в качестве массы заряда Q выступает максимальная одновременно взрывающаяся масса заряда. На примере обработки сейсмических сигналов, зарегистрированных при взрывах на карьерах Курской магнитной аномалии, показано, что характерная для короткозамедленных взрывов модулированная форма спектра не зависит от места сейсмической записи массового взрыва и сохраняется на расстоянии от источника вплоть до 400 км.

ВВЕДЕНИЕ

С подписанием Договора об ограничении, а впоследствии о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, актуальной стала задача распознавания больших химических взрывов, землетрясений и ядерных взрывов, поскольку при ядерном взрыве малой мощности генерируются сейсмические сигналы, сравнимые по интенсивности с колебаниями, или от химического взрыва мощностью 50-500 т, или от землетрясения с магнитудой в пределах 2-3 [1]. Во избежание возможного сокрытия ядерных испытаний необходимы надежные способы идентификации сейсмических сигналов от разных источников. К настоящему времени разработан ряд достоверных методов идентификации сейсмических сигналов. Так, для короткозамедленных взрывов подтверждено повышенное содержание в спектрах массовых короткозамедленных взрывов высокочастотных компонент [2]. Этот факт позволяет идентифицировать события по вычисленному отношению энергий для низкочастотной и высокочастотной части спектра. Однако, если отдельные залпы химического взрыва достаточно мощны, они могут скрыть сигналы от ядерного взрыва мощностью менее 1 кт. Одним из надежных дискриминантов сейсмических источников, в таком случае, является характерная модуляция спектров сигналов, вызванных короткозамедленными химическими взрывами [3].

ИСПОЛЪЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Основную часть экспериментального материала, использованного в настоящей работе, составляют данные регистрации сейсмических колебаний грунта, полученные при проведении взрывов на карьерах Лебединского, Михайловского и Стойленского горно-обогатительных комбинатов (ГОК) Курско-Белгородского округа в 1988-2001 гг. Рассматривались только карьерные промышленные взрывы с общей массой ВВ не менее 100 т. Помимо записей массовых взрывов были использованы данные, полученные при сейсмической регистрации мгновенных взрывов эталонных зарядов, произведенных в специально пройденных экспериментальных скважинах. Большинство взрывов имело общую массу ВВ в пределах 400-1200 т.

Пункты наблюдения располагались на разных расстояниях от источника. Регистрация сейсмических колебаний проводилась как в ближней зоне (400 - 2000 м), так и на значительном (десятки километров) удалении от карьера. Наиболее удаленной точкой регистрации, располагающейся на расстоянии более 400 км от карьеров Курской магнитной аномалии, являлась сейсмическая станция Института динамики геосфер «Михнево» (пос. Михнево, Московская обл.). В данной работе использованы сейсмические сигналы, зарегистрированные в диапазоне 0.08 - 5 Гц с частотой опроса 20 Гц на канал от источника, расположенного в трех ортогональных направлениях. Для анализа сейсмического эффекта массовых промышленных взрывов привлекались также данные сейсмических станций "Обнинск" и "Воронеж" Геофизического Центра Российской Федерации, удаленных от источника на 320 и 280 км, соответственно.

Основные измерения были проведены на временных пунктах, расположенных вдоль направлений на сейсмические станции "Обнинск" (OBN) и "Михнево" (MHV). С целью определения влияния азимута на параметры распространяющегося сейсмического сигнала, в ряде экспериментов проводилась регистрация в пунктах, расположенных вдоль направления на сейсмическую станцию "Арти" (ARU, Центральный Урал).

ХАРАКТЕРИСТИКА РЕГИСТРИРУЮЩИХ СРЕДСТВ

В качестве портативной регистрирующей аппаратуры использовались трехкомпонентные комплексы с использованием сейсмических датчиков СМЗ-КВ и СМЗ-КВЭ. Аппаратура обеспечивала прием, преобразование и регистрацию скорости сейсмических колебаний грунта по трем ортогональным направлениям (вертикальному, север-юг, восток-запад) в полосе 0.5 - 100 Гц. На близком расстоянии от карьера (до 2000 м) регистрирующие сейсмические каналы имели открытую характеристику в области высоких частот, тогда как на более удаленных пунктах в составе регистрирующих каналов использовались блоки формирования характеристик, включающие фильтры нижних частот, настроенные на 40 (60) Гц. В ближней зоне регист-

рация скорости сейсмических колебаний короткозамедленных взрывов проводилась одновременно в нескольких пунктах наблюдения, расположенных в разных направлениях и на различных расстояниях от источника. На региональных расстояниях запись скорости колебаний грунта, вызванных массовыми взрывами, производилась, как правило, одной трёх-компонентной станцией.

Для проведения регистрации датчики устанавливались в приямы на предварительно подготовленных бетонных площадках (рисунок 1).



Рисунок 1. Установка сейсмоприемников СМЗ-КВ на предварительно подготовленной площадке

СТРУКТУРА МАССОВОГО ДВИЖЕНИЯ В СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЕ

При карьерных взрывах широко применяется технология разделения общей массы заряда на несколько блоков. Каждый блок, как правило, имеет сильно вытянутую форму и представляет собой короткозамедленный взрыв нескольких рядов (групп) скважинных зарядов. Пример схемы подобного блока приведен на рисунке 2. Обычно время замедления между подрывом рядов скважин составляет 20-50 мс. В зависимости от количества одновременно взрывающихся рядов продолжительность взрыва одного блока может достигать нескольких секунд.



Рисунок 2. Пример расположения скважин в отдельном блоке. Михайловский ГОК

В свою очередь, подрываемые блоки, как правило, располагаются на разных участках карьера в нескольких километрах друг от друга, и задержка между взрывом разных блоков составляет от одной до

нескольких секунд, что позволяет персоналу визуально контролировать ход работ.

Результатом такой технологии проведения массовых промышленных взрывов является неравномерное выделение энергии ВВ во времени и пространстве, что приводит к интерференции волн разных типов и существенно усложняет структуру наблюдаемых сейсмических колебаний грунта. Даже понятие "расстояние до источника" в случае массового промышленного взрыва весьма неоднозначно, поскольку сам источник может простирается на несколько километров.

Большой объем данных, зарегистрированных в широком диапазоне расстояний, позволил составить картину изменения структуры волновой формы сейсмического сигнала, вызванного массовым взрывом, по мере удаления от источника.

На записях, сделанных станциями, расположенными на бортах карьера или в непосредственной близости от него, четко выделяется цуг сигналов разной формы, соответствующих, как правило, взрывам отдельных блоков. В этом случае в качестве расстояния до источника бралось расстояние от пункта наблюдения до рассматриваемого блока. Такое соответствие может быть нарушено, если соседние взрывающиеся блоки расположены на одной линии с пунктом регистрации, или размеры блоков и, соответственно, масса ВВ, существенно отличаются. В подобных случаях может происходить наложение некоторых пакетов сигналов друг на друга. На рисунке 3 приведен пример записи сейсмических колебаний грунта, зарегистрированных двумя разными пунктами при массовом взрыве на Лебединском карьере.

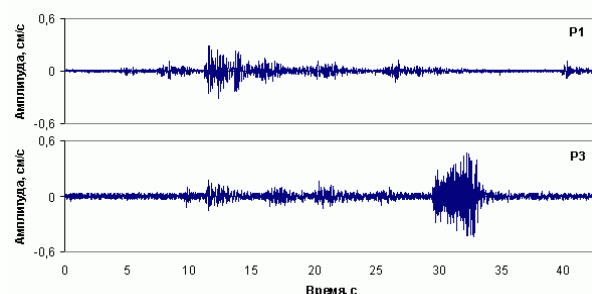


Рисунок 3. Сейсмические сигналы, зарегистрированные при взрыве 01/10/98 на Лебединском ГОК, в двух разных пунктах

Как видно из рисунка 3, на записях выделяется разное количество отбиваемых блоков, что связано с различным местоположением пунктов регистрации. Распространяясь на различные расстояния, сейсмическая волна претерпевает изменения в результате рассеивания энергии, отражения и преломления волн на встреченных границах раздела сред, интерференции волн. В результате характер сигналов существенно меняется (рисунок 4).

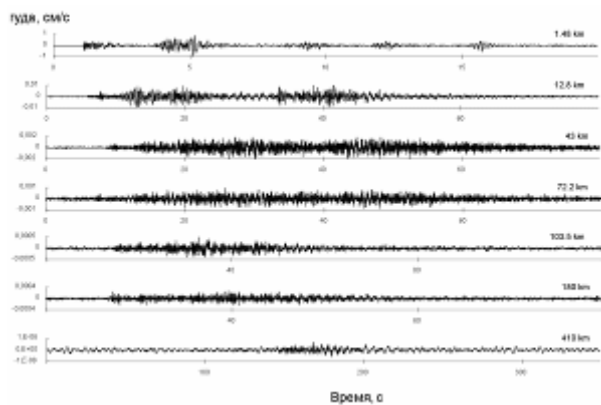


Рисунок 4. Сейсмические сигналы массовых взрывов, зарегистрированные на разных расстояниях от карьера

Так, сейсмическим сигналам массовых взрывов, зарегистрированным на расстоянии несколько десятков километров (от 10-15 до 80 км), присуща единая волновая форма со сложной внутренней структурой, из-за чего огибающая сигналов имеет несколько максимумов. В рассматриваемом случае в качестве расстояния до источника может выступать расстояние от пункта наблюдения до одного из подрываемых блоков, а именно, – до группы скважин с максимальным зарядом ВВ. У сейсмических сигналов, зарегистрированных на значительном удалении от источника (как правило, на порядок превышающем размеры самого карьера), единая волновая форма лишена заметных максимумов. В качестве расстояния до источника в этом случае допустимо выбирать расстояние от пункта наблюдения до центра карьера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ

Схемы проведения промышленных взрывов весьма разнообразны: взрывается разное количество ВВ, разное количество блоков, блоки взрываваемых скважин имеют различные линейные размеры и располагаются в разных местах карьера, время задержки между взрывами отдельных блоков изменяется в интервале нескольких секунд. Чтобы иметь возможность сравнить результаты измерений, выполненных для различных взрывов, и, к тому же, на разных расстояниях от источника, необходимо правильно выбрать параметр, характеризующий волновое движение, а также подобрать критерий его подобия.

При определении сейсмического эффекта взрыва в качестве основного параметра волнового движения традиционно выбирается максимальная скорость колебания грунта, которая в меньшей степени, чем амплитуда колебаний и ускорение, зависит от условий распространения волн [4, 5]. Анализ большого числа сейсмических записей, полученных при промышленных взрывах на карьерах, показал, что наиболее устойчивой оценкой максимальной массовой скорости при промышленных взрывах является максимальный модуль вектора скорости колебаний грунта

$$V_{\max} = \text{MAX} \left(\sqrt{\sum_i V_i^2} \right),$$

где V_i - компоненты скорости колебаний.

Дисперсия этой величины на 40% ниже дисперсии часто используемого в качестве основного параметра для оценки массовой скорости виртуального "вектора максимальных скоростей"

$$V_{\max} = \sqrt{\sum_i V_{i\max}^2},$$

где $V_{i\max}$ – максимальная скорость i -ой компоненты.

Традиционно, для оценки амплитуды сейсмических колебаний при взрывах используется эмпирическая формула, предложенная М.А. Садовским [4]:

$$V = AR^{-n} \quad (1)$$

Здесь: A - константа, определяемая свойствами горных пород в месте проведения взрывных работ и условиями взрыва, n - характеризует поглощающие свойства горных пород вдоль пути распространения сейсмических колебаний, R - приведенное расстояние, определяющееся как $r/Q^{1/3}$, где r - абсолютное эпицентральное расстояние от взрыва в м, Q - масса заряда ВВ в кг.

Выбрав в качестве амплитудного параметра максимальный вектор массовой скорости, обратимся к оценке приведенного расстояния. Поскольку промышленный взрыв, как уже было показано, является весьма сложным источником, возникает вопрос, какую величину в (1) необходимо выбрать в качестве массы заряда ВВ. В случае крупного карьерного взрыва ею может быть: общая (суммарная) масса ВВ всего взрыва, масса ВВ самого большого подрываемого блока, средняя масса подрываемых блоков, масса ВВ первого блока или первого одновременно взорванного ряда скважин и др. Например, при массовом взрыве, произведенном 25 мая 2000 г. на карьере Лебединского ГОК, было взорвано 8 блоков. Число групп в блоках изменялось от 14 до 92. Масса ВВ в одновременно взрывающейся группе составляла от 1,77 до 4,65 тонн. Общая масса ВВ в блоке – от 65 до 340 тонн. Выбор возможной массы ВВ колеблется в диапазоне от единиц до сотен тонн. Проведенный анализ модуля максимального вектора массовой скорости показал, что экспериментальные данные группируются наилучшим образом вокруг зависимости $V(R)$, когда в формуле (1) для приведенного расстояния $R = r/Q^{1/3}$ в качестве массы заряда выбирается максимальная одновременно взрывающаяся масса (масса заряда в группе скважин). На рисунке 5 приведена зависимость максимального модуля вектора массовой скорости от приведённого расстояния для массовых взрывов на карьерах Лебединского ГОК (черные значки). Из рисунка видно, что при выбранном критерии экспериментальные значения хорошо группируются вокруг единой степенной зависимости в весьма широком диапазоне расстояний (от 400 м до 400 км). Значения r и Q измеряются в м и кг, соответственно.

Рисунок 5а демонстрирует обобщенную зависимость максимального модуля вектора массовой скорости от приведённого расстояния для массовых взрывов, произведенных на карьерах Лебединского, Стойленского и Михайловского ГОК.

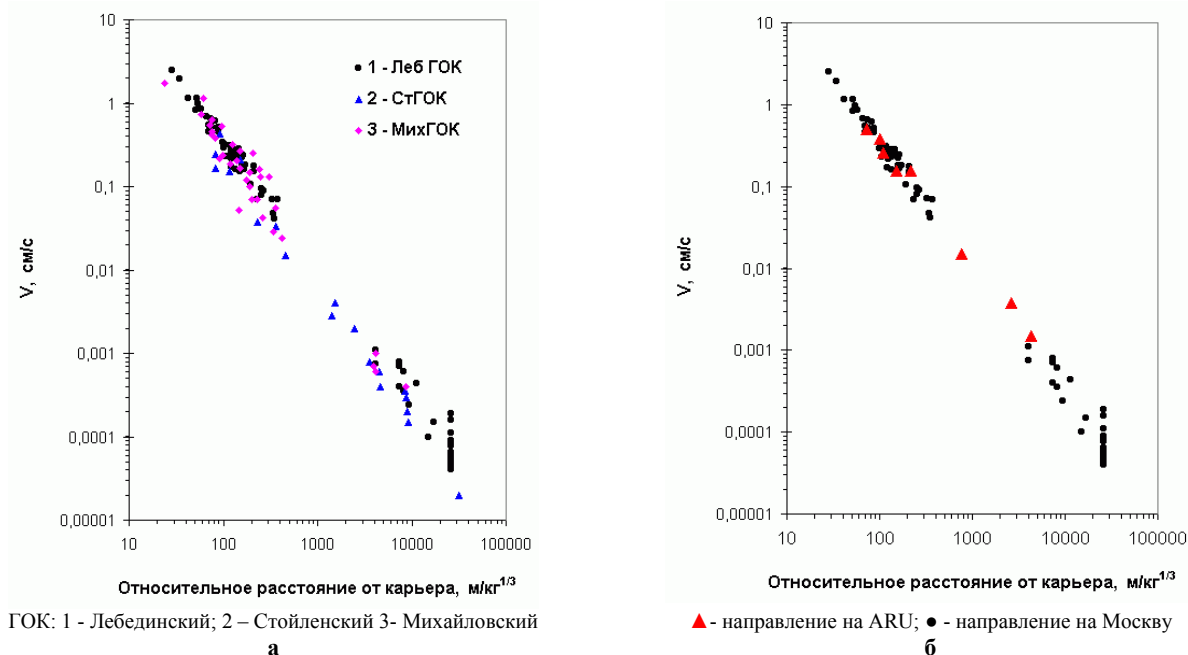


Рисунок 5. Максимальный модуль вектора массовой скорости при промышленных взрывах на карьерах: а - КМА; б - Лебединский

Как видно, характер зависимости изменяется крайне незначительно, при этом, зависимость хорошо оценивается выражением [8]:

$$V = 393 \left(\frac{r}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-1,52} \quad (2)$$

Подобная зависимость получена и для относительной длительности сигнала. Таким образом, можно заключить, что в случае выбора максимальной массы ВВ в группе скважин в качестве масштабного фактора, допустимо говорить о выполнении принципа энергетического подобия для массовых промышленных взрывов.

Выборка, которая была использована при первоначальном анализе, включала данные, полученные от взрывов, расположенных вдоль трассы г. Губкин – г. Москва (направление на сейсмические станции "Обнинск" и "Михнево"). Однако для описания обобщенной зависимости сейсмического сигнала от массового взрыва, необходим анализ азимутальных особенностей распространения сигнала. С этой целью был поставлен ряд экспериментов, при которых трехкомпонентные портативные сейсмические станции располагались вдоль другого направления - на Центральный Урал (на сейсмическую станцию ARU). На рисунке 5б показана зависимость максимального модуля вектора массовой скорости от приведенного расстояния для взрывов, расположенных относительно регистрирующих станций в направлении на сейсмическую станцию ARU, а также в направлении на сейсмическую станцию "Михнево", т.е. на Москву. В качестве массы заряда Q при расчете приведенного расстояния взята максимальная одновременно взрывающаяся масса ВВ. Сравнительный анализ зависимости, приведенных на рисунках 5а и 5б, показал, что амплитуда сейсмического сигнала практически не зависит от азимута распространения волны и определяется в основном условия-

ми в месте взрыва. Кроме того, сравнивались экспериментальные данные, полученные для массовых промышленных взрывов и для взрывов в отдельных скважинах (или группе скважин). Установлено, что максимальная скорость колебаний грунта при таких взрывах на одних и тех же приведенных расстояниях различается всего в 1.2-1.4 раза. Именно такое увеличение амплитуды волны сжатия получено Костюченко В.Н., Кондратьевым С.В. и Кочаряном Г.Г. [6] при рассмотрении интерференции сейсмических колебаний от группы независимых источников в широком диапазоне изменений параметров замедления. Спектральный анализ сейсмических записей, сделанных при карьерных взрывах, указывает на повышенное присутствие в составе сигналов высокочастотных компонент. Это проявляется в виде модуляции спектра, которая является известным характерным признаком короткозамедленного взрыва [7] (рисунок 6).

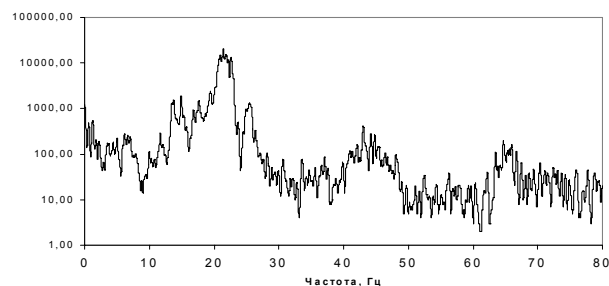


Рисунок 6. Спектральная плотность мощности сейсмического сигнала при массовом взрыве на карьере Лебединского ГОК, 03.10.1996

Подчеркнем еще раз, что взрывы, рассматриваемые в настоящей работе, как правило, имели время замедления 20-30 мс, что существенно усложняло волновую картину. Кроме того, регистрация проводилась в широком диапазоне расстояний, преиму-

щественно до 300 км, в том числе, в непосредственной близости от карьера, где характер волнового поля крайне сложен. Представляется крайне интересным рассмотреть характер изменения спектральной характеристики сейсмозрывного сигнала от расстояния. На рисунке 7 показаны спектральные оценки, рассчитанные для сейсмических сигналов, зарегистрированных портативными аппаратурными комплексами, установленными на борту карьера (около 1.1 км от источника), а также на удалении 12.8, 43 и 72 км от взрыва.

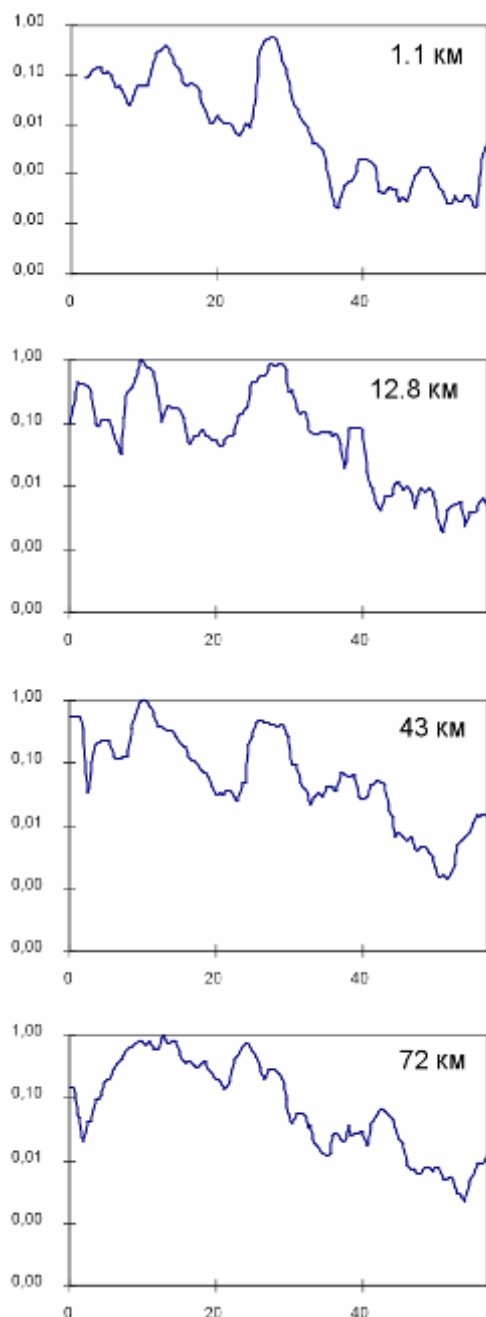


Рисунок 7. Нормированная спектральная плотность мощности, рассчитанная для сейсмических сигналов, зарегистрированных на разных расстояниях при взрыве на Лебединском ГОК (25/05/2000, общая масса $BB = 1142$ тонн, Z - компонента)

Из рисунка 7 видно, что удаленность пункта регистрации от места взрыва практически не влияет на

форму его спектра - сформировавшийся на близких расстояниях характер спектра мало изменяется вдоль всей трассы распространения сигнала. Более того, характер спектра остается практически неизменным на протяжении всего сигнала и не зависит от его формы а, именно, от наличия отдельных цугов колебаний, от формы с несколькими максимумами или без явно выраженных максимумов (рисунок 8).

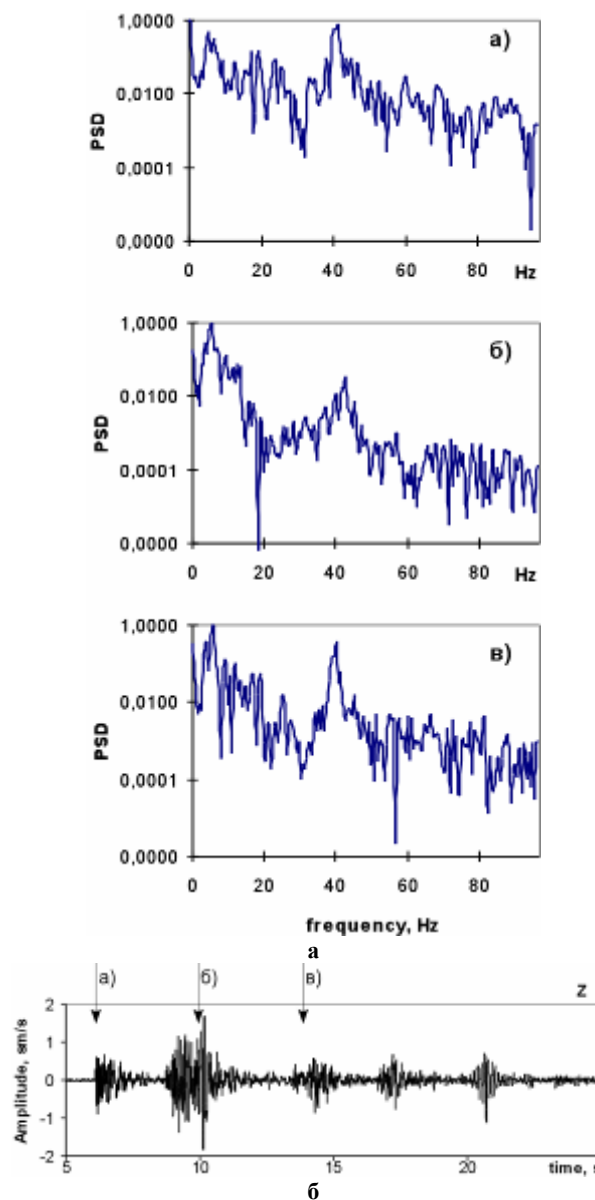


Рисунок 8. Нормированная спектральная мощность сигнала массового взрыва (а), рассчитанная для трех участков сейсмической записи (б). Стойленский ГОК, 10/09/99. Общая масса $BB = 452$ тонны. Среднее расстояние до источника 1,48 км. Вертикальная компонента

Модулированная форма спектра короткозамедленного взрыва отмечается и для сигналов массовых промышленных взрывов, зарегистрированных на большом расстоянии от карьера.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗРЫВОВ В ОТДЕЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ И В МАЛЫХ ГРУППАХ СКВАЖИН

Для разработки расчетной схемы сейсмического эффекта массового взрыва необходимо определить

параметры сейсмического сигнала, вызванного элементарным источником, в данном случае - взрывом в отдельной скважине, и, кроме того, изучить эффекты, связанные с суперпозицией взрывов. С этой целью, по предложению специалистов Института динамики геосфер РАН, на Лебединском карьере КМА в 1998 и 1999 гг. были проведены взрывы в специально пройденных экспериментальных скважинах диаметром 0.22 м. С интервалом в несколько секунд, последовательно взрывались одна, две и три скважины. Масса ВВ в каждой скважине составляла около 540 кг в тротиловом эквиваленте. Таким образом, были зарегистрированы сейсмические колебания от взрывного источника с массой ВВ 540, 1080 и 1620 кг, соответственно. Сейсмозрывные сигналы регистрировались одновременно в нескольких пунктах. Портативные трехкомпонентные сейсмические станции были установлены на различных расстояниях от подрываемых скважин. Наиболее удаленный пункт регистрации находился на расстоянии 2300 м от источника, тогда как самая близкая точка наблюдения располагалась в 1000 м от взрывающейся скважины. Азимут на источник был различным для всех четырех пунктов наблюдения.

Форма сейсмических сигналов, зарегистрированных при подрыве одной отдельно пройденной скважины, заметно отличается для разных пунктов наблюдения. Очевидно, различие формы сигналов следует отнести за счет свойств геологической среды - анизотропности горных пород, вмещающих взрывной источник, различия трасс прохождения сейсмических волн по направлению к разным пунктам наблюдения. Однако результаты спектральной обработки полученных сейсмических сигналов продемонстрировали наличие ярко выраженной преимущественной частоты колебаний. После того как записи, полученные на разных пунктах регистрации, были подвергнуты фильтрации в нескольких частотных полосах, оказалось, что в полосе, содержащей преимущественную частоту колебаний, различия в форме сейсмических сигналов становятся малозначимыми. Таким образом, в первом приближении можно считать, что сейсмический сигнал, соответствующий колебаниям, вызванным взрывом в одной скважине, имеет форму, независимую от местоположения точки наблюдения.

При одновременном подрыве двух и трех скважин схема расположения пунктов наблюдения оставалась неизменной и соответствовала условиям эксперимента с подрывом одной скважины. Вторая и третья скважины, в которых выполнены взрывы, располагались достаточно близко друг от друга, на расстоянии 6 м, что позволяет считать, что взрывной источник, как при взрыве одной, так и нескольких скважин, расположен в одной и той же точке относительно места регистрации. Таким образом, условия взрывов можно считать идентичными. При этом расстояние между скважинными зарядами остается таким же, как при промышленном взрыве, т.е. зоны пластических деформаций практически не пересекаются. В этих условиях можно предполагать, что источники независимы. Полученные записи по-

казали, что, несмотря на более сложную форму сейсмического сигнала, относительно записей, полученных при взрыве в одной скважине, колебания при мгновенном взрыве двух скважин также характеризуются наличием преимущественной частоты. Причем из сравнения спектров установлено, что преобладающая частота, зафиксированная при взрыве одной скважины, остается неизменной и для сигналов, зарегистрированных при одновременном взрыве нескольких скважин. Форма сейсмических сигналов, полученных при одновременном взрыве двух скважин и отфильтрованных в полосе, содержащей преимущественную частоту, хорошо аппроксимируется суммой сигналов от взрыва одной скважины. Полученные результаты позволяют говорить о практическом подтверждении выполнения принципа линейной суперпозиции на близком расстоянии для волновых движений, имеющих место при нескольких независимых близкорасположенных взрывных источниках. На этой основе создана достаточно простая расчетная модель волнового поля массового промышленного взрыва, позволяющая оценить пространственные характеристики сейсмозрывных колебаний в различные моменты времени. В основу модели положено представление сейсмического сигнала в форме импульса Пузырева [10]. Суммирование сигналов, соответствующих колебаниям от взрывов отдельных скважин в группе, производится, исходя из предположения, что волновые поля от каждого взрыва идентичны и накладываются линейно. Вмещающая среда предполагается однородной и изотропной. Зависимость амплитуды от расстояния до источника принята в виде эмпирической степенного соотношения полученного при анализе экспериментальных данных $V = A \left(\frac{r}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-1.52}$,

полученного по экспериментальным данным.

Таким образом, функция, описывающая сейсмический сигнал, вызванный единичным взрывным источником, выглядит как

$$f_i(t) = A \cdot \exp \left(-\frac{k^2}{t_o^2} \left((t - t_i) - \frac{T}{2} \right)^2 \right) \times \\ \times \sin \frac{2\pi(t - t_i)}{t_o} \cdot \frac{\sqrt{q}}{\exp(1.52 \cdot \log(r_i))}$$

где: A - амплитудный коэффициент; q - масса ВВ; r_i - расстояние от взрыва; t - время с момента взрыва; t_i - общее время задержки; T - длительность колебаний; t_o - период колебаний.

Колебания грунта, вызванные короткозамедленным взрывом, рассматривались как результат суперпозиции волн, вызванных взрывом заданного количества зарядов. В результате этого сейсмический сигнал короткозамедленного взрыва группы скважин (блока), представлялся в виде векторной суммы сигналов от мгновенных взрывов, а сейсмический сигнал массового взрыва - в виде суммы сигналов от всех блоков [9]. Для реализации описанной модели написана программа расчета основ-

ных характеристик сейсмического волнового поля сложного взрывного источника. Пример распределения максимальных амплитуд скорости сейсмических колебаний грунта, полученного в путем расчета по описанной модели, приведен на рисунке 9.

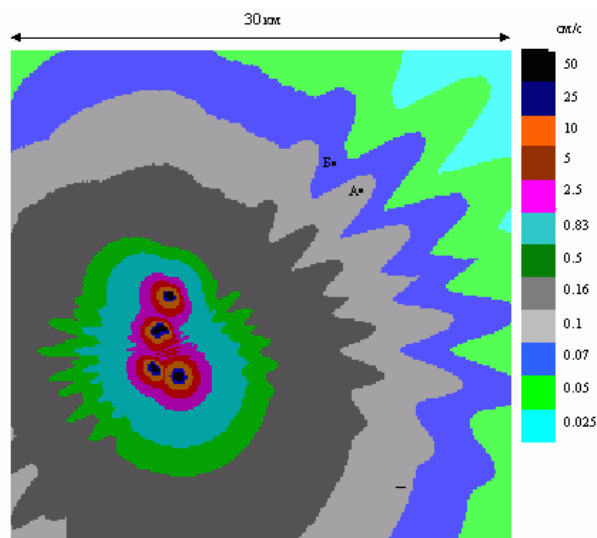


Рисунок 9. Распределение максимальных массовых скоростей при промышленном взрыве (расчетная модель)

Таким образом, в результате анализа и обобщения экспериментальных данных получен критерий для обобщенного аналитического описания сейсмического эффекта массовых взрывов, выполняемых по разным схемам подрыва зарядов: в традиционной формуле для приведенного расстояния $R = r/Q^{1/3}$, где r - абсолютное расстояние от взрывного источника, в качестве массы заряда Q необходимо выбирать максимальную одновременно взрываваемую массу заряда. На основе результатов обработки реальных сейсмических сигналов, зарегистрированных при взрывах на карьерах Курской магнитной аномалии, показано, что характерная для короткозамедленных взрывов модулированная форма спектра не зависит от участка сейсмической записи массового взрыва и сохраняется на расстояниях вплоть до 400 км от источника.

Результатом анализа и обобщения экспериментальных данных, полученных при массовых промышленных взрывах, а также анализа результатов специально проведенных экспериментов по определению характеристик сейсмического сигнала от взрыва одной скважины и малых групп скважин, явилась разработка расчетной модели сейсмического сигнала массового карьерного взрыва.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев Ю.Ф., Спивак А.А. Сопоставление сейсмических эффектов ядерных и химических взрывов// Вулканология и сейсмология, 1997, - N2. - с. 104-112.
2. T. Smith High-frequency seismic observations and models of chemical explosions: implications for the discrimination of ripple-fired mining blasts//Bull. Seism. Soc. Am. 79, 1989. - pp. 1089-1110.
3. W.Y. Kim, D.W. Simpson, P.G. Richards High-frequency spectra of regional phases from earthquakes and chemical explosions//Bull. Seism. Soc. Am., 1994. - Vol.84, No.5, October. - pp. 1365-1386.
4. Садовский М.А. Оценка сейсмически опасных зон при взрывах//Труды сейсмологического института АН СССР, 1920. - №106. - с. 6-16
5. Садовский М.А., Костюченко В.Н. О сейсмическом действии подземных взрывов//Доклады Академии наук СССР, 1974. - том 215, №5 - с. 1097-1100.
6. Костюченко В.Н., Кондратьев С.В., Кочарян Г.Г Сейсмический эффект при групповых взрывах//Взрывное дело, №85/42. Сейсмика промышленных взрывов. - М.: Недра, 1983. - с. 18-31.
7. D.R. Baumgardt, K.A. Ziegler Spectral evidence for source multiplicity in explosions: application to regional discrimination of earthquakes and explosions//Bull. Seism. Soc. Am., 1988. - Vol. 78, No. 5. - pp. 1773-1795.
8. Адушкин В.В., Спивак А.А., Соловьев С.П., Перник Л.М., Кишкина С.Б. Геоэкологические последствия массовых химических взрывов на карьерах//Геоэкология, 2000. - № 6. - с. 554-563.
9. Кишкина С.Б., Спивак А.А. Локальный сейсмический эффект карьерных взрывов//Физические процессы в геосферах: их проявления и взаимодействие.- М.: РАН, 1999. - с. 111-116.
10. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. – Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1997. - 301 с.

ҚЫСҚА БАЯУЛАНҒАН ЖАППАЙ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ӘСЕРІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІ

Кишкина С.Б.

РФА, Геосфералар динамикасы институты, Мәске , Ресей

Құрал-саймандық үлкен көлемді бақылауыларын қолдануымен карьерлердегі жаппай жарылыстардың сейсмикалық белгілерінің кеңістікті-уақыттық талдауы орындалған. Оқтам жаруының әр түрлі үлгілері бойынша орындалатын жаппай жарылыстардың сейсмикалық әсерінің қорытылған аналитикалық сипаттауына критерийлері алынған. Бұндайда келтірілген қашықтыққа дәстүрлі формуласында $R=r/Q^{1/3}$ (r – жарылыс көзінен абсолютті қашықтық) оқтам массасы Q ретінде қатар жарылатын максималды массасы алынады. Курск магнитті аномалиясының карьерлеріндегі жарылыстардың үлгісінде спектрдің модульденген түрі жаппай жарылыстың сейсмикалық жазбасын тіркеу пунктінң орнына байланысты емес екені және жарылыс көзінен 400 км. қашықтыққа дейін сақталатыны көрсетілген.

SEISMIC EFFECT PARAMETERS OF MASS SHORT-DELAY EXPLOSIONS

S.B. Kishkina

Institute for Dynamics of Geospheres of RAS, Moscow, Russia

Large data volume of instrumental survey is used in current report. Space-time analysis of seismic signals from mass explosions in open pits is completed. As a result a criterion for generic analytical description of mass explosions seismic effect was obtained. The explosions are carried out according to different burst schemes: according to traditional formula for the given distance $R = r/Q^{1/3}$, where r - absolute distance from explosive source, as Q charge mass it is necessary to choose maximal simultaneously explosive mass of charge. It is shown on the basis of processing results of real time seismic signals registered during explosions at Kursk magnetic anomaly open pits that modulated spectrum form, which is peculiar for short-delay explosions does not depend upon section of seismic record of mass explosion and remains at the distances of up to 400 km from the source.

УДК 550.34:621.039.9

IMAGING OF SEISMIC RUPTURE: SOURCE INVERSION, EARTH-ATMOSPHERE GROUND COUPLING

¹⁾J. Guilbert, ²⁾M. Vallee, ¹⁾A. Le Pichon, ¹⁾J. Vergoz, Д. ³⁾Ulziibat M.

¹⁾CEA/DASE-LDG, Bruyeres-le-Chatel, France

²⁾Now at Osservatorio Vesuviano INGV, Napoli, Italia

³⁾Mongolia Academy of Science, Centre of Astronomy & Geophysic, Ulaanbaatar, Mongolia

The International Monitoring System (IMS) for the enforcement of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT) has been designed to detect and locate nuclear explosions. The global network, which includes radionuclide, hydroacoustic, seismic and infrasound stations, provides an opportunity to monitor human activities and natural phenomena on a global scale. The growing amount of global data available in near real time from IDC and IRIS-Consortium enables to rapidly and accurately determinate the earthquakes source parameters. The first and second order characteristics of the event (location, depth, duration, focal mechanism, and also more refined kinematic parameters for large earthquakes, such as spatial slip distribution on the fault and rupture velocity) are calculated from teleseismic P and SH body waves with various methods. The classical point source and line source inversions are used in order to rapidly provide the main features of the rupture process for intermediate and large earthquakes and also to validate the depth estimation. For large earthquakes, we also look for extended source parameters on the fault (slip and rupture velocity), using a description of the source process in terms of slip patch(es). We also use the estimated infrasonic waves generated by the ground coupling to obtain a 2D image of the radiation of the Rayleigh waves. This image will be introduced to constrain the inversion of the rupture process.

RAPID SOURCE INVERSION: MODEL OF PATCHES AND LINE SOURCE

Since the end of the 70's, teleseismic waves are used routinely to infer the first order characteristics of the event (location, depth, duration, focal mechanism) but finding the second-order kinematic parameters (spatial distribution of slip, rupture velocity and more basically the discrimination between the fault plane and the other nodal plane) of distant events remains a difficult task. Classically, these events are studied by two different methods, either they are seen as a succession of subevents, each of which being considered as a point source or, like in near-field, they are considered as extended sources where the kinematic parameters are retrieved on a grid. The first approach is not physically satisfactory and can lead to erroneous interpretations of the rupture process [9] while the second one often gives highly non-unique results. In this work, we present a method which aims at finding a simplified source model able to explain the main features of the teleseismic data. The basic idea is to consider the event as an ensemble of slip patches, breaking at different rupture velocities. In order to obtain a simple and stable model, we use at most 2 slip patches and model only periods longer than a third/fourth of the earthquake global duration. We use three different types of data P and SH body waves through direct modeling [20].

Parametrization of an earthquake

We consider that the fault is constituted of p patches and that each patch P_k has a constant slip s_k , constant local rise time P_k and constant rupture velocity V_{rk} ($1 \leq k \leq p$). The precise parametrization is detailed in Figure 1 in the two-patch model case.

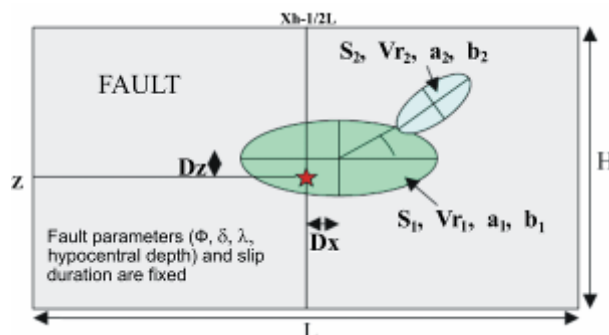


Figure 1. Description of the rupture process by two slip patches

Both patches have an elliptical shape and the first patch contains the hypocenter of the earthquake. We need two parameters to describe the shift of the first patch center compared to the hypocenter; four parameters to describe the first patch itself [geometry of the patch represented as an ellipse (two parameters), slip and rupture velocity]; and finally five parameters to describe the second patch [the same four parameters as for the first patch and another one to describe the position of the second patch compared to the first one (angle α)]. The rise times d_k are not inverted because of the usual low resolution of this parameter [10, 11] and we simply fix them to values smaller than the periods considered in the inversion. This yields a total of 11 parameters, which keeps the inverse problem manageable (see the corresponding section). In the simpler one patch model case, we do not consider the 5 parameters related to the second patch, but we usually try to refine the focal mechanism and hypocentral depth of the earthquake. In this case, we therefore model the earthquake by 10 parameters. To compute the body P- and SH-wave teleseismic displacements, we still use a subfault grid:

$$U(\omega) = \sum_{k=1}^p f_k^l(\omega) \sum_{j \in P_k} G(\omega, z_j) e^{i(kl_j - \omega T_j)}$$

In this modeling the onset times T_j are calculated given the values of $(V_{rk}, k=1, p)$ by the finite difference scheme of Podvin and Lecomte [1991]. This scheme was already used in this respect by Herrero [1994] and an application to a source study can be found in Vallee et al. [21]. This modelling allows the different patches to have different slip amounts and different rupture velocities. Contrary to general equation, we do not sum on the n point sources of the fault but only on the points of the fault which have experienced some slip. This allows us to largely oversize the fault without making the forward modeling too slow. In this method, our goal is to retrieve the simplest model able to explain the data. This is why we will first try to explain the data with a single patch and we will add another patch only if the agreement with the data is not satisfactory. The use of a single patch model is also useful because in this simple case we can also simultaneously determine the rest order rupture parameters, such as the hypocentral depth and the focal mechanism. Then, these values are considered known if we want later to renew the model with a second patch. Generally, we do not try to complicate the

model with a third-fourth patch because the inverse problem becomes more and more complicated to explain parallelly details more and more subtle. Thus, we prefer to limit the study to relatively long periods (typically one third or one fourth of the global rupture time) which generally leads to a satisfactory agreement with the observations using at most two patches.

Some examples of source inversion

In this section, we show three examples of source inversion using the point source which is used at the beginning of the process to estimate the 1st order source parameters, 1 or 2 patches and a line source model which is particularly efficient in case of large Strike-Slip earthquakes in which one of the dimensions is much bigger than the other. The selected event used for the inversion are the Algerian earthquake (Mw 6.9) of the May 21st 2003, the Hokkaido earthquake (Mw 8.2) of Sep. 25th 2003 and the Carlsberg earthquake (Mw 7.5) of the July 15th 2003. Each one of these three earthquakes are well adapted for one of the three methods of inversion of the rupture. The Figure 2 shows the result of inversion using the 2 patches resolution for the Algerian earthquake [19].

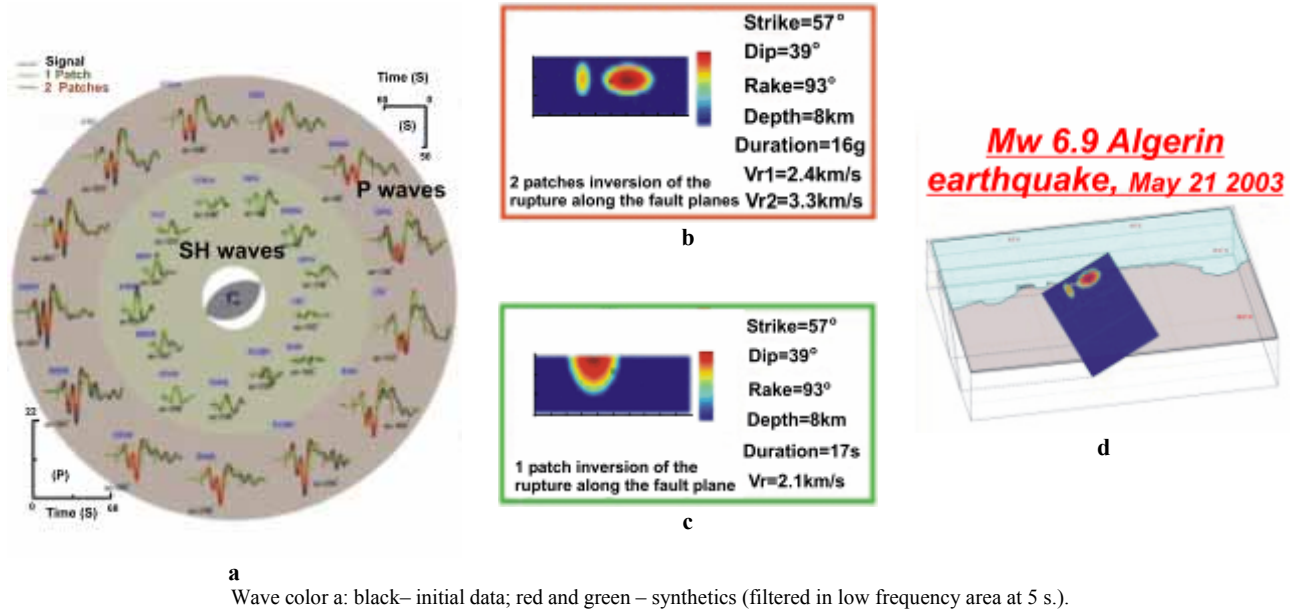


Figure 2. Example of inversion of the rupture process for the M_w 6.9 Algerian earthquake using IRIS and IDC seismic waveforms: a – teleseismic SH waves (inner ring), and P- waves (outer waves); b – 2 patches inversion of the rupture along the fault plane; c – 1 patch inversion of the rupture along the fault plane; d – a 3-D slip areas representation of the 2 patch method

The chosen focal mechanism (strike, dip, rake and focal depth) for the 2 patch method is the 1 Patch method inferred mechanism, for which SH fits are very good. Thanks to this added patch, fits on P-waves are significantly improved and we obtain a well-resolved shallow asperity which could be responsible of the worst damage linked to this earthquake. Indeed, the second patch is located just below Boumerdes, one of the most ravaged town.

INFRASONIC OBSERVATIONS: A NEW VISION OF THE SEISMOLOGY

Sources such as shallow earthquakes are known to produce infrasonic pressure waves. Acoustic-gravity waves from the sudden strong vertical ground displacements have been detected at distances of thousands

kilometers from the origin [2, 17]. Distinct mechanisms of pressure wave generation during large earthquakes have been identified. The vertical displacement of the seismic waves generates locally ground-coupled air waves. The local conversion from seismic waves to the sound pressure has been observed on microbarometers at regional and teleseismic distances [5, 18, Cook 1971]. Distant generation of infrasonic waves propagating through the atmosphere from the epicenter region have also been detected [Mutschlechner and Whitaker, 1998]. When the seismic surface waves travel through mountainous regions, the predominant source of infrasound is likely reradiated pressure waves by the topography [25, 13].

Seismic coupled air waves

On June 23, 2001, a strong earthquake measuring M_w 8.4 occurred along the coast of south-central Peru. Coher-

ent infrasonic waves were detected over a period of one hour by the IS08 infrasound station in Bolivia. The IS08 station is composed of four microbarometers, 1.5 to 3 km apart. Each sensor is a MB2000 microbarometer that can measure both absolute and relative pressure. The MB2000 has been designed to operate from DC up to 27 Hz with an electronic noise level of 2 mPa root-mean square in the 0.02–4 Hz frequency band. The sensor provides relative pressure at ground level with a sensitivity of 20 mV/Pa and a dynamic range of 134 dB. The wave parameters of the infrasonic waves are calculated with the

Progressive Multi-Channel Correlation method (PMCC). This method, originally designed for seismic arrays, proved to be very efficient for infrasonic data and is well adapted for analyzing low-amplitude coherent waves within non-coherent noise [4, 13]. With a sampling rate of 20 Hz, the expected numerical resolution at 0.5 Hz is of the order of 0.5° for the azimuth and 5 m/s for the apparent horizontal phase velocity. The Figure 3-a shows the PMCC analysis of seismic and infrasonic waves recorded during more than one hour.

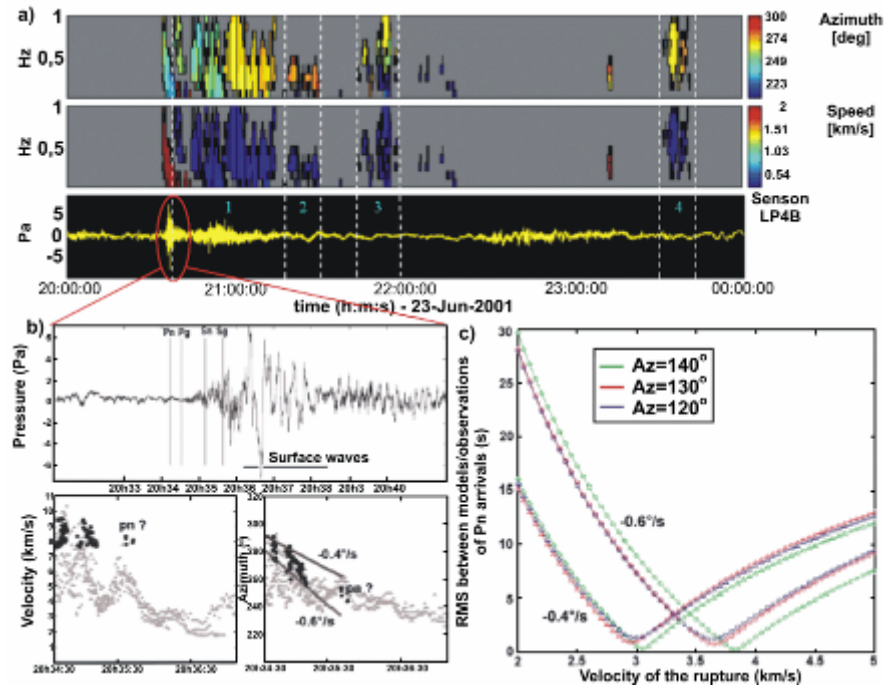


Figure 3. Example of Progressive Multi-Channel Correlation method application: a -results of PMCC calculation; b -example of signal recorded at one of the IS08 station(top) and estimation of the trace velocity and azimuth during 225s (bottom); c - estimation of the rupture velocity using the best fits of the azimuth variations with time: $-0.4^\circ/\text{s}$ and $-0.6^\circ/\text{s}$

The color scales indicate the values of the azimuth and the horizontal trace velocities measured at IS08. Data are filtered from 0.05 to 1 Hz in 10 equally spaced frequency bands. The pressure fluctuations between groups 3 and 4 are related to non-coherent wind-generated noise. The figure 3-b (top) shows example of signal recorded at one of the IS08 station. The time window corresponds to the arrivals of the regional seismic waves. The refracted waves at the Moho Pn and Sn, the direct crystal wave Pg and Sg as well as the surface waves are estimated from the origin time given by USGS. The figure 3-b (bottom) shows estimation of the trace velocity and azimuth during 225 s: the triangles show the PMCC analysis of the original signal (20 Hz), the black circles are related to the Pn waves analysis (data oversampled at 100 Hz, velocity greater than 7.8 km/s and frequency greater than 0.5 Hz). The figure 3-c shows estimation of the rupture velocity using the best fits of the azimuth variations with time: $-0.4^\circ/\text{s}$ and $-0.6^\circ/\text{s}$. These simulations are computed for 3 directions of the fault: $130 \pm 10^\circ$. The best fit (minimum of RMS) is obtained for a velocity ranging between 3 km/s and 3.6 km/s.

The infrasonic field locally generated may be due to an integrated effect of the sound radiated by seismic waves over a large area [Cook, 1971]. The measured pressure changes may also depend on the sensor response to

accelerations and ground level elevations independently of any pressure changes occurring in the atmosphere [1]. The conversion from seismic waves to the sound pressure has been already observed on microbarometers or microphones at teleseismic distances [Cook and Young, 1962] or at regional distances [18]. Due to the coupling at the earth-air interface, the horizontal phase velocity, or trace velocity, of the ground-coupled air waves and the seismic waves are identical. In the present study, the trace velocity and azimuth of the regional waves recorded on the infrasound station are determined. The distance between IS08 and the hypocenter is equal to 530 km. The distribution of the aftershocks and the source inversion given by Kikuchi and Yamanaka [2001] shows that this distance is approximately twice the length of the fault activated during the earthquake (Figure 1). This kind of record is unique and allows us to give some details concerning the dynamic of the rupture. Figure 3-b shows the recorded signal at one microbarometer of IS08 with the theoretical arrival times of the regional waves. The S and Rayleigh waves are observed with a better coupling in the atmosphere compared to the P waves, as it was already observed by Cook and Young [1962]. The results of the PMCC analysis applied to the signals are also presented. The calculated trace velocities correspond to the seismic waves

propagating at regional distances. The azimuths vary from 290° to 240° while the trace velocity decreases from 7.8 km/s for refracted Pn waves to 2.5 km/s for the Rayleigh waves during a time interval of 225 s. This calculation shows that the source of signal moved from the northern to the southern part of the fault. Since the duration of the source is greater than the difference in propagation time between the different regional waves, a mixture of the different waves is observed. In order to simplify the interpretation, the arrivals of the Pn waves are selected. Figure 2b shows that the duration of the Pn arrivals is around 40±5 s with a small resurgence around 70 s, while the azimuth decreases from 290° to 240°. This variation indicates a southward rupture propagation along the fault towards the aftershock epicenters. The rupture propagation is simulated along a line for three different angles (130±10°) covering the repartition of the aftershocks. At each step of the rupture, the azimuth and the arrival time of the Pn waves are calculated at IS08. The best fit of the Pn arrival is obtained with a rupture velocity of 3.3±0.3 km/s (Figure 3b and 3c). Considering an aftershock distribution of 300 km along the fault, a source duration of 90±10 s is obtained. This result is consistent with the source duration estimated at 107 s by Kikuchi and Yamanaka [12].

Infrasound propagation and secondary source locations

On November 14, 2001, at 09:26:10 UTC, a strong earthquake of magnitude M_s 8.1 occurred on the mountainous western Chinese region near the Qinghai-Xinjiang border. At distances of ~1800 km from the epicenter, large coherent pressure waves were detected for more than one hour at the I34MN infrasound station. Clear variations of azimuth are noted between 180° and 220° while the trace velocity ranges from 0.34 to 0.38 km/s. The main period is around 10s with a peak-to-peak amplitude of ~2 Pa. The observed azimuth variations and the long signal duration are explained by: (1) an extended radiation area along the fault rupture, (2) the increase of the effective infrasound source region when the seismic surface waves travel from the fault rupture through a region of high mountains and re-radiation occurs. The input parameters of the location procedure include the measured azimuths and arrival times, the origin time and coordinates of the main shock. The propagation model is based on a constant velocity of 3.3 km/s for seismic surface waves propagating from the epicenter area. The atmospheric part is described by sound velocity and wind speed profiles obtained from the time-varying MSISE-90 and HWM-93 empirical reference models [8, 6]. Atmospheric infrasonic wave propagation is performed in 3D using ray theory. The equations describing the evolution of the ray canonical variables (slowness vectors, position and propagation time) are numerically solved in spherical coordinates. These equations include the spatio-temporal variations of horizontal wind terms along the ray paths [22, 23]. In our modeling, the atmospheric conditions of November 14, 2002, are described on a grid ranging from latitude 30 to 50°N, longitude 85 to 115°E, altitude 0 to 180 km and time between 09:30 and 12:00 UTC. The simulations are carried out for

infrasonic waves generated from the Kunlun Fault (altitude of 5 km) in the 0 to 40° quadrant, following a shooting procedure. An altitude of 4 km for the ground level is considered. As shown by Figure 3-b, two dominant wave guides are predicted: (i) thermospheric phases refracted below 120 km for slowness ranging from 2.7 to 2.9 s/km, (ii) stratospheric ducted waves refracted below 45 km for slowness ranging from 2.9 to 3.1 s/km - such trapped waves can be observed when the source is located above the station [Weber and Bonn, 1982].

The slowness distribution derived from the measured trace velocity presents a maximum between 2.85 and 2.95 s/km. These values correspond to a celerity of 0.28-0.30 km/s (propagation range from the source divided by travel time). The component of the wind transverse to the propagation direction deflects the rays from the original launch azimuth by -2°. This deviation is taken into account by correcting the measured azimuths. Figure 3-a reconstructs the distant source regions using a celerity of 0.29 km/s. The spatial extent of the radiating zone is about 9° in latitude and 10° in longitude. The source distributions fall into line with the Qilian range, then borders the eastern part of the Qaidam basin and join the Kunlun range. To the south of Qaidam basin, more scattered source distributions follow the Bayan Har mounts.

To confirm these locations, an independent and complete simulation of the radiated pressure field is performed. We first inverse the rupture propagation along the fault using a slip patches model developed by Bouchon [1976]. Using this extended model of rupture, synthetic seismograms of surface waves are computed using a discrete wavenumber method [3,21; Thatcher, 1990]] with a one-dimensional regional crust model. As predicted by Kikuchi and Yamanaka [12], the source modeling displays a strong directivity. Most of the seismic energy is radiated along the main strike-slip of the fault with a maximum ground velocity found at -300 km to the east of the main chock epicenter [16, 24]. The inversion results predict an extent of 1 m slip with a maximum left lateral strike slip slightly greater than 5 m. We then consider the acoustic radiation of the topography surrounding the fault. The topography is divided in adjacent strip-line sources radiating energy proportional to the simulated ground velocity [Heil, 1992].

Compared to the wavelength of the seismic surface waves (~60 km), the area of each source element (3x3 km²) is small enough to consider isophase vibration. According to the frequency of interest ($kL \gg l$, k and L defining the acoustic wavenumber and the side of each cell, respectively), source elements radiate essentially simultaneously with a pronounced directivity. Based on this assumption, we divide the topography in adjacent strip-line sources of length L radiating energy proportional to the simulated ground velocity V_l normal to each surface element l . Considering a distance of observation R_l significantly greater than L , the Fraunhofer approximation of the Helmholtz-Huygens integral yields:

Where: t_l is the origin time of each source element, $p_k(t)$ is the predicted pressure at the arrival time t

$$p_k(t) = iL \frac{k\rho c}{2\pi} \sum_{l=1}^N V_l(t_l) \Delta h_l \frac{e^{-ikR_l}}{R_l} \frac{\sin(kx_l L/2)}{kx_l L/2} e^{-ikc_0(t-t_l)}$$

$$\left(t = t_1 + \frac{R_l}{C_{eff}} \right) \quad C_{eff} \text{ is the celerity in the atmosphere cor-}$$

responding to the predicted wave guides (0.29 km/s), ρ is the air density, c_o is the sound speed, Δh_l is the height difference of the radiating surface and $x_l = \sin(\theta_l)$ is given by the angle θ_l between the outward unit normal and the source/receiver vector. Using the simulated ground velocity and this approximation of the integral formulation, the surface pressure distribution can be calculated. Figure 3 compares the locations of the seismo-acoustic coupling regions (Figure 3-c) with those obtained with the inverse location procedure (Figure 3-a).

Figure 4 shows the reconstructed azimuth at the station is based on the evaluation of the relative contribution to the pressure of each element of the topography. The first

part of the azimuth variation is associated with the Qilian Shan range. The apparent scattering of the detection is related to a wide region composed of a succession of ridges, which generate simultaneous arrivals with different azimuths. The central part associated with the Kunlun Mountains is more constrained. The small difference of 0.5° between the measurements and the reconstructed azimuth confirms the validity of the celerity model as well as the wind-corrected azimuths. The last part, associated with the Bayan Har mountains on the Tibetan plateau, is also well simulated even though the amplitude of the infrasonic wave generated by the ground coupling is close to the background noise level.

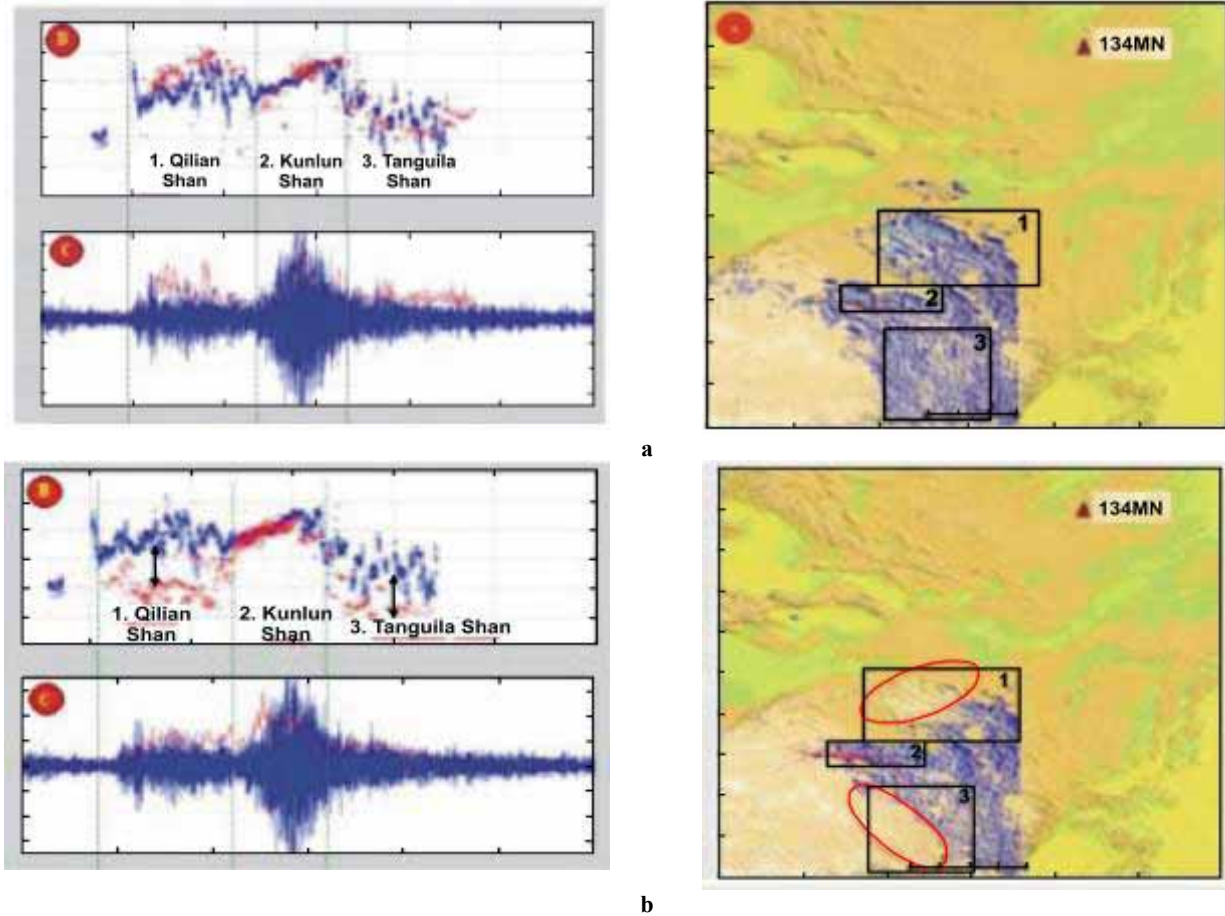


Figure 4. Example of infrasonic wave field from the ground coupling of the Rayleigh waves: a – the variation of azimuth and amplitude with time: model 1 with a dip of 61° (Havard); b – the variation of azimuth and amplitude with time: model 2 with a vertical fault plane

In the both examples below, we can see the variation of the radiation pattern vs. the dipping of the fault plane. On the Figures 4-b, the blue dots represent the azimuth of coherent detection using PMCC. The red circles represent the simulated azimuth. We can clearly see that the first model fits very well the observed variation of azimuth. On Figures 4-a the localization of area of ground coupling are clearly a function of the source parameters (here the dipping of the fault plane). The inversion of infrasonic travel time gives an image of the Rayleigh wave radiation close to the fault plane.

We also try to test the influence of the kinematic rupture model on the geographical localization of the

ground coupling areas. As shown on the second part of the Figure 4, when the dip of the fault is changed from 61° to 90° , the radiation pattern of the Rayleigh waves changes drastically and the predicted image of the ground coupling area permits to select the best model of rupture [Guilbert et al., 2004]]. The inversion of the azimuth and amplitude of infrasonic detection will allow us to estimate the Rayleigh wave radiation few hours after the main shock.

CONCLUSION

All these examples of source inversion using both the seismic and infrasonic records clearly show the evidences that the dense global IMS network offers to the

scientific community an exceptional dataset. This will allow us to increase the number of seismic observations and also ground coupling records. The intensive use of seismic array observations will be a useful tool to improve our understanding of intermediate earthquakes

(Mw 4.0 to 5.5) and the associated tectonics. The rapid determination of the rupture process would provide a significant image to quickly estimate the areas of damage after a strong earthquake.

REFERENCES

1. Bedard, A.J., Seismic response of infrasonic microphones, J. Res. Nat. Bur. Stand., 75,41-45, 1971
2. Bolt, B.A., Seismic air waves from the great 1964 Alaskan earthquake, Nature., 202, 1095-1096,
3. Bouchon M., A simple method to calculate Greens functions for elastic layered media, Bull. Seism. Soc. Am., 71,
4. Cansi, Y., An automatic seismic event processing for detection and location: the PMCC method, Geophys. Res. Lett., 22, 1021-1024, 1995.
5. Bonn, W.L. and E.S. Posmentier, Ground-coupled air waves from the great Alaskan earthquake, J. Geophys. Res., 69, 5357-5361, 1964.
6. Garces M., Drob D.P., Picone J.M., A theoretical Study of the effects of geomagnetic fluctuations and solar tides on the propagation of infrasonic waves in the upper atmosphere, Geophys. J. Int., 148, 77-87, 2002.
7. Guilbert J., A. Le Pichon, M. Vallee, B. Alcoverro, M. Ulzi: The Ground-Coupled Air Wave Generated by Destructive Earthquakes: An example of direct simulation and constraint on seismic source. Presentation at the IUGG congress, Sapporo, 2003.
8. Hedin, A.E., M.A. Biondi, R.G. Burnside, G. Hernandez, R.M. Johnson, T.L. Killeen, C. Mazaudier, J.W. Meriwether, J.E. Salah, R.J. Sica, R.W. Smith, N.W. Spencer, V.B. Wickwar and T.S. Virdi, Revised global model of upper thermospheric winds using satellite and ground-based observations, J. Geophys. Res., 96, 7657-7688, 1996.
9. Ihmle, P.F.: On the interpretation of subevents in teleseismic waveforms the 1991 Bolivia deep earthquake revisited. J. Geophys. Res., 103, 17919-17932, 1998.
10. Ihmle, P.F.: Frequency dependent relocation of the Nicaragua slow earthquake an empirical Green's function approach. Geophys. J. Int., 127, 75-85, 1996a
11. Ihmle, P.F.: Monte Carlo slip inversion in the frequency domain application to the Nicaragua slow earthquake. Geophys. Res. Lett., 23, 913-916, 1996b
12. Kikuchi, M. and Yamanaka, Y., Near Coast of Peru earthquake (M_w 8.2) on June 23,2001, WEB site of the Earthquake Information Center, University of Tokyo (www.eri.u-tokyo.ac.jp), 2001.
13. Le Pichon, A., M. Garces, E. Blanc, M. Barthelemy and D.P. Drob, Acoustic propagation and atmosphere characteristics derived from infrasonic waves generated by the Concorde, J. Acoust. Soc. Am., 111, 629-641, 2002.
14. Le Pichon A., J. Guilbert and M. Vallee: Infrasonic imaging of the Kunlun Mountains for the great 2001 China earthquake. Geophys. Res. Lett., vol.30, NO. 15, 2003
15. Le Pichon A., J. Guilbert and M. Van de Walle Ground-coupled air waves and diffracted infrasounds from the Arequipa earthquake of June 23,2002. Geophys. Res. Lett., 2003
16. Lin A., B. Fu, J. Guo, Q. Zeng, G. Dang, W. He and Y. Zhao, Coseismic strike-slip and rupture length produced by the 2001 Ms 8.1 Central Kunlun earthquake, Science, 296,2015-2017,2002.
17. Mikumo, T., Atmospheric pressure waves and tectonic deformation associated with the Alaskan earthquake of March 28, 1964, J. Geophys. Res., 7 Cook, R.K., Infrasound radiated during the Montana earthquake of 1959 August 18, Geophys. J. R. astr. Soc., 26, 191-198, 1971.3,2009-2025, 1968
18. Takahashi, Y., Y. Koyama and T. Isei, In situ measured infrasound at Sapporo associated with an earthquake occurring offshore in southwest Hokkaido on July 12, 1993, J. Acoust. Soc. Jpn., 15,409-411, 1994.
19. Vergoz J., M. Vallee and J. Guilbert: Fast imaging of the seismic rupture process. Poster, ECU conference, 2004
20. Vallee M. and M. Bouchon: Imaging coseismic rupture in far field by slip patches, Geophys. J. Int., 2004
21. Vallee M., Thesis, Far field study of the seismic source, Grenoble Univ., France, 2003
22. Virieux, J. and V. Farra, Ray-tracing in 3D complex isotropic media: an analysis of the problem, Geophysics, 56,2057-2069,1991.
23. Virieux, J., N. Gamier, E. Blanc and J.X Dessa, Paraxial ray tracing for atmospheric wave propagation, J.Acoust. Soc. Am., submitted for publication, 2003.

СЕЙСМИКАЛЫҚ АЙЫРЫЛЫМЫНЫҢ ЕЛЕСІ: КӨЗІНІҢ ИНВЕРСИЯСЫ, «ЖЕР – АТМОСФЕРА» АЙЫРБАСЫ

¹Гилберт Д., ²Валле М., ¹Ле Пичон А., ¹Вергоз Д., ³Улзибад М.

¹CEA/DASE-LDG, Бруйе-ле-Шатель, Франция

²Now at Osservatorio Vesuviano INGV, Неаполь, Италия

³Монгол ғылыми академиясының Астрономия және геофизика орталығы, Улан-Батор, Монголия

Ядролық сынауларына бәрін қамтитын тиым салу туралы шартының шегіндегі Мониторингтің Халықаралық Жүйесі ядролық жарылыстарын табу және айқындау үшін құрастырылады. Радионуклидты, гидроакустикалық, сейсмикалық және инфрадыбыстық станцияларын қосатын дүние жүзілік жүйесі дүние жүзінде адам әрекетін және табиғи оқиғаларын бақылауына мүмкіндік береді

Халықаралық деректер орталығынан және АҚШ IRIS Университеттер консорциумынан нақты уақытта дерлік режимінде түсетін глобалды деректерінің өсіп келетін көлемі жерсілкінулер көздерінің параметрлерін тез және дәл анықтауға мүмкіндік береді. Бірінші және екінші қатардағы оқиғалардың мінездемелері (орналасу

орыны, терендігі, ұзақтығы, фокальды тетігі, сондай-ақ қатты жерсілкінулер үшін жарылым бойынша жылжуының кеңістіктік үлесуі мен айырылым жылдамдығындай дәлденген кинематикалық параметрлері Р және SH көлемді телесейсмикалық толқындар бойынша әр түрлі әдістермен анықталады.

Қатты және орта шамадағы жерсілкінулерінде айырылым болу процессінің негізгі ерекшеліктерін тез анықтау, сондай-ақ оқиғаның терендігін бағалауын расстау үшін нүктелі және сызықты көздері үшін инверсияның классикалық әдістері қолданылады. Қатты жерсілкінулеріне қарай айырылым бойынша көзінің қосалқы параметрлері (жылжуы және айырылым жылдамдығы) көздегі процессін сипаттау негізінде жылжу белдемдері терминдерінде анықталады. Сондай-ақ, «жер-әуе» шекарасында сейсмикалық толқындары шығарған ифрадыбысты толқындары («жер – атмосфера» айырбасы) бойынша есептелген Релей толқындары сәулеленуінің екі өлшемді елесітері қолданылады. Осындай елесі айырылым болу процессін сипаттау үшін қолданылған.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЗРЫВА: ИНВЕРСИЯ ИСТОЧНИКА, ОБМЕН «ЗЕМЛЯ –АТМОСФЕРА»

¹Гилберт Д., ²Валле М., ¹Ле Пишон А., ¹Вергоз Д., ³Улзибад М.

¹*CEA/DASE-LDG, Бруйе-ле-Шатель, Франция*

²*Now at Osservatorio Vesuviano INGV, Неаполь, Италия*

³*Центр астрономии и геофизики Монгольской академия наук, Уланбаатор, Монголия*

Международная Система Мониторинга (МСМ) в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерного испытания (ДВЗЯИ) создается для обнаружения и выявления ядерных взрывов. Всемирная сеть, которая включает радионуклидные, гидроакустические, сейсмические и инфразвуковые станции, предоставляет возможность наблюдать за человеческой деятельностью и за природными явлениями во всем мире.

Возрастающий объем глобальных данных, поступающих в режиме почти реального времени от Международного центра данных и Консорциума университетов США IRIS, позволяет быстро и точно определять параметры источника землетрясений. Характеристики события первого и второго порядка (местоположение, глубина, длительность, фокальный механизм, а также уточненные кинематические параметры для сильных землетрясений, такие как пространственное распределение смещений по разлому и скорость разрыва) определяются по телесейсмическим объемным волнам Р и SH разными методами.

Для быстрого определения основных особенностей процесса разрываобразования при сильных и средних землетрясениях, а также для подтверждения оценок глубины явления используются классические методы инверсии для точечного и линейного источников. Применительно к сильным землетрясениям дополнительные параметры источника по разрыву (подвижка и скорость разрыва) определяются на основе описания процесса в источнике в терминах зон подвижек. Используются также двумерные представления излучения волн Релея, рассчитанные по инфразвуковым волнам, инициированным сейсмическими волнами на границе «земля-воздух» (обмен «земля-атмосфера»). Такое представление применено для описания процесса разрываобразования.

УДК 550.341

СТРУКТУРА АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Еманов А.А., Лескова Е.В.

Институт геофизики СО РАН, Алтай-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, Россия

Работа посвящена результатам переобработки данных регистрации Чуйского землетрясения (27.09.2003) и его афтершоков с использованием алгоритмов, не входящих в обязательную обработку, применяемую при составлении каталога сейсмических событий. Исследованию афтершокового процесса Чуйского землетрясения посвящено много работ [например, 1,2], однако детализация сведений обо всем процессе остается актуальной задачей. В работе с помощью некоторых современных подходов уточняются данные, представленные в [1].

ВВЕДЕНИЕ

Алгоритмы построения эпицентров землетрясений, применяющиеся в Алтай-Саянском регионе до настоящего времени, были рассчитаны на редкую сеть региональных наблюдений. С появлением более плотной сети станций “Алтайского сейсмологического полигона” [3] стало возможно применение методики, позволяющей получать более точные решения при локальных полигонных наблюдениях. В данной работе для обработки сейсмологических данных Алтая применены новые методы, которые позволяют более детально рассмотреть пространственную структуру афтершокового процесса Чуйского землетрясения.

При вычислении положения гипоцентра важной является скоростная модель. Именно благодаря скоростной модели определяется время пробега волн и расстояние от очага до сейсмологической станции. При этом несоответствие скоростной модели реальной среде вносит наибольшую ошибку в определяемые значения координат сейсмических событий. В данной работе для повышения точности решения используется два подхода. Во-первых, при вычислениях положений гипоцентральных вводится уточненная скоростная модель. Во-вторых, используется метод двойных разностей, не очень чувствительный к параметрам модели и потому позволяющий получить более точное относительное решение, которое привязывается путем сравнения с уже имеющимся абсолютным решением. Для Чуйского землетрясения (27.09.2003) и его афтершоков гипоцентральные решения выполнены с использованием скоростной модели, полученной по данным сейсмической томографии. Для некоторых землетрясений, прежде всего для крупнейших событий этой активизации, построены фокальные механизмы.

ГИПОЦЕНТРАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСЛОЙНОЙ СКОРОСТНОЙ МОДЕЛИ

При стандартной обработке в Региональном центре записей землетрясений, ориентированной на разреженную сеть сейсмологических станций, рассчитываются только эпицентральные решения с фиксированной глубиной 15 км. Решения делаются с использованием простой скоростной модели с постоянными скоростями $V_p = 6,1$, $V_s = 3,5$ в коре, и $V_{pn} = 8,1$ и $V_{sn} = 4,6$ в мантии. При разреженной

сети станций, на больших расстояниях такой модели вполне достаточно, тогда как для локального участка “Алтайского сейсмологического полигона” можно использовать более точную модель, предполагая, что она не меняется на территории полигона.

В работе представлены гипоцентральные решения, которые были получены программой HYPOINVERSE 2000 [4] с использованием скоростной модели, приведенной в [5] по результатам сейсмической томографии. Методика применена впервые для определения гипоцентров в Алтай-Саянском регионе. Геология региона очень разнообразна, поэтому одномерная слоистая модель, использованная в расчете, достоверна только для района главного события и афтершокового процесса. В таблице 1 приведена скоростная модель для продольных волн.

Таблица 1. Скоростная модель для продольных волн (V_p)

Номер слоя	Глубина (км)	V_p (км/сек)
1	0.0 - 3.0	6.0
2	3.0 - 6.0	6.25
3	6.0 - 9.0	6.3
4	9.0 - 15.0	6.35
5	15.0 - 20.0	6.4
6	20.0 - 30.0	6.55
7	30.0 - 40.0	6.75
8	40.0 - 55.0	6.75
9	> 55.0	8.1

Скоростная модель для поперечных волн получена с использованием отношения $V_p/V_s = 1.74$. Поскольку почти все станции, данные которых участвовали в обработке, были размещены на выходах коренных пород, скорость волн в осадочном слое не принималась во внимание, для первого слоя модели бралась скорость кристаллического фундамента. Как видно из таблицы 1, модель построена до границы Мохоровичича (55км), для которой указана скорость головной волны. Таким образом, построенная модель учитывает головную волну, но не учитывает волны, проходящие через мантию.

Использовались только первые вступления Р- и S-волн, интерпретация того, является ли волна прямой или рефрагированной (головной), полностью зависит от скоростной модели. У методики, используемой при стандартной обработке, в этом смысле есть некоторое преимущество - она использует как прямые, так и головные волны. Это преимущество проявляется при редкой региональной сети станций,

где для сейсмического события большинство станций находится на расстоянии, на котором появляется головная волна, но в условиях “Алтайского сейсмологического полигона” и плотной сети станций эпицентральных наблюдений оно не существенно.

В алгоритме использованной программы HYPOINVERSE [4] заложена достаточно “умная” система взвешивания. При расчетах сначала вычисляется грубое приближение решения с использованием всех данных и фиксированной глубиной, затем оно итеративно уточняется. После получения эпицентрального решения ведется определение глубины события. В процессе вычислений на заданной итерации включается фильтрация и взвешивание данных по двум параметрам: невязке, расстоянию. При взвешивании по невязке из расчетов удаляются наблюдения, для которых разность времен пробега - наблюдаемых и вычисленных (с помощью модели), - превышает некоторую величину, обычно 0,16 сек, а остальным данным присваиваются веса в зависимости от невязки. Взвешивание зачастую уточняет решение, отбрасывая некачественные данные, но при этом возможна ситуация, когда одно плохое наблюдение может привести решение к неверному результату, поэтому необходим контроль качества решения. При взвешивании по расстоянию на определенной итерации удаляются наблюдения на станциях, находящихся от эпицентра дальше задаваемо-

го расстояния, а остальные данные взвешиваются. В качестве отсекающего обычно использовалось расстояние 50 км, только в некоторых случаях оно увеличивалось, чтобы было охвачено большее число наблюдательных станций. Такое взвешивание гарантирует, что на последних итерациях при определении положения гипоцентра будут использоваться только близкие станции, при этом далекие станции не смогут внести ошибку, обусловленную, в первую очередь, несоответствием модели удаленной территории и модели эпицентральной зоны.

На рисунке 1 показана карта эпицентров Чуйского землетрясения, рассчитанных с использованием описанного метода и скоростной модели, полученной по данным сейсмической томографии. На карте приведена также структура блокоразделяющих разломов [по Новикову], впервые представленная в работе [1].

На рисунке 2 для сравнения приводятся результаты определения координат землетрясений разными методами: на рисунке 2 а показаны положения эпицентров, которые определены по стандартной методике в Региональном центре, на рисунке 2 б - положения эпицентров, полученные с использованием скоростной модели. Хорошо видно, что перепределенные события группируются в некоторую структуру, тогда как начальные определения представляют собой линейно вытянутое облако.

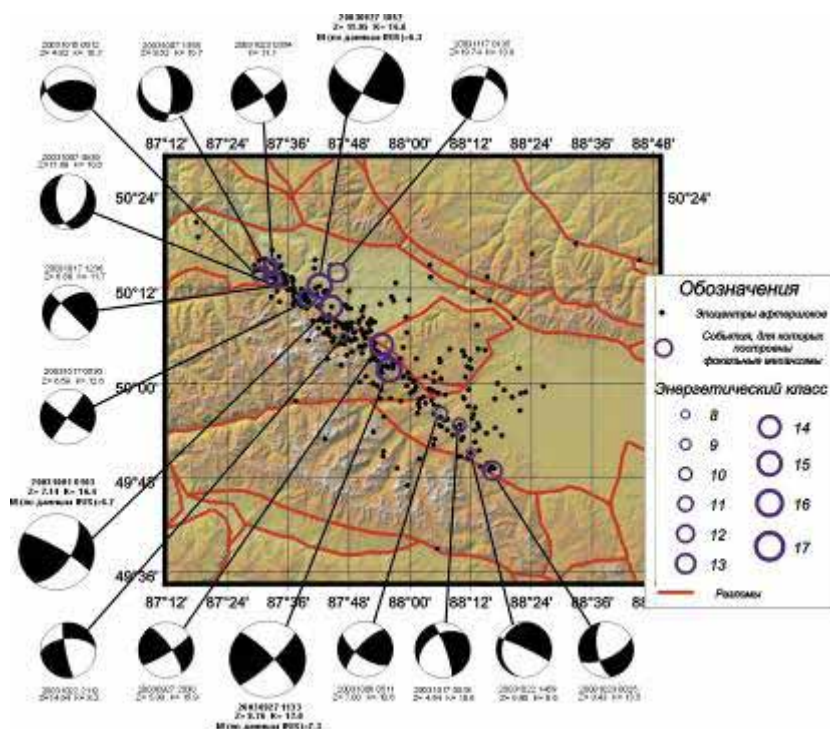


Рисунок 1. Эпицентры афтершоков Чуйского землетрясения (27.09.2003) и фокальные механизмы

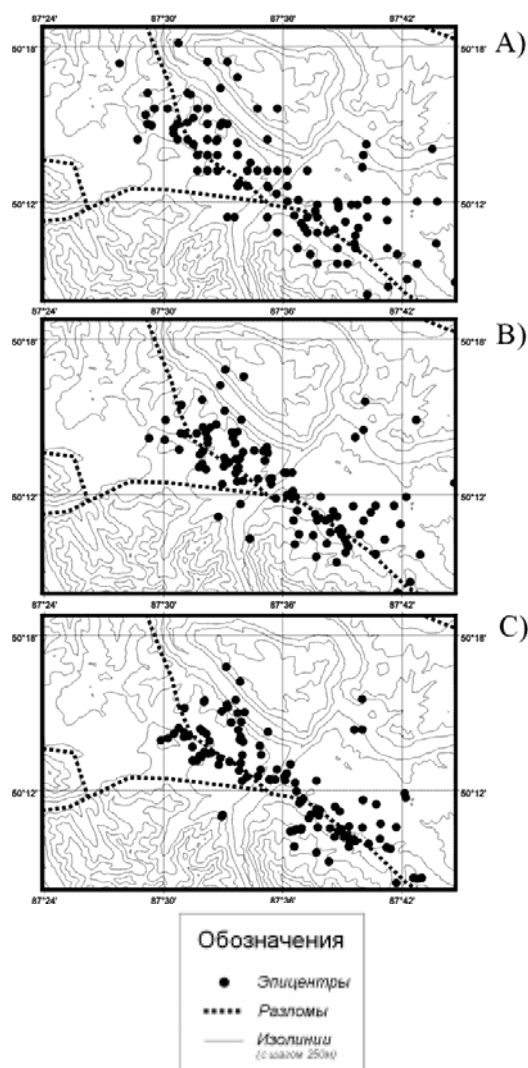


Рисунок 2. Сравнение результатов определения координат землетрясений разными методами: а – стандартная обработка РИОЦ; б – методика, использующая скоростную модель по данным сейсмической томографии; в – метод двойных разностей

Таблица 2. Параметры гипоцентральных решений и фокальных механизмов крупнейших событий активизации

Дата	Время (в сек)	Широта	Долгота	Глубина км	К	Число набл.	Плоскость 1			Плоскость 2			Ось сжатия (Р)		Ось растяжения (Т)	
							Прости- рание	Падение	Под- виж- ка	Прости- рание	Падение	Под- виж- ка	Азимут	Угол погру- жения	Азимут	Угол погру- жения
20030927	1133:24.08	50,027	87,932	8,76	17,0	27	315	80	170	47	80	10	181	0	271	14
20030927	1852:51.07	50,204	87,703	11,95	16,6	28	120	70	-180	30	90	-20	343	14	77	14
20030927	2030:25.40	50,080	87,906	5,38	15,9	16	325	75	170	58	80	15	191	4	282	18
20031001	0103:26.00	50,160	87,741	7,14	16,4	34	35	60	10	300	81	150	351	14	253	27
20031006	0511:26.14	49,935	88,102	7,00	10,6	15	125	65	160	224	72	26	353	5	86	31
20031007	0939:55.61	50,218	87,546	11,62	10,6	15	170	55	-120	35	45	-54	23	65	281	6
20031007	1358:55.51	50,249	87,543	8,52	10,7	17	0	70	-60	121	36	-144	308	55	68	19
20031015	0012:03.88	50,229	87,500	4,82	10,7	15	120	45	120	261	52	63	9	4	109	69
20031017	0530:21.42	50,178	87,663	6,59	12,6	20	125	85	-180	35	90	-5	350	4	80	4
20031017	0818:47.09	49,911	88,162	4,64	10,6	15	340	80	-130	238	41	-15	213	41	100	24
20031017	1236:23.49	50,216	87,555	6,68	11,7	17	315	90	-140	225	50	0	188	27	82	27
20031022	1459:11.59	49,851	88,201	9,80	8,6	12	295	85	-110	192	21	-14	184	46	43	37
20031022	2112:54.90	50,098	87,780	14,82	8,2	16	170	85	-40	264	50	-173	121	30	222	18
20031023	0025:46.35	49,814	88,271	3,43	13,5	19	65	65	-30	169	63	-152	26	38	117	1
20031023	0354:26.45	50,243	87,539		11,1	19	325	80	170	57	80	10	191	0	281	14
20031117	0135:47.15	50,232	87,762	19,74	13,9	24	20	90	50	290	40	180	143	33	257	33

Фокальные механизмы

Фокальные механизмы рассчитаны для наиболее крупных событий данной активизации. Гипоцентральные решения и углы выхода рассчитывались пакетом программ HYPOINVERSE2000 [4] как описано выше. Построение фокальных механизмов по знакам первых вступлений далее выполнялось пакетом программ FPFIT [6]. Для каждого события в расчетах участвовало от 15 до 34 наблюдений полярности первых вступлений на станциях Алтае-Саянской сети, в некоторых случаях дополнительно использовались волновые формы, зарегистрированные станциями IRIS и сейсмологической сети Монголии.

При построении фокального механизма пакетом программ FPFIT сравнивается наблюдаемая полярность записей каждой станции, участвующей в определении механизма очага, с рассчитанной полярностью для каждой модели источника из набора. Далее рассчитывается функция расхождения, по минимуму которой определяется нодальная плоскость. Решение получается в виде параметров плоскости разлома (углы простираения, падения и подвижки) и положения осей главных напряжений (азимут и угол наклона). В таблице 2 приведены результаты определения эпицентров и параметры фокальных механизмов для серии афтершоков Чуйского землетрясения.

Определение механизма главного толчка проводилось по 27 наблюдениям первых вступлений различных станций, ближайшая из которых находилась в 30 км от эпицентра. Три станции располагались на удалении до 100 км от эпицентра. Погрешность определения положения плоскости разлома составила 3° - для углов падения и подвижки, 5° - для угла простираения. В таблице 3 приведены результаты расчета механизма главного толчка, по данным разных Центров и различными методами [2]. Как видно из таблицы, решение, полученное по описанной методике (АСФ ГС СО РАН), лучшим образом согласуется с решением, полученным Информационно-обрабатывающим центром Геофизической службы РАН. Следует отметить, что решение строилось, большей частью, по данным близких станций, тогда как все остальные были построены по данным уда-

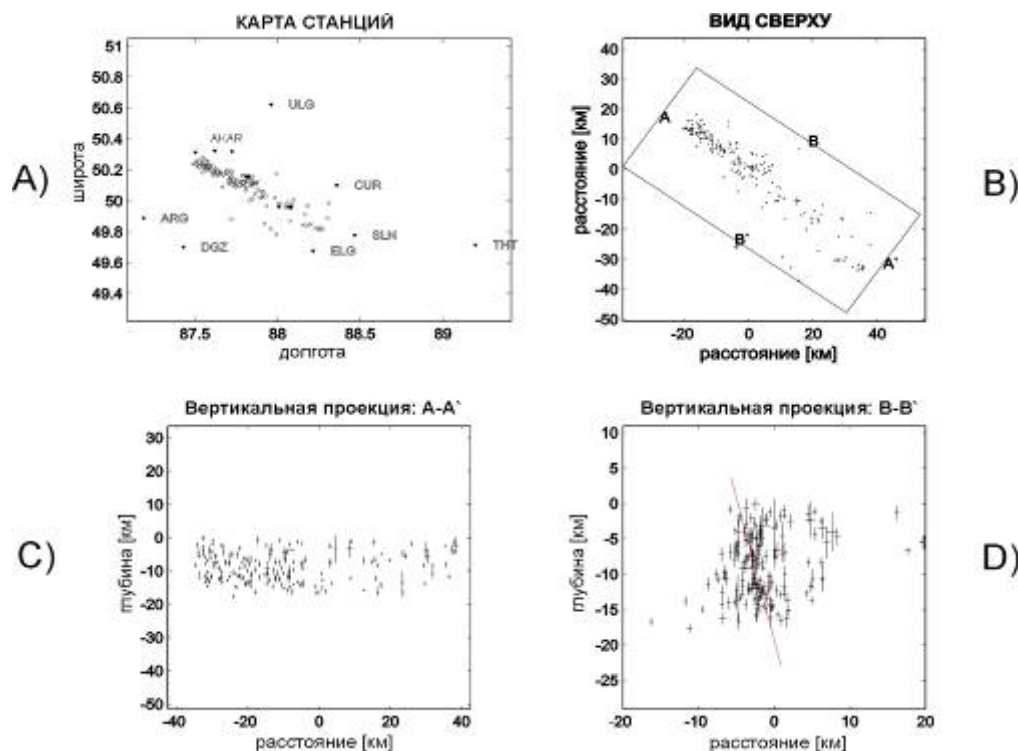
ленных телесейсмических станций. Различие между приведенными результатами превышает точность измерений, выполненных в рамках данной работы, и это позволяет считать, что проведенное исследование уточняет данные, опубликованные в [2].

На рисунке 1 показаны проекции нижних полу-сфер фокальных механизмов, построенных для отдельных событий. Для наглядности гипоцентры этих землетрясений обозначены синими кружками в зависимости от энергетического класса, эпицентры других событий – точками. Фокальные механизмы выделены для главного толчка и двух крупнейших афтершоков. Помимо энергетического класса, рассчитанного АСФ ГС СО РАН, для них приведены магнитуды по данным IRIS.

Таблица 3. Результаты расчета механизма главного толчка Чуйского землетрясения по данным разных центров

Оси главных напряжений				Нодальные плоскости						Центр
Т		Р		NP1			NP2			
Pl	Azm	Pl	Azm	Stk	Dp	Slip	Stk	Dp	Slip	
14	271	0	181	47	80	10	315	80	170	АСФ ГС СО РАН
13	275	10	8	52	74	2	321	88	164	ИОЦ ГС РАН
10	262	18	356	38	70	-5	130	85	-160	NEIC
32	92	11	355	227	76	32	129	59	164	HARVARD

Примечание: АСФ ГС СО РАН – Алтае-Саянский Филиал Геофизической Службы СО РАН; ИОЦ ГС РАН - Информационно-обрабатывающий центр Геофизической службы РАН; NEIC - Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США; HARVARD - Гарвардский центр (США).



Крестик - положение гипоцентра и ошибки определения; красная линия – предполагаемый наклон главного разлома

Рисунок 3. Результаты переопределения гипоцентров событий методом двойных разностей: а – расположение станций и эпицентров; б – события, вид сверху; в – события, вертикальная проекция по линии A-A (вдоль главного разлома); г – события, вертикальная проекция по линии B-B (поперек главного разлома)

Из рисунка 3 видно, что по линии главного разлома вдоль Северо-Чуйского хребта фокальные механизмы показывают почти четко горизонтальный сдвиг, тогда как на обоих концах активизации (юго-восточном и северо-западном) механизмы изменя-

ются, и существенной становится вертикальная составляющая сдвига.

ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИПОЦЕНТРАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ МЕТОДОМ ДВОЙНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Проведено переопределение положения сейсмических событий методом двойных разностей [7-9], идея которого состоит в предположении, что сейсмические волны от близкорасположенных источников проходят до регистрирующей станции примерно по одному и тому же пути. Таким образом, разность времен пробега волн от двух близких событий может рассматриваться как обусловленная в основном разностью положения гипоцентров этих событий. Используя большое количество совместных наблюдений пар землетрясений, метод двойных разностей позволяет переопределять взаимное положение этих событий. При этом, влияние такого параметра, как время пробега волны от эпицентра до наблюдательной станции, который обычно вносит большую погрешность в решение из-за несоответствия модели, существенно снижается.

В выполненных вычислениях участвовали только те события, которые имели достаточное количество совместных наблюдений с соседними событиями - не менее 8 для каждой пары событий, находящихся в пределах 10 км. В общей сложности переопределено взаимное положение двухсот событий. При этом использовались только данные каталога событий и времен вступлений, кросскорреляционные разности времен пробега сейсмических волн не использовались. Из-за принятого ограничения в обработку не попали события начала активизации, находящиеся вокруг Чаган-Узунского блока. На рисунке 3 представлены результаты переопределения гипоцентров событий методом двойных разностей с иллюстрацией величин погрешности для нескольких сечений - в плане (рисунок 3 б) и на двух горизонтальных проекциях, одна из которых выбрана вдоль Главного разлома (рисунок 3 в), вторая - вкрест Главного разлома (рисунок 3 г).

Метод двойных разностей дает достаточно точное относительное решение, однако весь переопределяемый кластер может быть сдвинут в сторону. Для того чтобы избежать этого, проводилась привязка результатов путем сравнения положения эпицентров, полученных методом двойных разностей, с результатами работы программного пакета HYPOINVERSE2000 (учет скоростной модели).

На рисунке 2 для сравнения представлены определения эпицентров событий на северо-западном фланге активизации, выполненные тремя разными методиками: стандартной методикой; методикой с использованием скоростной модели, полученной по данным сейсмической томографии; и методом двойных разностей. На этой иллюстрации видно, что с применением описанных методов улучшается точность полученного решения, и как при этом начинают вырисовываться линейные структуры.

Применение метода двойных разностей (рисунок 3) позволило получить эпицентры, которые выстроены в систему линий, согласующуюся с рельефом и геологическими представлениями. В более детальном масштабе (рисунок 3 а) хорошо видна S-образная зона, которая огибает Северо-Чуйский

хребет и загибается вдоль Чаган-Узунского блока. Линейные структуры хорошо видны и на вертикальных проекциях. Линии на рисунке 3 в, вдоль которых группируются переопределенные события, вероятно, являются плоскостями разломов, вдоль которых происходят подвижки, а на рисунке 3 г они могут быть как оперяющимися разломами, так и линиями скольжения вдоль главного разлома.

При рассмотрении полученных положений гипоцентров следует учитывать, что представленная выборка не является достаточно полной, и последующая обработка проявит другие детали протекания афтершокового процесса, которые не могли быть замечены здесь.

Выводы

В процессе переобработки данных, относящихся к регистрации Чуйского землетрясения и его афтершоков с использованием алгоритмов, не входящих в обязательную обработку, применяемую при составлении каталога сейсмических событий, получены следующие результаты:

1. С использованием записей близких станций уточнены параметры плоскости разрыва для главного толчка Чуйского землетрясения.
2. По гипоцентральных решениям для наиболее крупных афтершоков показано, что для линейной зоны афтершоков, вдоль западной границы Чуйской и Курайской впадин, характерным является горизонтальный сдвиг. По краям линейной зоны наблюдается смена механизма и значительной становится вертикальная составляющая сдвига.
3. Применение скоростной модели для определения координат гипоцентров событий и метода двойных разностей позволило уточнить структуру афтершокового процесса. Землетрясения выстроились в систему линий, которая отражает особенности сейсмотектонического процесса. На северо-западном окончании афтершоковой серии обнаружена структура оперяющихся разломов типа конского хвоста.

Основываясь на полученных результатах переобработки сейсмических данных, был сделан ряд выводов, относящихся непосредственно к процессу Чуйского землетрясения (27.09.2003).

Главное событие произошло между Северо-Чуйским хребтом и Чаган-Узунским блоком. В первый день после начала активизации сейсмичность группировалась вокруг Чаган-Узунского блока [10]. Можно предположить, что в это время происходил проворот блока, зажато между Северо-Чуйским и Курайским хребтом. Проворачиваясь, Чаган-Узунский блок одним краем надвигается на Курайскую впадину. На рисунке 1 видно, что внутри Курайской впадины вдоль Чаган-Узунского блока образована небольшая линейная структура.

В последующие дни наибольшее количество толчков происходило вдоль Северо-Чуйского хребта. В этом месте активизировалась протяженная линейная зона, вдоль которой не менялись фокальные механизмы. На северо-западном окончании зоны активизации проходит граница трех блоков и изгибается на север активизированный разлом, который

проходит между Курайской впадиной и Северо-Чуйским горным массивом. В этом месте начинает проявляться мелкая блоковая структура, которая хорошо видна в серии линейных зон на рисунке 2г. Наличие этой структуры подтверждается также изменением фокальных механизмов. В этом месте направленное движение, которое имеет место в цен-

тральной части активизации, начинает ослабевать и переходит из горизонтального сдвига в серию вертикальных сдвигов. Можно предположить, что изменение фокальных механизмов на противоположном, юго-восточном окончании зоны активизации, также свидетельствуют об ослаблении напряжений и проявлении мелкой блоковой структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдин С.В., Селезнёв В.С., Еманов А.Ф., и др. Чуйское землетрясение 2003 г. (M=7.5)//Электронный научно-информационный журнал "Вестник отделения наук о Земле РАН", 2003. - № 1(21). URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/screp-7.pdf
2. Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Габсатарова И.П., Параметры землетрясения 27 сентября 2003 года на Алтае по инструментальным данным//Электронный научно-информационный журнал "Вестник отделения наук о Земле РАН", 2003. - № 1(21). URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/screp-6.pdf
3. Еманов А.Ф., Колесников Ю.И., Селезнев В.С., и др. Алтайский сейсмологический полигон: начальный этап становления и первые результаты//Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия/Материалы международной геофизической конференции, г. Новосибирск, 15 - 19 сент. 2003г. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003.
4. Fred W. Klein, 04/2002, User's Guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran Program to Solve for Earthquake Locations and Magnitudes, U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. 02-171, version 1.0.
5. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Дучков А.Д., Лисейкин А.В. Деформационно-прочностное районирование земной коры Алтае-Саянской складчатой области//Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия/ Материалы международной геофизической конференции, г. Новосибирск, 15 - 19 сент. 2003г. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003.
6. P. A. Reasenber and D. Oppenheimer. FPFIT, FPLOT, and FPPAGE//Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plane solutions, U.S. Geol. Surv. 1985, Open-File Rep. – P. 85-739.
7. F. Waldhauser and W.L. Ellsworth A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Hayward Fault// Bull. Seism. Soc. Am., California , 2000. - Vol.90. – P. 1353-1368.
8. F. Waldhauser and W.L. Ellsworth Fault structure and mechanics of the Hayward Fault, California, from double-difference earthquake locations//J. Geophys. Res., 2001.
9. F. Waldhauser Hypo DD: A computer program to compute double-difference hypocenter locations//U.S. Geol. Surv., 2001, Open-File Rep., 01-113. – 25 p.
10. Гольдин С.В., Селезнёв В.С., Еманов А.Ф. и др. Чуйское землетрясение и его афтершоки//Доклады Академии Наук, 2004. - том 395, № 4. - С. 1–4.

ЧУЯ ЖЕРСІЛКІНУІНІҢ АФТЕРШОК ПРОЦЕССТЕРІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ

Еманов А.А., Лескова Е.В.

РФА СБ Геофизика институты

РФА СБ Геофизикалық қызметінің Алтай-Саян филиалы, Новосибирск, Ресей

Жұмыс сейсмикалық оқиғаларының каталогін құрастырғанда міндетті түрдегі өңдеуіне енбейтін алгоритмдерін қолданып, Чуя жерсілкінуін (2003 ж. 09.27) және оның афтершоктерін тіркеуіндегі деректерін қайта өңдеу нәтижелеріне арналған. Чуя жерсілкінуінің афтершок процесстерін зерттеуіне көп жұмыстар арналған [мысалы, 1,2], бірақ та барлық процесс туралы мағлұматтарын тәптіштеуі көкейтесті мәселе болып қала береді. Осы жұмыста қазіргі замандағы көзқарастарының көмегімен [1] ұсынылған деректері дәлденеді.

STRUCTURE OF AFTERSHOCK PROCESS OF CHUYA EARTHQUAKE

A.A. Emanov, E.V. Leskova

Institute of Geophysics SB RAS

Altai-Sayan Affiliate of Geophysical Survey SB RAS, Novosibirsk, Russia

The work is related to Chuya earthquake results processing (09.27.2003) and its aftershocks using algorithms that are not included in routine processing at compiling a seismic event catalogue. Many reports were related to research of aftershock process of Chuya earthquake [e.g. 1, 2], however, data detailing of the whole process was still essential. Data given in [1] are specified in the report using some modern techniques.

УДК 504.55.064.47

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ, ДОННЫХ ОСАДКАХ И В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА¹⁾Белянин В.И., ¹⁾Титов Д.В., ²⁾Жакупов С.Т.¹⁾Территориальное управление «Востказнедра», Усть-Каменогорск, Казахстан²⁾ТОО «Семейгидрогеология, Семипалатинск, Казахстан

Приводятся фактические данные о содержании радионуклидов в почвах, в донных осадках водоемов, в подземных водах за пределами Семипалатинского испытательного полигона (СИП) в границах территории Восточно-Казахстанской области (ВКО). Подтверждается необходимость контроля за радиационным состоянием подземных вод, используемых для питьевых целей.

На территории Восточно-Казахстанской области, прилегающей к Семипалатинскому испытательному полигону, в зоне возможного воздействия проведенных ядерных испытаний [1, 2], изучение радиологической обстановки проводилось в разные годы. Полученные фактические данные о содержании радионуклидов относятся к почвам, донным осадкам и подземным водам.

Почвы

Исследования проведены Восточно-Казахстанской проектно-изыскательской станцией химизации сельского хозяйства (ВК ПИСХСХ) в период с 1977 г. по 1991 г. на 29 стационарных площадках в восточном регионе Восточно-Казахстанской области. Установлено, что содержание Sr^{90} и Cs^{137} практически не менялось. В 1991 г. в пахотном слое почвы содержание Sr^{90} составляло 5,4-11,3 Бк/кг, Cs^{137} 2,2-16,3 Бк/кг; в подпахотном слое - 4,7-11,4 и 3,4-12,9 Бк/кг, соответственно. Наибольшее содержание Sr^{90} (11,4 Бк/кг) зафиксировано в Курчумском районе, наименьшее (5,4 Бк/кг) – в Катон-Карагайском районе. Наибольшее содержание цезия Cs^{137} (16,3 Бк/кг) отмечено в Больше-Нарымском районе, наименьшее (2,2 Бк/кг) - в Зайсанском районе.

Донные осадки

Исследования проведены в 1991 г. Партией экологических исследований Восточно-Казахстанской геологоразведочной экспедиции в рамках работы «Геохимическое опробование и анализ донных осадков рек и водоемов ВКО». Удалось установить, что поле потоков накопления Sr^{90} и Cs^{137} имеет струйчато-пятнистую структуру. Наибольшее накопление радионуклидов произошло в осадках оз. Маркаколь, где содержание Cs^{137} достигает 55,9 Бк/кг, и Бухтарминского водохранилища, в створе дома отдыха Голубой Залив, где отмечено содержание Cs^{137} до 65,2 и Sr^{90} - до 16,9 Бк/кг).

Подземные воды

Подземные воды исследовались на содержание радионуклидов при проведении государственной гидрогеологической съемки масштаба 1:200000 (попутные поиски радиоактивного сырья); а также при поисках, разведке и эксплуатации подземных вод (на соответствие питьевым нормам); при мониторинге подземных вод на постах Государственной сети по периферии Семипалатинского испытатель-

ного полигона, а также при изучении влияния отходов и стоков Ульбинского металлургического завода на подземные воды, являющиеся источниками водоснабжения.

В природных подземных водах содержание природного урана не превышает одной десятой предельно допустимой величины и обычно составляет $p(10^{-2} - 10^{-4})$ мг/дм³.

При разведке 15 месторождений подземных вод Семипалатинского региона в речных долинах, в отложениях предгорных шлейфов и конусов выноса, в краевой части артезианского бассейна Семипалатинского Прииртышья в 1967-1986 гг. зафиксированы содержания $\text{Ra}^{226} (0,08 \div 30) \times 10^{-12}$ Ку/дм³ при ПДК $1,2 \times 10^{-10}$ Ку/дм³; а также $\text{Sr}^{90} (0,1-43) \times 10^{-12}$ при ПДК 4×10^{-10} Ку/дм³. Наибольшее содержание Sr^{90} зафиксировано в карстовых водах Ащисуйской структуры Абралинского района и в водах аллювиальных отложений низовья долины Убы $(3 \div 4) \times 10^{-10}$ Ку/дм³.

Анализ проб воды, отобранных до 1997 г. на водозаборах сельских хозяйств в Абралинском, Абайском, Жанасемейском, Кокпектинском, Аксуатском, Чубартауском, Чарском и Бескарагайском районах (62 пробы) показал содержание в подземной воде Sr^{90} до 0,06 Бк/дм³ ($1,6 \times 10^{-12}$ Ку/дм³), Cs^{137} - от 0,05 до 0,37 Бк/дм³ ($1,3 \div 10) \times 10^{-12}$ Ку/дм³), что уверенно интерпретируется как отсутствие запредельного загрязнения подземных источников водоснабжения наиболее опасными техногенными радионуклидами – Sr^{90} и Cs^{137} .

В горном массиве Дегелен, ниже штольни 108, в которой был подорван последний ядерный заряд на СИЯП, в июле 1995 г. были отобраны пробы воды из родника на удалении 250 м от штольни и в ручье на удалении 500, 2000 и 3000 м. Анализы проведены в лаборатории Семипалатинской областной СЭС. Установлено содержание Sr^{90} в пределах $(0,7 \div 24) \times 10^{-12}$ и Cs^{137} в пределах $(0,7 \div 11) \times 10^{-12}$ Ку/дм³, что свидетельствует об отсутствии угрожающего загрязнения в непосредственной близости и вниз по потоку от опытной штольни.

В дренажной воде угольного карьера Каражыра вблизи опытной площадки Балапан, в сентябре 1996 г. зафиксировано содержание Sr^{90} 0,019 Бк/дм³ ($0,5 \times 10^{-12}$ Ку/дм³) и Cs^{137} 0,09 Бк/дм³ ($2,4 \times 10^{-12}$ Ку/дм³).

Авторов насторожило постоянное радиологическое «благополучие» подземных вод. В архивных материалах удалось найти и «неблагополучные» анализы подземных вод. Были обнаружены анализы проб воды, отобранных на северо-восточном склоне г. Мыржык в роднике, где установлено содержание Sr^{90} 129 Бк/дм³ ($3,5 \times 10^{-9}$ Ку/дм³) и Cs^{137} 65 Бк/дм³ ($1,8 \times 10^{-9}$ Ку/дм³). Полученные данные позволяют расценивать весь приведенный фактический материал как достоверный.

По заданию Комитета геологии и охраны недр в 1995 г. в зоне возможного воздействия СИП были сооружены три скважинных поста для определения состояния подземных вод: Курчатовский (р-н г. Курчатов), Центральный (район горного массива Дегелен) и Сарапанский (район участка Балапан). Опробование, выполненное в 1995-1996 гг., показало неизменно низкое содержание радионуклидов в подземных водах. Так, содержание Sr^{90} и Cs^{137} изменялось на участке Курчатовский в пределах $(1,3-1,4) \times 10^{-12}$ Ку/дм³ и $(0,7-0,9) \times 10^{-12}$; на участке Центральный - $0,6 \times 10^{-12}$ и $0,7 \times 10^{-12}$ Ку/дм³, на участке Сарапанский - $(2,3-2,4) \times 10^{-12}$ и $(0,4-0,5) \times 10^{-12}$ Ку/дм³, соответственно.

В мае 2001 г на участках Кызылтас, Каскабулак, Знаменский, Чаганский в пробах воды, отобранных из скважин сети Государственного мониторинга подземных вод, установлены показатели общей β активности 0,2; 0,2; 0,1 и 0,2 Бк/дм³ (при ПДК 1 Бк/дм³ для питьевой воды) и общей α активности 0,24; 0,08; 0,17 и 0,29 Бк/дм³ (при ПДК 0,1 Бк/дм³), соответственно. Таким образом, по общей α активности три отобранные пробы из четырех показали несоответствие питьевым нормам.

На крупных водозаборах подземных вод в городах Усть-Каменогорск, Семипалатинск, Зыряновск постоянно ведется мониторинг качества добываемой воды. Анализы выполняют аккредитованные лаборатории. По радиологическим показателям воды постоянно соответствуют питьевым нормам.

Подземные воды аллювиальных отложений в долинах Ульбы и Иртыша, эксплуатируемые для водоснабжения города, и находящиеся в зоне влияния Ульбинского металлургического завода - промплощадка, накопители стоков и отходов, - подвергаются радиоактивному загрязнению. В воде мелких водозаборов с неутвержденными запасами подземных вод общая α активность составляет 0,3-2,6 Бк/дм³, общая β активность - до 1 Бк/дм³, в подземных водах в очагах загрязнения общая α активность достигает 165 и общая β активность - 130 Бк/дм³. Санитарными правилами и нормами (СанПиН 3.01.067-

97, пункты 4,6) предусмотрено, что в случаях превышения нормативов общей активности, требуется проведение идентификации присутствующих в воде радионуклидов в соответствии с НРБ-99 [3]. Однако в этих нормативных документах не указана очередность определения радионуклидов. Учитывая дороговизну таких исследований, целесообразно компетентной организации детализировать и регламентировать порядок идентификационных исследований, а также определить соответствующие лаборатории.

Комитет геологии и охраны недр МЭМР РК организует на территории СИП проведение геологоразведочных работ за счет средств госбюджета для повышения минерально-сырьевого потенциала территории и для оценки экологической ситуации. В целях обеспечения безопасности персонала, повышения эффективности геологоразведочных работ, а также для исключения дублирования исследований целесообразно Национальному ядерному центру РК активно предоставлять имеющуюся архивную информацию геологам производственных организаций, изучающим территорию и объекты СИП за счет средств госбюджета.

Выводы

1. Территория Восточно-Казахстанской области испытала загрязнение техногенными радионуклидами при проведении ядерных испытаний на СИП. Степень загрязнения, установленная проведенными исследованиями, может быть оценена как допустимая.

2. Подземные воды, на значительных площадях являющиеся безальтернативным источником водоснабжения и незащищенные от загрязнения с поверхности, по содержанию природных и наиболее опасных техногенных радионуклидов удовлетворяют требованиям питьевых норм. Однако вне зависимости от этого факта радиационный мониторинг качества питьевой воды должен быть обязательным.

3. Для повышения эффективности радиационной оценки и контроля подземных вод в случаях превышения нормативов по общей активности компетентному органу необходимо установить порядок идентификации присутствующих радионуклидов и определить соответствующие лаборатории.

4. Целесообразно геологическую и геоэкологическую информацию по территории СИП, имеющуюся в архивах Национального ядерного центра РК, предоставлять на безвозмездной основе производственным геологическим организациям, ведущим работы на территории и объектах СИП из средств госбюджета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР 1949 – 1990 гг. Под редакцией Михайлова В.Н. – Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 1996.
2. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон. Под редакцией Логачева В.А. – М., 1997. – 320 с.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99). – М.: Минздрав России. – 1999.

**СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНЫҢ АУМАҒЫНЫҢ СЫРТЫНДА ШЫҒЫС-ҚАЗАҚСТАН
ОБЛЫСЫНЫҢ ТОПЫРАҒЫНДА, ТҮП ШӨГІНДІЛЕРІНДЕ ЖӘНЕ ЖЕР АСТЫНДАҒЫ СУЛАРДА
РАДИОНУКЛИДТЕР МӨЛШЕРІН АНЫҚТАУЫНЫҢ КЕЙБІР НӘТИЖЕЛЕРІ**

¹⁾Белянин В.И., ¹⁾Титов Д.В., ²⁾Жакупов С.Т.

¹⁾*«Востказнедра» АБ, Өскемен қ, Қазақстан*

²⁾*«Семейгидрогеология» ЖШС, Семей, Қазақстан*

Семей сынау полигонының (ССП) сыртында Шығыс-Қазақстан облысыны аумағының шегінде топырақта, су қоймаларындағы түп шөгінділерінде, жер астындағы суларда радионуклидтер мөлшері туралы нақтылы деректер келтіріледі. Ішуге қолданылатын жер астындағы судың радиациялық күйіне бақылауын орнату қажеттілігі анықталған.

**SOME RESULTS OF RADIONUCLIDE CONTENT DETERMINATION IN SOIL,
BOTTOM SEDIMENTS AND GROUND WATERS OF THE EAST-KAZAKHSTAN
OBLAST BEYOND THE SEMIPALATINSK TEST SITE TERRITORY**

¹⁾V.I. Belyanin, ¹⁾D.V. Titov, ²⁾S.T. Zhakupov

¹⁾*Territorial Administration «Vostkaznedra», Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

²⁾*«Semeyhydrogeology» Ltd., Semipalatinsk, Kazakhstan*

The paper describes the facts of radionuclide content in soil, bottom sediments of basins, and in ground waters beyond Semipalatinsk Test Site at the territory of the East-Kazakhstan Oblast. Radiation monitoring was found necessary for drinking water supply purposes.

УДК 504.53.06:621.039.9

**МОНИТОРИНГ ПОЧВ НА ТЕРРИТОРИИ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ,
ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К СЕМИПАЛАТИНСКОМУ ИСПЫТАТЕЛЬНОМУ ПОЛИГОНУ**¹Тулеубаев Б.А., ²Рамазанов Ж.Р., ³Аскаров Е.В.¹*Павлодарский университет, Научно-исследовательский экологический центр «Мониторинг», Павлодар, Казахстан*²*Постоянная комиссия по экологии областного маслихата, Павлодар, Казахстан*³*Департамент природоохранных программ Павлодарской области, Павлодар, Казахстан*

Проблема изучения и реабилитации территорий, загрязненных техногенными радионуклидами, является важной и имеет экономический, социальный и экологический аспекты. Для Павлодарской области проблема актуальна в связи с реальным соседством и с частичным расположением Семипалатинского испытательного полигона на ее территории.

Территория Павлодарской области занимает 39% площади Семипалатинского испытательного полигона (СИП), что составляет порядка 7200 кв. км (720 тыс. га). В прошлом на этой территории располагалась испытательная площадка «Опытное поле», где были проведены атмосферные ядерные, в том числе и наземные ядерные взрывы. В настоящее время на СИП и прилегающей к ней территории, несмотря на слабую изученность радиоэкологической обстановки, ведется достаточно интенсивная хозяйственная деятельность. Фермерские хозяйства после закрытия полигона создают здесь зимовки и летники, проводят выпас скота, сенокошение, занимаются бахчеводством, огородничеством и т. д. Поэтому изучение характера радиоактивного загрязнения объектов аграрной среды чрезвычайно важно не только в научном плане, но и в социальном, и в общечеловеческом. Исследование характера аккумуляции и миграции радионуклидов в пищевой цепи представляет особый интерес и с точки зрения обеспечения радиационной безопасности освоения сельскохозяйственных угодий (включая дачные и огородные хозяйства).

Постановлением Правительства Республики Казахстан №122 от 07.02.1996 г. земли СИП отнесены к категории земель запаса. Утверждено Положение (Постановлением Правительства РК № 976 от 16.06.1997 г.), по которому земли СИП могут быть использованы не только после завершения мероприятий по ликвидации последствий испытаний ядерного оружия, но только после их комплексного экологического обследования. Из этого следует актуальность работ по радиоэкологическому обследованию юга Павлодарской области.

В плане оздоровления и изучения СИП и прилегающих территорий важное значение имеют решения, принятые 52 и 53 сессиями Генеральной ассамблеи ООН «О ликвидации последствий ядерных испытаний на территории Республики Казахстан». Экспертами ООН совместно с казахстанскими специалистами разработана серия Проектов, направленных на оздоровление региона: по стратегии устойчивого землепользования, по изучению радиоэкологической ситуации в окрестностях населенных пунктов, по полной оценке радиоэкологической ситуации и др. К сожалению, до настоящего времени работы по этим проектам не начаты. Местные органы, исследовательские организации, работающие в Павлодарской области, в своей

деятельности опираются, прежде всего, на результаты ряда исследований, проведенных за счет госбюджетных средств. Такими, в частности, являются исследования, выполненные дочерними институтами НЯЦ РК - литогеохимические съемки, маршрутное обследование (ИРБиЭ НЯЦ РК, [1]), опытное шлихогеохимическое опробование (ИГИ НЯЦ РК[2]) и др. Однако радиоэкологическая изученность территории остается недостаточной. В этой ситуации местные органы принимают посильные меры по повышению безопасности жизнедеятельности и проводят работы за счет собственных средств области. Так, в 1999-2000 гг. и в 2002 г. «Институт радиационной безопасности и экологии» НЯЦ РК провел исследования из средств областного фонда охраны природы на территории Майского района, а также в пределах самого полигона. Проведено радиоэкологическое обследование ряда зимовок, 800 кв. км территории, некоторых участков землепользования ТОО «Акжарский» Майского района, проведен отбор проб почвы, воды и растений. В результате этих работ локализована испытательная площадка, получена предварительная оценка отобранных проб воды, почвы и растительности. В 2003 г. работы были продолжены. Проведено комплексное полевое радиоэкологическое обследование территории СИП, переданной в госземзапас Павлодарской области и ранее не изученной, - площадное радиоэкологическое обследование на площади порядка 1800 км² с отбором проб объектов окружающей среды (почвы, растительности, воды). Работы показали, что содержание радионуклидов цезия-137, стронция-90, амерция-241, плутония-239/240 меняется в широких пределах и в ряде случаев превышает фон глобальных выпадений.

Подтверждена необходимость разработки системы контроля за радиоэкологическим состоянием объектов окружающей среды. Учитывая важность проблемы радиоэкологической безопасности, в 2004 г. разработана областная комплексная экологическая программа на 2005-2007 гг., которая прошла независимую экспертизу и публичное слушание. Определено, что для получения объективных данных по экологическому состоянию земель Павлодарской области, являющихся частью СИП или примыкающих к нему, параллельно с радиоэкологическим обследованием земель, необходима экологическая оценка звеньев более полной цепочки движения радионуклидов. Имеется в виду, что основной

путь проникновения радионуклидов в организм человека – это пищевой путь, и поэтому следует изучать и учитывать такие факторы, как:

- а) характер распределения радионуклидов в почве;
- б) уровень перехода радионуклидов из почвы в растение;
- в) условия применения специальной агротехники;
- г) возможность технологической переработки продуктов растениеводства;
- д) характер распределения радионуклидов в тканях млекопитающих и рыб.

Данные по каждому из вышеперечисленных факторов нуждаются в систематизации, анализе и пополнении. Важно изучение всех факторов применительно к условиям южной части Павлодарской области, и, в первую очередь, характер почв и распределение в них радионуклидов. Часть таких данных имеется. Например, в [2] приведена характеристика состава почв и степени обогащения радионуклидами различных гранулометрических и вещественных фракций в пробах, отобранных в Майском районе. В почвах выделено несколько фракций: песчаная тяжелая фракция, класс (+0,1 до - 1 мм); глинистая тяжелая фракция, класс (- 0,1 мм); песчаная легкая фракция, класс (+0,1 мм до - 1 мм); глинистая легкая фракция, класс (- 0,1 мм). В результате проведенных аналитических работ установлено, что:

- удельная активность изотопов ^{134}Cs , ^{60}Co и $^{152-154}\text{Eu}$ в почве не превышает 1-2 Бк/кг, т.е. находится на уровне следов;
- содержание естественных радионуклидов находится на уровне, соответствующем их кларковому содержанию в породах, т.е: уран - от $1,67 \cdot 10^{-4}\%$ до $4,49 \cdot 10^{-4}\%$; торий - от $5,25 \cdot 10^{-4}\%$ до $15,05 \cdot 10^{-4}\%$; калий - от 0,73% до 2,97%;
- удельная активность техногенных радионуклидов колеблется в следующих пределах: плутоний - (239+240) - от 1 Бк/кг до 99 Бк/кг; плутоний - 238 - от <0,5 Бк/кг до 9,7 Бк/кг; стронций - 90 - от 5 Бк/кг до 113 Бк/кг; цезий - 137 - от 14 Бк/кг до 155 Бк/кг.

Наиболее обогащенной техногенными радионуклидами оказалась легкая глинистая фракция. Подтвердился факт крайне неравномерного распределения плутония. Наличие на территории локальных участков с повышенным содержанием радионуклидов свидетельствует о том, что результаты точечного опробования не всегда могут служить объективным показателем экологического состояния почв. Поэтому, параллельно с радиологическим обследованием земель необходима экологическая

оценка качества продуктов растениеводства и животноводства как некоторого интегрированного показателя. К сожалению, исследования по изучению миграции радионуклидов из объектов природной среды в пищевую цепь, проведенные ранее [3, 4], недостаточны как для мест проведения ядерных испытаний, так и для прилегающих к полигону территорий. В [1] приведен пример оценки загрязнения продуктов животноводства и возможного годового поступления радионуклидов цезия, стронция и плутония в организм человека. Расчетные данные сопоставлялись с предельно допустимыми уровнями годового поступления различных радионуклидов. Полезно опробовать эту и, возможно, другие методики оценки рисков для проживания населения применительно к различным частям территории Павлодарской области на основе данных по загрязнению почвы и растительности. Однако представляет интерес оценка радиэкологических рисков по реальным данным специально организованной службы мониторинга. Эти работы позволят оценить экологическую опасность техногенных радионуклидов в депонирующих сельскохозяйственных объектах аграрной среды. Согласно требованиям действующих норм радиационной безопасности НРБ-99 [5] обеспечение радиационного контроля возложено на областные структуры санитарно-эпидемиологических станций. Однако, в связи с отсутствием необходимой материальной базы и недостаточностью финансирования, контроль за содержанием радионуклидов в продуктах питания осуществляется слабо. Отсюда, контроль за хозяйственной деятельностью требует специальных работ по паспортизации сельскохозяйственных угодий и животных фермерских хозяйств, по организации постоянного контроля (мониторинга) за состоянием объектов аграрной среды и качеством сельскохозяйственной продукции. В связи с тем, что полигон не имеет оградений, и к нему открыт доступ, параллельно с изучением радиационной обстановки в местах проведения ядерных испытаний, Национальному ядерному центру РК необходимо провести регламентирование хозяйственной деятельности в помощь местным органам для повышения безопасности жизнеобеспечения.

Таким образом, актуальность и необходимость выполнения программ с целью повышения радиэкологической безопасности на юге Павлодарской области является насущной задачей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьев О.И., Ахметов М.А., Птицкая Л.Д. Радионуклидное загрязнение территории бывшего Семипалатинского испытательного ядерного полигона//Радиозэкология. Охрана окружающей среды/Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2001. - Вып.3. - С. 12 - 19.
2. Гринштейн Ю.А., Сюсюра Б.Б. К вопросу радиэкологического картирования территорий бывших испытательных полигонов//Радиозэкология. Охрана окружающей среды/Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2001. - Вып.3. - С. 108-113.
3. Сейсебаев А.Т., Шеналь К., Бахтин М.М., Кадырова Н.Ж. Комплексный радиобиоэкологический мониторинг СИП: общий подход// Радиозэкология. Охрана окружающей среды/Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2001. - Вып.3. - С. 73 - 78.
4. Тулеубаев Б.А., Артемьев О.И., Сейсебаев А.Т. и др. Методические указания по наземному обследованию радиационной обстановки и радиэкологической агрооценке сельскохозяйственных угодий на территории бывшего СИП и прилегающих к нему регионов, 1998. – Курчатов.
5. Нормы радиационной опасности (НРБ-99), 1999. – М.: Минздрав России.

**СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНА ЖАНАСАТЫН ПАВЛОДАР
ОБЛЫСЫ АУМАҒЫНДА ТОПЫРАҚТАР МОНИТОРИНГІСІ**

¹⁾Түлеубаев Б.А., ²⁾Рамазанов Ж.Р., ³⁾Асқаров Е.В.

¹⁾*Павлодар университеті, Ғылыми-зерттеу экологиялық орталығы «Мониторинг», Павлодар, Қазақстан*

²⁾*Облыстық маслихатының экология жөніндегі тұрақты комиссиясы, Павлодар, Қазақстан*

³⁾*Павлодарской облысының Табиғатқорғау бағдарламаларының департаменті, Павлодар, Қазақстан*

Техногенді радионуклидтермен ластанған аумақтарын зерттеу мен ақтау проблемасы маңызды болып табылады және оның экономикалық, әлеуметтік және экологиялық аспектілері бар. Павлодар облысына бұл проблема нақты көршілігіне және Семей сынау полигонының бөлшегі оның аумағында орналасқанына байланысты көкейтесті болып табылады.

SOIL MONITORING IN PAVLODAR REGION ADJOINING TO SEMEY TEST SITE

¹⁾B.A. Tuleubayev, ²⁾Zh.R. Ramazanov, ³⁾E.V. Askarov

¹⁾*Pavlodar University, “Monitoring” Scientific-Research Ecology Center, Pavlodar, Kazakhstan*

²⁾*Standing Commission on Ecology of Region Administration, Pavlodar, Kazakhstan*

³⁾*Environmental Programs Department of Pavlodar Region, Pavlodar, Kazakhstan*

A problem of territory study and rehabilitation contaminated with man-caused radionuclides is an important task and it has economic, social, and ecology aspects. The problem is crucial for Pavlodar region due to real proximity and to partial location of Semey Test Site on its territory.

СПИСОК АВТОРОВ

- Мюрди Р., 94
Адаир К., 5
Азметов Р.Р., 148
Алексеев А.С., 154
Аскарлов Е.В., 193
Бакина З.П., 65
Белянин В.И., 190
Беляшов А.В., 94
Беляшова Н.Н., 5
Бреднев С.П., 65
Валле М., 177
Васильев А.П., 40, 46, 53, 59
Вергоз Д., 177
Габсатарова И.П., 20
Гвоздарев Ю.К., 94
Гилберт Д., 177
Глинский Б.М., 28, 154
Горбунова Э.М., 76, 82
Гордон В.Р., 165
Григорьев В.А., 148
Дроздов А.В., 94
Дубасов Ю.В., 125
Еманов А.А., 184
Еманов А.Ф., 28, 154
Жакупов С.Т., 190
Знаменщиков Б.П., 148
Иванченко Г.Н., 76
Казаринов Н.М., 131
Каплан Ю.В., 112
Кемерайт Р., 5
Кишкина С.Б., 169
Клименко С.М., 70
Ковалевский В.В., 28, 154
Комаров И.И., 5
Краев Ю.А., 20
Куанг Ф., 89
Кунаков А.В., 5
Ле Пишон А., 177
Лескова Е.В., 184
Лисейкин А.В., 160
Марченко В.Г., 5
Мац Н.А., 134
Михайлова Н.Н., 13
Московенко В.М., 148
Неведрова Н.Н., 141
Неделков А.И., 5
Политиков М.И., 94
Попов В.Ю., 128, 131
Попов Ю.С., 125
Преловский В.В., 125, 131
Рамазанов Ж.Р., 193
Родионов Ю.И., 35
Рыков Ю.М., 128
Сагарадзе Д.А., 94, 118
Седухина Г.Ф., 35
Селезнев В.С., 154
Синева З.И., 94
Синёва З.И., 13
Слепцов В.И., 65
Соловьев В.М., 28, 154, 160
Старовойт О.Е., 20
Степанов И.В., 134
Столяров О.А., 65
Тейнор Л., 5
Титов Д.В., 190
Тореев В.Ю., 94
Тулеубаев Б.А., 193
Улзибад М., 177
Фирсов В.А., 165
Хайкович И.М., 134
Хайретдинов М.С., 28, 35, 70
Червяков В.Б., 165
Шайторов В.Н., 94
Шелехова О.Х., 94
Шилина Г.В., 112
Эдомин В.И., 94
Эльтеков А.Ю., 65, 165
Эпов М.И., 141

В сборник включены статьи, отражающие содержание первой части докладов, представленных на третью Международную конференцию «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий» (09-13 августа 2004 г., Боровое, Казахстан), посвященную 10 летию создания Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи предоставляются в виде электронной (на гибком диске или по электронной почте присоединенным (attachment) файлом) в формате MS WORD и печатной копии.

Текст печатается на листах формата А4 (210×297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 25 мм; справа 15 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi).

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков.

Текст печатается через один интервал, между абзацами 2 интервала.

В левом верхнем углу должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами. Через 3 интервала после названия, печатаются фамилии, имена, отчества авторов и полное наименование, город и страна местонахождения организации, которую они представляют. После этого, отступив 3 интервала, печатается основной текст.

При написании статей необходимо придерживаться следующих требований:

- статья должна содержать аннотации на казахском, английском и русском языках (130-150 слов) с указанием названия статьи, фамилии, имени, отчества авторов и полного названия, города и страны местонахождения организации, которую они представляют;
- ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных [1] скобках по мере упоминания. Список литературы следует привести по ГОСТу;
- иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере или в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата А4. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка;
- математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation. Химические формулы и символы должны быть набраны при помощи инструментов Microsoft Word. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

К статье прилагаются следующие документы:

- рецензия высококвалифицированного специалиста (доктора наук) в соответствующей отрасли науки;
- выписка из протокола заседания кафедры или методического совета с рекомендацией к печати;
- на отдельном листе автор сообщает сведения о себе: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность, кафедра и указывает служебный и домашний телефоны, адрес электронной почты.

Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован. В конце статья должна быть подписана автором с указанием домашнего адреса и номеров служебного и домашнего телефонов, адрес электронной почты.

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

Ответственный секретарь к.ф.-м.н. М.К. Мукушева
тел. (095) 745-54-04, (322-51) 2-33-35, E-mail: MUKUSHEVA@NNC.KZ

Технический редактор А.Г. Кислухин
тел. (322-51) 2-33-33, E-mail: KISLUHIN@NNC.KZ

Адрес редакции: 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.

