ISSN 1729-7516

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 2(30), ИЮНЬ 2007

Издается с января 2000 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: к.х.н. АРТЕМЬЕВ О.И., д.т.н. БАЙГУРИН Ж.Д.,
БЕЛЯШОВА Н.Н., к.ф.-м.н. ВОЛКОВА Т.В. к.т.н. ГИЛЬМАНОВ Д.Г.,
д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р. – **заместитель главного редактора**,
д.г.-м.н. ЕРГАЛИЕВ Г.Х., к.б.н. КАДЫРОВА Н.Ж., к.ф.-м.н. КЕНЖИН Е.А.,
КОНОВАЛОВ В.Е., д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., к.ф.-м.н. МУКУШЕВА М.К., д.т.н. УМАНЕЦ В.Н.
д.б.н. ПАНИН М.С., к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е., к.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П. д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Ж.С.

ҚР ҰЯО Жаршысы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

2(30) ШЫҒАРЫМ, МАУСЫМ, 2007 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

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

ISSUE 2(30), JUNE 2007

Сообщаем Вам, что периодический научно-технический журнал "Вестник НЯЦ РК", решением Комитета по надзору и аттестации в сфере науки и образования включен в перечень изданий, рекомендованных для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций по физико-математическим наукам. В настоящее время редакция располагает возможностью быстрой публикации статей.

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НЯЦ РК: РАЗВИТИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ **5**
Беляшова Н.Н., Михайлова Н.Н.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ И ПРОДУКТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПО ДОГОВОРУ О ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕМ ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ РОССИИ **9**
Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В.

НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В РОССИИ **13**
Башилов И.П., Коновалов В.А. Николаев А.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА **19**
Шепелев О.М., Кунаков А.В.

ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ГЕОСФЕР ЗЕМЛИ НА ИНТЕРВАЛЕ 1961 – 1992 гг. **27**
Ан В.А., Годунова Л.Д., Каазик П.Б.

ИЗУЧЕНИЕ МИНУТНЫХ ГАРМОНИК СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ СЕТИ KNET **33**
Брагин В.Д., Колдыбаев Т.К., Сычева Н.А., Тарасенко Ю.Н.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЛН НА ОСНОВЕ СЕЙСМО-АКУСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ КАРЬЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В РАЙОНЕ СТАНЦИИ IS31-АКТЮБИНСК **38**
Еверс Л., Смирнов А.А., Аристова И.Л

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПОИСКЕ МЕСТА ПАДЕНИЯ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ДНЕПР» **44**
Михайлова Н.Н.

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИСТЕМАТИЧЕСКИХ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕРЕНИЙ СЛУЧАЙНОГО ПОТОКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ГРОЗОВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОНЧ-НЧ ДИАПАЗОНЕНА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ **49**
Орешин В.П., Знаменщиков Б.П.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПЕРМСКОЙ ОБЛАСТИ **58**
Уткин В.И., Рыбаков Е.,Н., Щапов В.А

МЕТОДЫ ВЫСОКОТОЧНОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ ИНСПЕКТИРОВАНИИ МЕСТ ПОДЗЕМНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ **64**
Каримов Ф.Х.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ: КВАЗИГРАДИЕНТНАЯ ГРАВИМЕТРИЯ **68**
Гвоздарев Ю.К.

К ВОПРОСУ О РАДИОАКТИВНОЙ И ГАЗООБРАЗНОЙ СУЩНОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОЯВЛЯЮЩЕЙСЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ АНОМАЛИИ В РАЙОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА **72**
Великанов А.Е.

РАДОН КАК ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ИНДИКАТОР ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ **80**
Уткин В.И., Юрков А.К., Косякин И.И

КАРТИРОВАНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ТЯНЬ-ШАНЯ ПО ПОГЛОЩЕНИЮ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН 90
Гордиенко Д. Д.

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ С РЕШЕНИЯМИ ТЕНЗОРА МОМЕНТА ЦЕНТРОИДА ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 96
Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

СЕЙСМИЧНОСТЬ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ 103
Маловичко А.А., Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Мехрюшев Д.Ю., Погода Э.В.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЯНЬ-ШАНЯ ПО ДАННЫМ АНАЛОГОВОЙ СЕТИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ IMS И NDC 108
Кальметьева З.А., Чеховская Р.А.

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЮГА КУЗБАССА 113
Еманов А.А., Еманов А.Ф., Кузнецов К.Г., Лескова Е.В., Новиков И.С., Сычёв И.В., Фатеев А.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРУНТОВЫЕ ОСНОВАНИЯ СТРОЙПЛОЩАДОК В РАЙОНЕ АШХАБАДА 128
Гаипов Б.Н.

ИЗ ИСТОРИИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ “БОРОВОЕ” 133
Васильев А.П.

УДК 550.34 (574):504.064.36(100)

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НЯЦ РК: РАЗВИТИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ

Беляшова Н.Н., Михайлова Н.Н.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

При поддержке международных организаций в Казахстане создана и успешно функционирует система мониторинга ядерных испытаний и землетрясений, являющаяся частью международных систем мониторинга. Приводятся хроника создания, краткая характеристика и перспективы развития и использования этой системы.

За последнее десятилетие в Казахстане создана новая современная система мониторинга ядерных взрывов и землетрясений, являющаяся неотъемлемой частью Международной системы мониторинга. Система включает в себя:

- сеть станций сейсмического мониторинга;
- станции инфразвукового мониторинга;
- Казахстанский национальный центр данных в г. Алматы;
- систему коммуникаций станций с национальными и Международными центрами данных.

Начало созданию системы было положено в 1994 г., когда в состав Национального ядерного центра Республики Казахстан были переданы станции службы специального контроля бывшего СССР, ставшие основой будущей сети. Ниже приведены основные даты становления системы наблюдений НЯЦ РК, находящейся под управлением Института геофизических исследований (ИГИ НЯЦ РК) (Таблица).

Создание современной высокотехнологичной системы мониторинга в столь короткие сроки было бы невозможно без тесной кооперации с целым рядом зарубежных и международных организаций. В числе основных партнеров ИГИ НЯЦ РК: Временный технический секретариат Организации ДВЗЯИ, Агентство прикладных технологий воздушных сил США (AFTAC), Американский национальный центр данных (US NDC), Международный консорциум сейсмологических институтов (IRIS), Ламонт–Дохертская Земная обсерватория Колумбийского Университета США (LDEO), Норвежский сейсмологический центр (NORSAR), Комиссариат по атомной энергии Франции (CEA\DASE).

На рисунке 1 представлена схема расположения станций, входящих с систему мониторинга НЯЦ РК.

Таблица. Хронология создания системы наблюдений НЯЦ РК

Годы	События
1994	Передача в НЯЦ РК станций Боровое, Курчатов, Маканчи, Актюбинск
1994	Размещение на территории Казахстана совместно с международным консорциумом IRIS широкополосных цифровых станций [1].
1994 – 1996	Установка в Казахстане 3-х станций системы IRIS/IDA и IRIS/GSN (Боровое, Курчатов, Маканчи) [1].
1996	Подписание Казахстаном Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), согласно которому на территории Казахстана запланировано создание 5 объектов Международной системы мониторинга (МСМ).
1997 – 2000	Установка по проекту К-63 Международного научно – технического центра 4-х широкополосных сейсмических станций в Боровом, Чкалово, Восточном, Зеренде [2].
1999	Открытие в г. Алматы Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации [3].
1999 – 2000	Строительство и ввод в эксплуатацию сейсмической группы первичной сети МСМ - PS23-Маканчи, MKAR (станция сертифицирована в январе 2002 г.) [4].
2000 – 2001	Строительство и ввод в эксплуатацию совместно с AFTAC (США) сейсмической группы Каратау, KKAR [4, 5].
2001 – 2002	Строительство и ввод в эксплуатацию сейсмической группы, запасной к первичной сети МСМ - AS057-Боровое, BVAR (станция сертифицирована в декабре 2002 г.) [6].
2001	Строительство и ввод в эксплуатацию инфразвуковой станции – IS3I-Актюбинск (станция сертифицирована в ноябре 2004 г.) [7].
2002 – 2003	Строительство и ввод в эксплуатацию совместно с AFTAC (США) сейсмической группы Акбулак, ABKAR [8].
2002 – 2004	Строительство и ввод в эксплуатацию 3-х компонентной сейсмической станции вспомогательной сети МСМ AS059-Актюбинск, AKTO (станция сертифицирована в ноябре 2005 г.)
2006	Строительство и ввод в эксплуатацию сейсмической группы вспомогательной сети МСМ - AS058- Курчатов, KUR (станция сертифицирована в ноябре 2006 г., но требуется завершение ее модернизации).

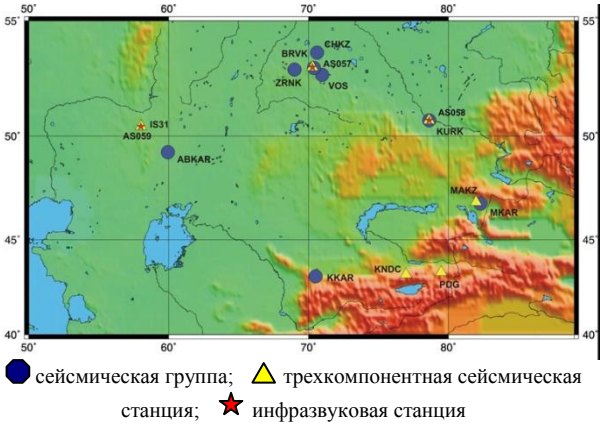


Рисунок 1. Схема расположения сейсмических и инфразвуковых станций НЯЦ РК

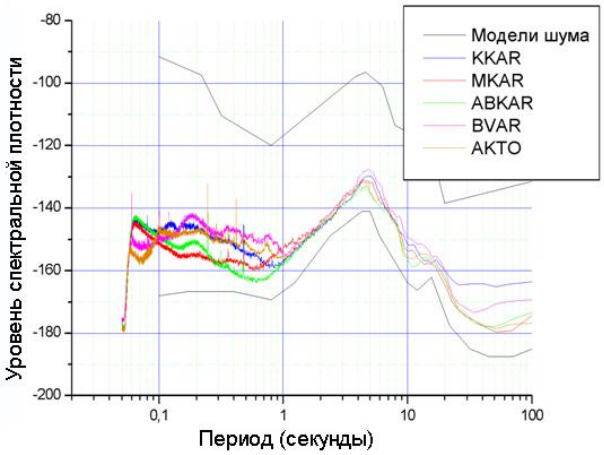
Всего в систему входят 8 сейсмических групп, 6 трехкомпонентных сейсмических станций и 3 инфразвуковые станции.

СИСТЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Созданная система сейсмического мониторинга характеризуется рядом особенностей относительно других сейсмических сетей, работающих в странах Центральной Азии. Во-первых, большинство станций НЯЦ РК являются сейсмическими группами, а не отдельными трехкомпонентными станциями. Во-вторых, станции расположены преимущественно по периметру территории Казахстана, а не сконцентрированы вблизи каких-либо отдельных сейсмоактивных районов. В-третьих, станции оснащены первоклассным скважинным оборудованием, обеспечено комплексирование в одной группе широкополосной и короткопериодной измерительной аппаратуры. В-четвертых, практически все станции передают данные в Центр в режиме реального времени. Места размещения станций выбирались по результатам специальных исследований, проведенных для выявления соответствия предполагаемых площадок ряду критериев по геологическим признакам и уровню сейсмических шумов [6, 9]. В результате все станции обладают достаточно высокой чувствительностью к обнаружению сигналов от региональных и телесейсмических событий. О высокой эффективности станций свидетельствуют модели сейсмического шума, рассчитанные для всех станций (рисунок 2).

Эмпирические спектральные кривые уровня шума по всем станциям на рисунке 2 сопоставлены с мировыми моделями шума [10]. Как видно, все кривые шумов станций НЯЦ РК тяготеют к нижнеуровневой модели шума.

Реализованный подход к выбору мест расположения станций и их аппаратурному оснащению позволил успешно использовать систему как в рамках национального, так и международного сейсмического мониторинга.



По оси ординат – 10 LOG M**2/S**4/Гц. Черные сплошные линии – верхне- и нижнеуровневые мировые модели шума по [10]

Рисунок 2. Спектральные кривые сейсмического шума станций НЯЦ РК

СТАНЦИЯ ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА IS31- АКТЮБИНСК

В советское время на территории Казахстана для целей ядерного мониторинга были созданы и долгое время функционировали две инфразвуковые станции – в Боровом и Курчатове. В настоящее время эти станции, хотя и продолжают работать, но требуют значительной модернизации. В рамках работ по созданию Международной системы мониторинга построена и открыта новая станция IS31 – Актюбинск. На рисунке 3 показана конфигурация этой станции, включающая 8 элементов – четыре высокочастотных (H_1-H_4) и четыре длиннопериодных (L1-L4). Станция регистрирует сигналы от широкого класса источников – карьерных взрывов, сильных землетрясений, пролетов ракет и др.

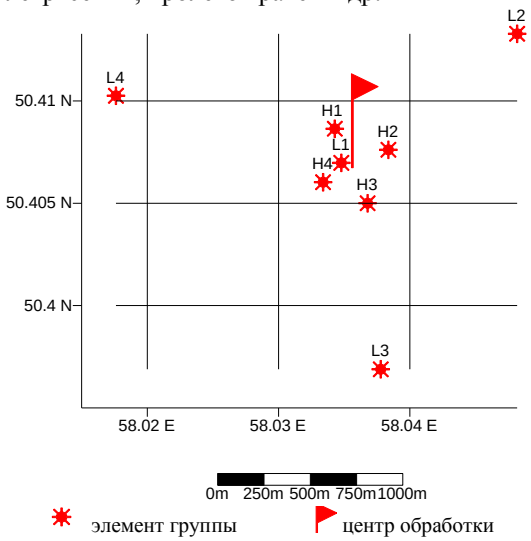


Рисунок 3. Схема расположения элементов инфразвуковой станции IS31-Актюбинск.

ЦЕНТР СБОРА И ОБРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Основными задачами Центра являются:

- сбор и передача данных со станций НЯЦ РК;
- обработка поступающих сейсмических и инфразвуковых данных;
- хранение и обмен данными с другими национальными и международными центрами;
- проведение научных исследований в поддержку мониторинга.

Центр данных оснащен компьютерным и коммуникационным оборудованием, обеспечивающим выполнение перечисленных задач. Данные со всех станций наблюдений поступают в режиме реального времени в объеме примерно 800 Мб за сутки и передаются в порядке обмена в другие организации в объеме 600 Мб в день. Создана и успешно работает автоматизированная система контроля за поступлением и передачей данных. Регулярно ведется расчет статистических параметров объема поступающих и передаваемых данных по каждой компоненте каждой станции. Все результаты заносятся в специальную базу данных, доступ к которой возможен через веб-сайт Центра данных.

В Центре организована круглосуточная работа специалистов - аналитиков. Ведется обработка данных в разных режимах оперативности. В Центре данных создаются следующие виды сейсмологических бюллетеней:

1. Автоматический сейсмологический бюллетень.
2. Оперативный интерактивный сейсмологический бюллетень.
3. Сводный оперативный сейсмологический бюллетень по данным ИГИ НЯЦ РК и СОМЭ МОН РК.
4. Каталоги землетрясений и взрывов (после распознавания источников).
5. Автоматический бюллетень инфразвуковых событий.

За год в пределах Центральной Азии регистрируется и обрабатывается 12 000 – 14 000 сейсмических событий. На рисунке 4 приведена карта эпицентров событий по данным интерактивного бюллетеня за 2006 г.

Информация по сейсмичности территории Казахстана и Центральной Азии используется для решения задач прогноза землетрясений и оценки сейсмической опасности.

Центр данных ведет большую работу по обмену данными с другими организациями и Центрами. Так, например, исходные сейсмические данные в режиме реального времени передаются в Международный центр данных в Вену, в Американский национальный центр данных во Флориду, в Центр международного консорциума IRIS. Автоматический сейсмологический бюллетень передается в Европейский средиземноморский центр (EMSC) в Париж (Франция). Заключительный интерактивный сейсмологический бюллетень поступает в Международный сейсмологический центр (ISC) в Англию; сводки по сильным землетрясениям мира передаются в Центр геофизической службы России в г. Обнинск. По запросу данными Центра пользуются специалисты разных стран. В то же время специалистам Центра ИГИ НЯЦ РК доступна любая информация, имеющаяся в Международных центрах данных, как непосредственно по исходным данным станций мира, так и по продуктам обработки. Это позволяет повысить эффективность научных разработок в области сейсмологии и ядерного мониторинга.

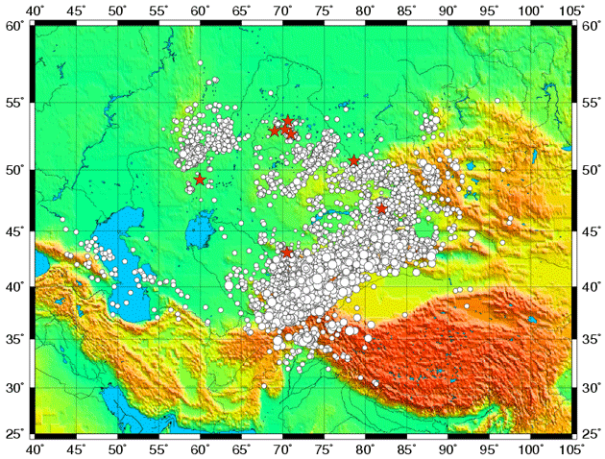


Рисунок 4. Эпицентры сейсмических событий по данным бюллетеня Центра данных ИГИ НЯЦ РК за период с 1 января по 31 декабря 2006 г. (всего 13 553 событий)

Система наблюдений требует как технического, так и методического развития. Для повышения точности локации эпицентра события и снижения магнитудного порога представительных землетрясений на территории Казахстана необходимо построить современную сейсмическую группу в Центральном Казахстане, предположительно в районе г. Жезказган. Желательно также открытие дополнительной трехкомпонентной станции в Западном Казахстане. Требуют модернизации большебазовая система в Боровом с тремя ее подгруппами Восточное, Чкалово, Зеренда, а также две инфразвуковые станции в Боровом и Курчатове. Важное направление - продолжение научно – методических работ по калибровке сейсмических групп и внедрению результатов калибровки в практику рутинной обработки.

Все это будет способствовать совершенствованию контроля за выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний в рамках Международной системы мониторинга, а также обеспечению сейсмической безопасности на территории Казахстана.

Литература

1. Беляшова, Н.Н. Сейсмологическая сеть Национального ядерного центра Республики Казахстан как составная часть Международной системы мониторинга ядерных испытаний / Н.Н. Беляшова, М.Н. Малахова // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 13 – 16.
2. Мониторинг за соблюдением Договора о всеобщем запрещении ядерных испытаний и мониторинг землетрясений в Казахстане (с 1 марта 1997 г. по 31 августа 2000 г.) / Заключительный технический отчет по проекту МНТЦ К-063-97 // Менеджер проекта Беляшова Н.Н. – Курчатов: Институт геофизических исследований НЯЦ РК. – 278 с.
3. Михайлова, Н.Н. Казахстанский Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации: функции, задачи, система телекоммуникаций, базы данных / Н.Н. Михайлова Н.Н. [и др.] // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2001. - Вып.2. – С. 21 – 26.
4. Варнум, Р. Б. Совместная программа мониторинга ядерных испытаний AFTAC – НЯЦ РК / Р.Б. Варнум // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2003. - Вып. 2. – С. 43 - 46.
5. Марченко, В.Г. Новая сейсмическая группа «Каратау» в Казахстане / В.Г. Марченко, А.И. Неделков, И.И. Комаров // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. – С. 9 – 13.
6. Синева, З.И. Обоснование апертуры новой сейсмической группы «Боровое» на основе корреляционного анализа сейсмических данных / З.И. Синева, Н.Н. Михайлова // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2001. - Вып.2. – С. 55 – 59.
7. Демин, В.Н. Новая инфразвуковая станция Международной системы мониторинга в Казахстане IS31-Актюбинск / В.Н. Демин, В.Г. Кунаков, А.А. Смирнов // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2002. – Вып. 2. – С. 14 – 18.
8. Тейнор, Л. Новая сейсмическая группа Акбулак: выбор места размещения, аппаратура, система коммуникаций / Л. Тейнор [и др.] // Вестник НЯЦ РК, 2004. – Вып.2 (18). – С. 5 – 12.
9. Неделков, А. И. Исследования по выбору площадок для новых сейсмических групп на территории Казахстана / А.И. Неделков // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2001. - Вып.2. – С. 48 - 54.
10. Peterson, J. Observations and modeling of seismic background noise. Albuquerque / J.Peterson // New Mexico, 1993.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ ЯДРОЛЫҚ СЫНАУЛАР МОНИТОРИНГІНІҢ ЖҮЙЕСІ: ДАМУЫ МЕН МҮМКІНШІЛІКТЕРІ

Беляшова Н.Н., Михайлова Н.Н.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Халықаралық ұйымдардың қолдауымен Қазақстанда, халықаралық мониторинг жүйесінің бөлшегі болып табылатын, ядролық сынаулар мен жерсілкінулер мониторингі жүйесі құрылып табысты іс-қимыл жасайды. Құру хроникасы, қысқаша сипаттамасы және геофизикалық мониторингтің бұл жүйесі дамуы мен пайдалану перспективалары келтірілген.

THE NNC RK NUCLEAR TEST MONITORING SYSTEM: EVOLUTION AND POTENTIAL

N.N. Belyashova, N.N. Mikhailova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Monitoring system of nuclear explosions and earthquakes in the framework of International Monitoring System (IMS) was established and successfully operates in Kazakhstan. This paper gives the information about the creation, a brief description and prospects of the development, and the using of this geophysical monitoring system.

УДК 550.34:621.039.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ И ПРОДУКТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПО ДОГОВОРУ О ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕМ ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В СЕЙСМИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ РОССИИ

Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В.

Геофизическая служба РАН, Обнинск, Россия

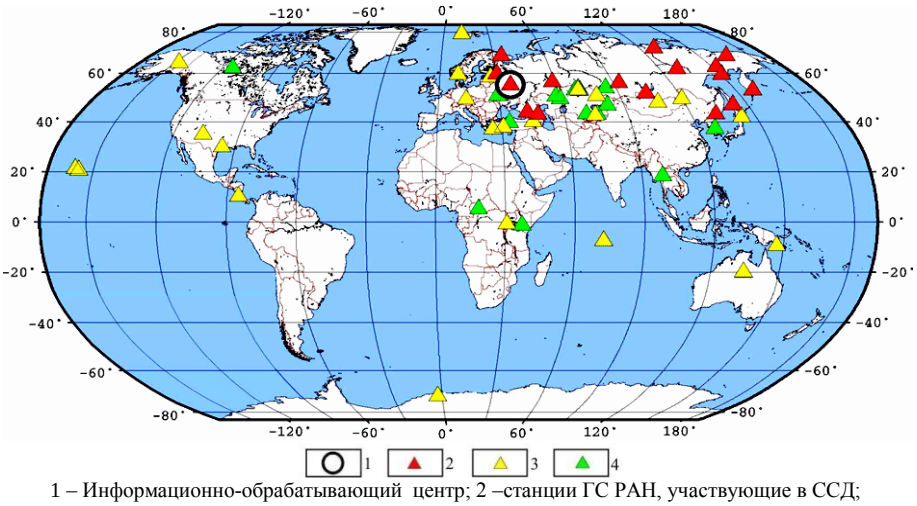
Представлен обзор использования Геофизической службой РАН данных и продуктов Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ) и Казахстанского национального центра данных (Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан) в сейсмическом мониторинге России и сопредельных территорий при различных режимах обработки информации.

Система, создаваемая Организацией по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ), включает в себя Международную систему мониторинга IMS (International Monitoring System) и Международный центр данных IDC (International Data Centre). IMS состоит из высокочувствительных и надежных в эксплуатации станций. Конфигурация сети предусматривает равномерное покрытие всего земного шара. IDC обладает высокотехнологичным техническим и программным обеспечением, позволяющим уверенно получать параметры эпицентров сейсмических событий, в том числе, на территории России практически с магнитудного уровня ≥ 4. Названные обстоятельства являются основополагающими для широкого использования этих данных в национальной сейсмической сети Российской академии наук, одной из основных задач которой является сейсмический мониторинг не только территории России, но и Северной Евразии.

Взаимодействие Геофизической службы РАН и ОДВЗЯИ за последние годы осуществляется в основном по трем направлениям:

1. Использование данных сети IMS и продуктов IDC в режиме Службы срочных донесений (ССД).
2. Использование данных REB (Reviewed event bulletin) IDC для уточненной обработки данных с выпуском оперативного сейсмологического бюллетеня.
3. Проведение детального анализа отдельных сейсмических событий со сбором дополнительных волновых форм и их обработкой.

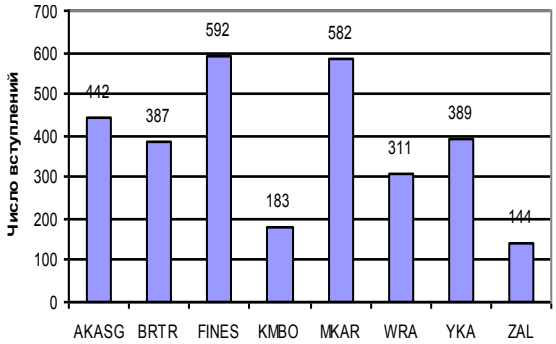
Применяемая в ССД ГС РАН технология определения параметров гипоцентров землетрясений основывается на непрерывном получении цифровых записей в режиме, близком к реальному времени, от 42 сейсмических станций, большая часть которых расположена на Евроазиатском континенте. Улучшение окружения эпицентра изучаемого события достигается в ССД за счет привлечения дополнительных данных отдельных сейсмических групп Международной системы мониторинга IMS и продуктов IDC, таких, например, как SLSD (Standard List of Signal Detections) и SEL1, SEL2 (Standard Event Lists). Расположение станций «виртуальной» сети, используемой в ССД, показано на рисунке 1.



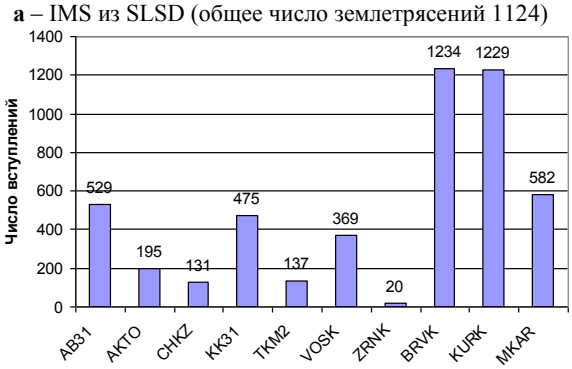
1 – Информационно-обрабатывающий центр; 2 –станции ГС РАН, участвующие в ССД;
3 –станции других сетей, участвующие в ССД; 4 –станции, данные по которым поступают в виде автоматически выделенных вступлений

Рисунок 1. Современная сейсмическая сеть станций, участвующих в работе Службы срочных донесений ГС РАН, в Информационно-обрабатывающем центре Обнинска

Как видно из рисунка 1, в ССД принимают участие следующие станции Международной сети сейсмического мониторинга ОДВЗЯИ (IMS): AKASG – Malin Array, Ukraine; BRTR - Keskin Short-Period Array, Turkey; BGCA- Bogoin, Central African Republic; CMAR-Chiang Mai Array, Tailand; FINES – FI-NESS Array, Finland; HIA- Hailar, China; KMBO- Kilimambogo, Kenya; KSAR- Wonju Array, South Korea; MKAR – Makanchi Array, Kazakhstan; WRA- Warramunga Array, Australia; YKA – Yellowknife Array, Canada; ZAL – Zalesovo, Russia. Только за первую половину 2006 г. они участвовали в определении параметров 72% землетрясений, прошедших обработку в ССД ГС РАН (рисунок 2а).



а – IMS из SLSD (общее число землетрясений 1124)



б – НЯЦ РК (общее число землетрясений 1250)
По оси абсцисс – наименование станций

Рисунок 2. Использование в первом полугодии 2006 г. в Службе срочных донесений ГС РАН данных станций

Наибольший информационный вклад в используемые данные вносят сейсмические станции FINES и MKAR, несколько уступает им по информативности станция AKASG.

В последние годы сложились тесные отношения ССД ГС РАН с Казахстанским национальным центром данных (ЦСОССИ ИГИ НЯЦ РК), получающим информацию в режиме реального времени от нескольких высокочувствительных сейсмических групп, созданных в составе сети станций Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК). Так как сеть Геофизической службы РАН не имеет в своем составе сейсмических групп аналогичного класса, то эти данные играют большую роль при выявлении сейсмических событий на Восточно-Европейской платформе, Урале, Западно-Сибирской платформе, в Алтае-Саянском регионе, в других регионах России и Северной Евразии. Для определения 80% землетрясений используются данные хотя бы одной из станций сети НЯЦ РК, а наиболее часто - данные станций Боровое (BRVK) и Курчатов (KURK) - рисунок 2 б.

Использование современных технологий сбора, обработки сейсмологической информации и данных цифровых станций в режиме, близком к реальному времени, а также внедрение автоматического определения координат эпицентров с последующим анализом его специалистом - геофизиком, привело к значительному росту числа событий, локализуемых в Службе срочных донесений (рисунок 3).

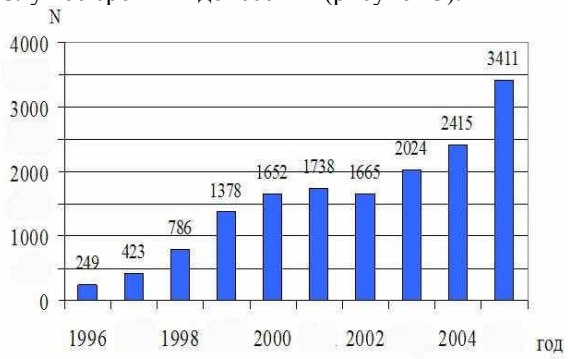
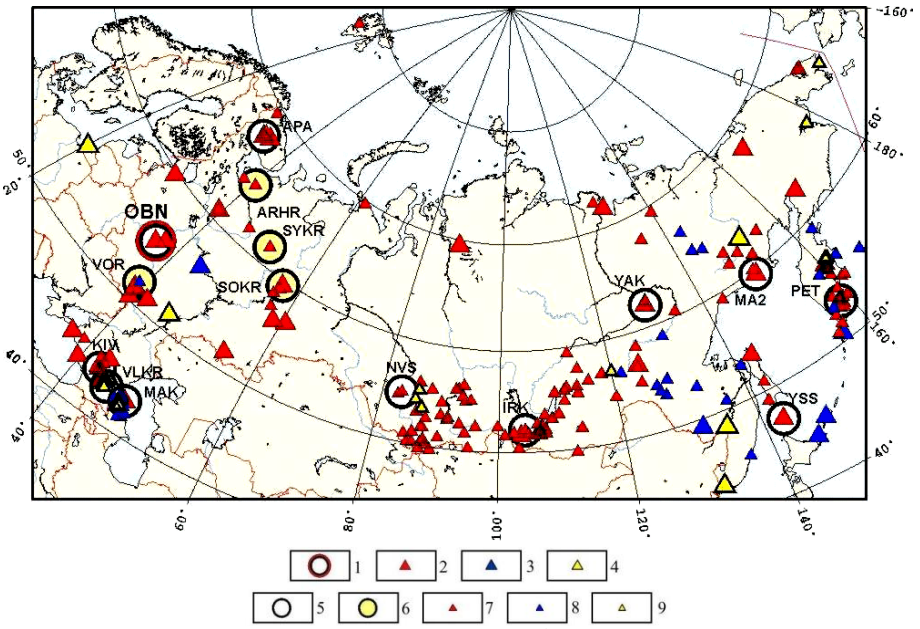


Рисунок 3. Рост числа землетрясений (N), обработанных Службой срочных донесений в 1996 - 2005 гг.

Как видно из рисунка 3, число землетрясений, обработанных в ССД, за последние 10 лет увеличилось более, чем в 10 раз, за последние 5 лет – более, чем в 2 раза. Несомненно, большой вклад в эту динамику вносит устойчивый обмен данными по станциям IMS и НЯЦ РК. Сведения от сетей станций, обслуживаемых этими центрами, особенно необходимы для определения координат землетрясений на территории Средне-Азиатских государств, которая является высокосейсмичной. В ряде случаев, данные станций НЯЦ РК преобладают при локации, или же их участие существенно улучшает окружение выявляемого эпицентра, а, соответственно, и качество определения эпицентра в изучаемой зоне.

В режиме составления оперативного бюллетеня среди участвующих информационных потоков широко используются данные REB (Reviewed Event Bulletin) IDC. В Оперативных сейсмологических каталогах и бюллетенях помещаются основные параметры землетрясений, произошедших на территории России с M≥4,0(±0,3), Северной Евразии с M>4,5(±0,3) и остальной территории мира с M>5,5 (±0,3), которые рассчитываются по данным более чем 5-ти станций используемой сети наблюдений. В 2005 – 2006 гг. при составлении Оперативного сейсмологического каталога и бюллетеня использовались данные 58 телесейсмических станций России и СНГ и 125 региональных станций России и СНГ, а также от 10 до 70 (для отдельных наиболее значительных событий) станций IMS из REB. Современное состояние сети ГС РАН показано на рисунке 4.



1 – Информационно-обрабатывающий центр ГС РАН; 2 – телесейсмические цифровые станции; 3 – телесейсмические аналоговые станции; 4 – телесейсмические цифровые станции, открытые в 2005г. 5 – региональные информационно-обрабатывающие центры; 6 – локальные цифровые станции; 7 – региональные цифровые станции; 8 – региональные аналоговые станции; 9 – региональные цифровые станции, открытые в 2005 г.

Рисунок 4. Сейсмическая сеть ГС РАН (по состоянию на конец 2005 г.)

Особенно важно использование данных REB для событий, происходящих в Арктике, северных и северо-восточных частях России, где сейсмическая сеть ГС РАН наиболее редка, а высокочувствительные сейсмические микрогруппы, расположенные на территории Скандинавских государств, Канады и Соединенных Штатов Америки, фиксируют здесь землетрясения, начиная с магнитуды примерно 4. Роль REB была велика, например, при локации ощутимых событий в районе Чукотской автономной области, сильнейшее из которых произошло 9 декабря 2002 г. и имело магнитуду M = 4.2. В это время там не было ни одной станции, и только в дальнейшем Магаданский филиал ГС РАН установил сначала временную сеть, а затем стационарную станцию.

Большое значение данные REB имеют для локации эпицентров афтершоковых последовательностей сильнейших землетрясений Евразии. Так, например, эти данные оказались важными для Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г. с Mw=7.6. При сборе информации для дальнейших исследований в этой зоне, характеризующейся крайне редкой сетью сейсмических станций, за основу был взят каталог афтершоков Олюторского землетрясения по данным ССД ГС РАН, регионального центра Камчатского филиала ГС РАН и REB. В Оперативном сейсмологическом каталоге и бюллетене были определены параметры 269 афтершоков с M≥4,0 (±0,3), произошедших за период 20 - 30 апреля 2006 г. (рисунок 5).

Конфигурация облака афтершоков (рисунок 5б) хорошо согласуется с данными обследования геолого-тектонической обстановки и разрушительных эффектов в эпицентральной зоне этого землетрясения, выполненного сотрудниками Института Физики Земли РАН и ГС РАН в ближайшие дни после основного толчка. Для отдельных уникальных сейсмических событий, произошедших в районах с редкой сетью ГС РАН, в рамках проводимых детальных исследований, из внешней архивной базы волновых форм IDC запрашиваются фрагменты волновых форм, зарегистрированных станциями первичной и вторичной сети IMS, и производится их обработка. В таких случаях для анализа записей сейсмических минигрупп используется программное обеспечение GEOTOOL, предоставленное IDC. Используемый подход позволяет уточнять параметры слабых, но ощутимых событий на Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформах, примерами которых являются Тюкалинское землетрясение 13 февраля 2003 г. в Омской области и землетрясение в Донбассе, на границе Украины и России, 11 мая 2004 г., когда без продуктов Казахстанского национального центра данных невозможно было определить параметры гипоцентра.

Таким образом, широкое использование данных и продуктов Организации по ДВЗЯИ и Казахстанского национального центра данных в сейсмическом мониторинге России и сопредельных территорий позволяет расширить информативность сейсмологических изданий Геофизической службы РАН и улучшать качество определения параметров землетрясений.

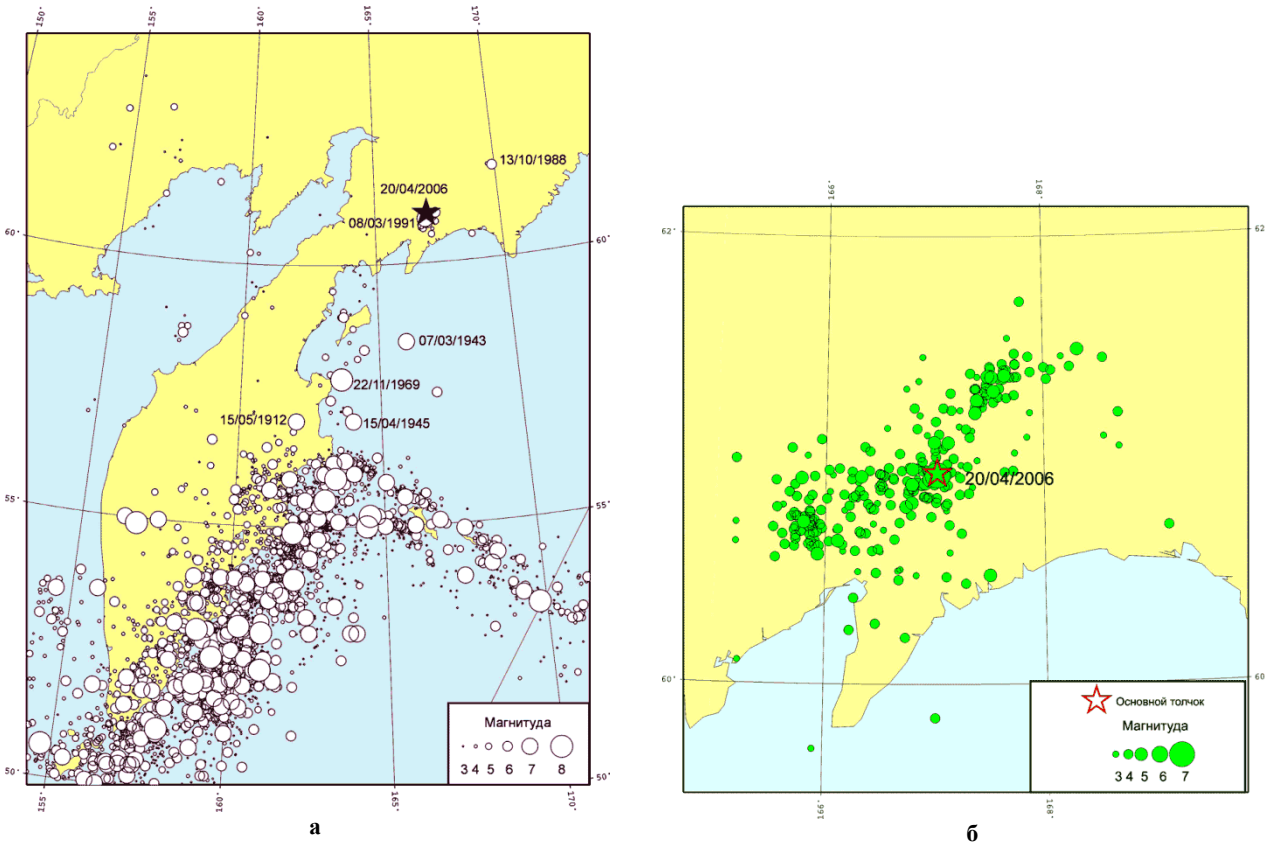


Рисунок 5. Сейсмичность Камчатского региона по данным оперативного сейсмологического бюллетеня ГС РАН (а) и распределение афтершоков Олюторского землетрясения 20 апреля 2006 г. по данным REB за апрель 2006 г. (б)

ЯСБТШ БОЙЫНША ҰЙЫМЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІ МЕН ӨНІМДЕРІН РЕСЕЙДЕГІ СЕЙСМИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГІНДЕ ПАЙДАЛАНУ

Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В.

РҒА Геофизикалық қызметі, Обнинск, Ресей

Ядролық сынауларына бәрін сыйдыратын тыйым салу туралы шарты бойынша Ұйымының және Қазақстан ұлттық деректер орталығының (Қазақстан Республикасының ұлттық ядролық орталығындағы Геофизикалық зерттеулер институтының Арнаулы сейсмикалық ақпаратын жинау және өңдеу орталығы) деректері мен өнімдерін, ақпартты өңдеу әр бір режимінде, Ресей және жанасқан аумақтарының сейсмикалық мониторингінде пайдалануының шолуы ұсынылған.

USING CTBTO DATA AND PRODUCTS FOR SEISMIC MONITORING IN RUSSIA

O.E. Starovoit, I.P. Gabsatarova, M.V. Kolomiets

Geophysical Survey Russian Academy of Science, Obninsk, Russia

The paper gives a review for using Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization data and products and Kazakhstan National Data Center IGR NNC RK data in seismic monitoring of Russian and border territories by Geophysical Survey Russian Academy of Sciences.

УДК 550.34:621.039.9

НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В РОССИИ

[1]Башилов И.П., [1]Коновалов В.А., [2]Николаев А.В.

[1]КБ «Геофизприбор» РАН, Москва, Россия
[2]Институт физики Земли РАН, Москва, Россия

Рассматривается ряд перспектив развития геофизической аппаратуры, разработанной в КБ «Геофизприбор» РАН до 2003 г., и ее применения в наблюдательных геофизических системах.

Конструкторское бюро «Геофизприбор» Российской академии наук (бывшее ОКБ ИФЗ РАН), созданное более 40 лет тому назад, занималось разработкой, конструированием и выпуском геофизических приборов и систем под непосредственным руководством создателя Конструкторского бюро академика М.А. Садовского и являлось ведущей организацией в этой области. Приборы и системы, разработанные в тесном сотрудничестве с представителями фундаментальных наук РАН, Министерства обороны и Минсредмаш'а, в свое время внесли существенный вклад в обеспечение безопасности СССР. Они составили основу систем обнаружения подземных ядерных взрывов, активно использовались в исследовательских комплексах на полигонах Семипалатинска, Новой Земли, Капустина Яра и др. При незначительных модификациях приборы и системы успешно применялись для научных исследований в области прогноза землетрясений и для контроля окружающей среды. Практически эти разработки обеспечили развитие цифровой сейсмологии в стране. В проведенных работах особенно велика была роль уникальной исследовательской обсерватории «Боровое» Института физики Земли РАН, созданной и работавшей как Спецсектор Института физики Земли под руководством Кевлишвили П.В., а также КБ и его директора Воробьева Б.Т. [1]. В обсерватории проводились широкомасштабные исследования геофизических приборов и систем, получены уникальные цифровые сейсмограммы, обеспечившие контроль за проведением ядерных взрывов на различных полигонах мира. Некоторые результаты исследований актуальны сегодня и активно используются, в частности, при создании новых малоапертурных сейсмических групп, а также при метрологическом обеспечении сейсмологии в России. Ряд приборов, изготовленных в КБ, обладают уникальными характеристиками и до сего времени успешно используются в обсерватории.

В постсоветское время работы по развитию обсерватории «Боровое» и созданию систем сейсмических наблюдений в интересах контроля за соблюдением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) успешно выполняются Институтом геофизических исследований НЯЦ РК с привлечением американских специалистов и их технологий [2]. Российские специалисты, имеющие большой практический опыт и уникальную аппаратуру, не уступающую по основным характеристикам зарубежным образцам, к этим работам не привлечены [3]. Представляется, что новые российские приборно-методические разработки будут востребованы в Казахстане при создании сейсмических систем контроля за соблюдением ДВЗЯИ.

В последние годы, в связи с ликвидацией КБ «Геофизприбор» РАН, разработка и изготовление геофизической аппаратуры переданы в Институт физики Земли (ИФЗ) РАН. В новых условиях аппаратурные разработки нацелены на сохранение и развитие лучших традиций отечественного геофизического приборостроения, использование долговременного опыта КБ «Геофизприбор» в сочетании с новыми технологиями, объединение усилий приборостроителей-геофизиков ИФЗ РАН, промышленных предприятий и частных компаний. При этом основной акцент делается на совершенствование и улучшение основных технических характеристик, в первую очередь, сейсмических датчиков, а именно:

- снижение уровня собственного шума сейсмических каналов. Это позволяет повысить чувствительность приборов, снизить уровень нелинейных искажений, увеличить динамический диапазон регистрации и, таким образом, значительно расширить область применения сейсмических каналов, включая использование в системах группирования;
- повышение долговременной стабильности приборов, уменьшение чувствительности прибора к изменению температуры, влажности, атмосферного давления, снижение энергопотребления. Это позволяет осуществлять сейсмический мониторинг при затрудненном доступе к прибору (скважины, цементированные скважины, дно акваторий и др.);
- расширение частотного диапазона от единиц миллигерц до сотни герц. Это позволяет исследовать высокочастотные сигналы, порожденные микроземлетрясениями, сейсмоакустической эмиссией и нелинейной трансформацией сигналов, а также исследовать низкочастотные сигналы, связанные с "тихими" землетрясениями, собственными колебаниями Земли, земными приливами и характерными сейсмогравитационными волнами, иногда возникающими перед сильнейшими землетрясениями;
- совершенствование конструктивных особенностей прибора и решение вопросов использования сейсмических модулей в скважинных и донных применениях.

Предусматривается совершенствование методов метрологической поверки сейсмических датчиков, автоматического контроля их характеристик в процессе

эксплуатации, сквозной калибровки систем регистрации, а также методов аттестации сейсмических станций (пунктов наблюдений). Значение этой задачи в системе контроля по ДВЗЯИ возрастает в связи с возможным проведением ядерных испытаний малой и сверхмалой мощности. Что касается систем регистрации, то при их создании широко используются мировой электронный и компьютерный рынок и отечественные оригинальные разработки с использованием новых технологий. Комплексирование этих компонент с оригинальными геофизическими датчиками и специализированным программным обеспечением позволяет создавать геофизические комплексы современного уровня, способные обеспечивать:

- долговременную регистрацию и накопление данных, первичную обработку и оперативный доступ к полученной информации для экспресс-обработки;
- точную привязку к системе GPS, сквозную калибровку и контроль работы системы, а также подключение к стандартным каналам передачи данных.

В настоящее время в практике организации сейсмических наблюдений для научных и прикладных задач, в том числе для ряда работ в обеспечение ДВЗЯИ, в России активно используется два типа сейсмических станций, разработанных и изготовленных в КБ:

- Многоцелевая сейсмическая станция «СМС» для стационарных сейсмических наблюдений.
- Портативная сейсмическая станция «Экспресс-4» для выполнения оперативных работ и временных сейсмических наблюдений.

Многоцелевая сейсмическая станция «СМС»

В состав многоцелевой сейсмической станции «СМС» входят (рисунок 1а): 1 - сейсмоприемник типа СМ-3КВ.1 (3 шт.); 2 - сейсмоприемник типа СМ-3.1 (3 шт.); 3 - трехкомпонентный сейсмоприемник типа ТС-5.2 (1 шт.); 4 - блок сопряжения БС3 (2 шт.); 5 - устройство привязки к системе точного времени (GPS); 9 - резервная ПЭВМ (для наладочных работ); 10 - двухмашинный регистратор на базе ПЭВМ.

Основные технические характеристики сейсмической станции «СМС» даны в таблице.

а – общий вид

б – система регистрации «СМС»

Рисунок 1. Станции «СМС» и «Экспресс-4»

Таблица. Основные технические характеристики сейсмических станций «СМС» и «Экспресс-4»

Параметр	Значение параметра	
	Станция многоцелевая сейсмическая «СМС»	Станция «Экспресс-4»
Число каналов регистрации	до 16	до 6
Диапазон частот регистрируемых сигналов; Гц	0, 003 ÷ 100	0, 003 ÷ 100
Диапазон изменения коэффициента преобразования каналов; ступенями	1; 2; 4; 8; 16; 32; 64	1; 2; 4; 8; 16; 32; 64
Разрядность преобразования; разрядов	16	16 (24)
Частота квантования входного сигнала (на канал); Гц	до 500	до 1000
Режим регистрации	Непрерывный, триггерный, по регламенту, комбинированный (по регламенту + триггерный)	Непрерывный, триггерный, по регламенту, комбинированный (по регламенту + триггерный)
Тип алгоритма триггерного режима	LTA / STA	LTA / STA
Тип ПЭВМ	Pentium 1	Notebook
Система временной привязки	GPS	GPS
Калибровка	Сквозная – синусоидальным сигналом	Сквозная – синусоидальным сигналом
Максимальное удаление сейсмоприемников от регистратора(по длине кабеля); м	до 1000	до 1000
Электропитание: напряжение; В	от сети ~220 ±10 %	от сети ~220 ±10 % от аккумулятора – 12

Функционирование «СМС» обеспечивает специальный пакет программ регистрации и управления. Станция имеет унифицированное ядра по сбору и обработке информации на основе качественно новых компонент электронной и компьютерной технологии широкого пользования. Программно-аппаратные возможности позволяют использовать станцию для решения широкого круга задач, адаптация к решению которых осуществляется путем подбора типа, количества сейсмических датчиков и пакета программ обработки результатов. При этом само унифицированное ядро станции не меняется.

Сейсмические каналы

Необходимость высокоточных измерений при большом частотном и динамическом диапазоне сейсмических сигналов делает сейсмические каналы наиболее сложным, трудоемким и дорогостоящим элементом всей системы сейсмической регистрации. Их частотный состав не позволяет создать универсальный сейсмоприемник для работы во всем возможном диапазоне частот. Поэтому в состав станции входят три группы сейсмических каналов на основе трех типов сейсмоприемников, состав которых может быть изменен и увеличен до 16:

- Широкополосный велосиметр СМ-3.1 с частотным диапазоном 0.01 ÷ 30 Гц;
- Короткопериодный велосиметр СМ-3КВ.1 с частотным диапазоном 0.5 ÷ 100 Гц;
- Акселерометр ТС-5.2 с частотным диапазоном 0.006 ÷ 20 Гц.

Все приборы являются приборами маятникового типа. Они скомпонованы в виде трехкомпонентных установок, которые работают по классической ортогональной схеме с направлениями осей чувствительности Z, N-S и E-W. Формирование частотных характеристик сейсмических каналов обеспечивается с помощью блоков сопряжения БС3, которые принимают парафазные сигналы от сейсмоприемников, обеспечивая, в случае необходимости, дополнительное усиление сигнала. Усиление производится ступенями в 2, 4, 8, 16, 32 и 64 раза и задается вручную при установке датчиков на местах регистрации. Кроме того, через блок сопряжения обеспечивается передача напряжений питания и сигналов калибровки к сейсмоприемникам от внешнего или внутреннего калибратора, при этом внутренний сигнал калибровки формируется регистратором программно-аппаратно.

Широкополосные сейсмические каналы на основе велосиметров типа СМ-3.1 обеспечивают регистрацию сейсмических сигналов в динамическом диапазоне до 150 дБ (на 2 Гц) практически всех типов объёмных и поверхностных волн сейсмических источников с магнитудой 5 и более на расстояниях до 90о, поэтому полученная информация может быть использована для решения большинства фундаментальных и прикладных задач сейсмологии. Однако датчики этого типа, оснащённые емкостным преобразователем взаимного перемещения инерционной массы и основания в электрическое напряжение, обладают повышенным шумом, по сравнению с электродинамическими преобразователями, на частотах, более нескольких герц, что ухудшает их разрешающую способность в этой области рабочего диапазона частот, в связи с чем, введены короткопериодные каналы.

Короткопериодные каналы на основе сейсмоприемников типа СМ-3КВ.1 с электродинамическими преобразователями предназначены для обнаружения слабых сигналов, в первую очередь, от подземных ядерных взрывов малой мощности, а также для регистрации региональных и телесейсмических сигналов в высокочастотном "окне прозрачности" Земли, т.е. на частотах 35 ÷ 40 Гц. В этом частотном диапазоне мощность сейсмических шумов имеет минимум, поэтому сигналы от источников возмущения, особенно располагающихся в областях выходов кристаллических пород, могут быть зарегистрированы на значительном удалении.

Каналы на основе акселерометра ТС-5.2 предназначены, в первую очередь, для решения задач, связанных с изучением сильных движений поверхности Земли. Максимальное регистрируемое ими ускорение составляет 1g, а при жёсткой фиксации приборов на месте установки оно может достигать 1,3 g. Динамический диапазон этих приборов составляет более 150 дБ, поэтому они могут регистрировать сигналы и от довольно слабых источников в эпицентральной и региональной зонах.

В отдельных случаях в состав станции может быть включен комплект широкополосных сейсмоприемников типа КСЭШ-Р, который обеспечивает регистрацию сейсмических сигналов в полосе частот от 0,0028 до 10 Гц в режиме сейсмометра или велосиметра, что позволяет при высокой стабильности параметров прибора наблюдать и за различными сейсмическими источниками – местными, региональными и удаленными, - и за медленными колебаниями земной поверхности, а также изменениями поля гравитации. Отличительной особенностью сейсмоприемников КСЭШ-Р является применение сложной системы обратной связи для формирования их амплитудно-частотных характеристик. Сейсмоприемники КСЭШ-Р являются аналогом хорошо известного сейсмоприемника STS-1 (Streckeisen, Швейцария), их основные параметры совпадают. Тем не менее, по ряду технических характеристик КСЭШ-Р превосходит STS-1, например, сейсмометры STS-1 имеют максимальный механический период 12 ÷ 15 с, а КСЭШ-Р - 30 с. Кроме того, КСЭШ-Р имеет более простую процедуру установки и значительно дешевле [3].

Система цифровой регистрации

Система регистрации представляет локальную вычислительную сеть на основе двух персональных компьютеров ПЭВМ типа IBM PC конфигурации не ниже Pentium 1, объединенных с использованием специальных сетевых адаптеров «ИОЛА-25» со ско-

ростью передачи 25 Мб/сек и работающих под управлением специального программного обеспечения в оболочке Windows 98. Общий вид системы регистрации приведен на рисунке 1б. Многоканальное цифровое преобразование входных аналоговых сигналов от сейсмических каналов (до 16 каналов) обеспечивается благодаря специальному контроллеру фирмы L-Card типа L1610 (16 разрядов) или L1450 (14 разрядов). Эти контроллеры используются также при формировании сигналов сквозной калибровки каналов.

Первый персональный компьютер производит прием и регистрацию большого объема цифровых сейсмических данных на жесткий диск (HD), который в этом случае используется как кольцевой буфер, обеспечивающий сохранность данных до 13 ÷ 40 суток, что важно при решении задач мониторинга. При записи данных на HD автоматически ведется контроль работы станции, при обнаружении сбоев в соответствующий блок файла заносятся специальные отметки. Для сквозной калибровки каналов по команде оператора с пульта ПВЭМ программно-аппаратно в калибровочную катушку соответствующего сейсмоприемника подается калибровочный сигнал с заданными параметрами. Зарегистрированный отклик канала обрабатывается, производится расчет коэффициента калибровки, который сравнивается с табличным значением. Если разница между двумя значениями не превышает заданного предела, на экран выдается сообщение «канал исправен»; в противном случае выдается сообщение «канал неисправен», сопровождаемое звуковым сигналом.

Второй персональный компьютер ПВЭМ 2 используется для отбора соответствующих событий, их оперативной обработки и вызгрузки памяти на HD ПВЭМ1. Система временной привязки обеспечивается с помощью специального приемника GPS, подключенного к каналу USB ПЭВМ 1. Выход в канал для оперативной связи с центром может быть обеспечен с помощью стандартного модема и выделенного канала связи. Пакет программ предварительной обработки производит не только контроль работы станции и калибровку каналов, но и дает возможность просмотра и выборки отдельных фрагментов записи и перекодировки данных в код ASCII для их последующей обработки стандартным программным пакетом применительно к конкретной решаемой задаче.

Портативная сейсмическая станция «Экспресс-4»

Общий вид портативной сейсмической станции «Экспресс-4» приведен на рисунках 1а, 2. В состав станции входят (рисунок 1а): 6 - регистратор; 7 - сейсмоприемник типа СМ-3КВ.2 (3 шт.); 8 - трехкомпонентный сейсмоприемник типа ТС-5.2. Основные технические характеристики станции даны в таблице. Структурное построение станции «Экспресс-4» подобно построению станции «СМС». Обеспечивается цифровая регистрация данных, поступающих от 6-ти сейсмических каналов. Тип используемых сейсмоприемников определяется областью применения станции. Многоканальное цифровое преобразование сейсмических сигналов обеспечивается с помощью специального контроллера типа DAG-516 (16 разрядов) фирмы National Instruments или E-24 (24 разряда) фирмы L-Card. В случае использования E-24 число каналов регистрации сокращается до четырех. В качестве цифрового регистратора используется портативный компьютер Notebook. Временная привязка сигналов обеспечивается через канал USB с помощью приемника GPS, выполненного в виде отдельного блока или встроенного в конструкцию регистратора. Сигналы калибровки формируются программно-аппаратно с использованием специального формирователя калибровочного сигнала и по соответствующей команде подаются в калибровочную катушку сейсмоприемника.

Рисунок 2. Общий вид портативной сейсмической станции «Экспресс-4»

Станция работает под управлением специального программного пакета в оболочке Windows 98, обеспечивающего все необходимые процедуры формирования файлов с записью временных отметок, калибровки, контроля работы станции и просмотра результатов регистрации.

Некоторые примеры практического использования сейсмических станций

Сейсмические станции «СМС» и «Экпресс-4» применяются в практике научных исследований Института геоэкологии РАН и при решении целого ряда прикладных задач в различных отраслях, таких, как обеспечение безопасности эксплуатации важных объектов атомной промышленности (рисунок 3), РАО ЕС (рисунок 4), в геологии и горной промышленности (рисунок 5), при сейсмическом контроле мегаполисов, а также в работах Министерства обороны РФ (рисунок 6). Станции успешно эксплуатируются также в сейсмической службе Индии.

Для контроля глубинного захоронения радиоактивных отходов на объекте Научно-исследовательского института атомных реакторов в г. Димитровград установлена локальная сейсмическая группа на

основе «СМС» с числом сейсмических каналов –12 (9 - короткопериодных, 3 - длиннопериодных) и с базой около 2 км. Аналогичная локальная сейсмическая группа эксплуатируется на полигоне «Северный» Горно-химического комбината, г. Железногорск.

В системе РАО ЕС для обеспечения сейсмического контроля крупнейшего сооружения Зейской ГЭС используется локальная сейсмическая сеть на основе многоцелевой сейсмической станции «СМС» с числом сейсмических каналов – 15 (короткопериодных). Аналогичная аппаратура установлена на Зеленчукской ГЭС (рисунок 4).

Портативная станция «Экпресс-4» успешно используется в горной промышленности при работах, проводимых Красноярским НИИ геологии и минерального сырья, а также рядом геологических организаций «Стройтрансгаза» (рисунок 5) и Республики Татария.

а – установка станции для испытаний

б – регистратор

Рисунок 3. «СМС» на станции «Черемушки» Алтае-Саянской опытно-методической экспедиции СО РАН

а – аппаратная

б – наблюдательный пункт

Рисунок 4. Зеленчукская ГЭС

Рисунок 5. Полевые работы в Иркутской области

Рисунок 6. Заведующий наблюдательной станцией “Сочи” Хантаев А.М. при регистрации калибровочного взрыва

Сейсмостанция «Экпресс-4» использовалась для сейсмического контроля отдельных районов и промышленных предприятий г. Москвы, а также для исследования техногенного воздействия крупных ГЭС на прилегающие территории, жилые массивы и сооружения в г. Тольятти. В результате проведенных работ получены уникальные экспериментальные данные.

Сейсмические станции успешно использованы специалистами Министерства обороны РФ в работах по выбору мест размещения сейсмических групп при обеспечении контроля по Договору о всеобщем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), а также для регистрации калибровочных взрывов, проведенных Институтом геофизики Израиля в Мертвом море в ноябре 1999 г. (рисунок 6).

В рамках Правительственного соглашения и в соответствии с Комплексной долгосрочной программой научно-технического сотрудничества между Россией и Республикой Индия по одному комплекту сейсмических станций «СМС» и «Экспресс-4» в 2001 г. установлено и введено в эксплуатацию в сейсмологической обсерватории «Ридж» (Индия). Со стороны Индии (Индийский метеорологический департамент) дана высокая оценка работе этих станций и заказано еще партия подобных станций.

Приведенные примеры подтверждают высокие эксплуатационные характеристики российского сейсмического оборудования, разработанного КБ «Геофизприбор» РАН, и целесообразность его дальнейшего развития и более широкого применения как для научных исследований, так и для решения прикладных задач.

Литература

1. Адушкин, В.В. Геофизическая обсерватория «БОРОВОЕ» – из прошлого в Будущее (к 40-летие создания) / В.В. Адушкин, P.Richards, В.А. Ан, А.В. Ситников // Вестник НЯЦ РК, 2001. – Курчатов: НЯЦ РК. - Вып. 2. – С. 15 – 20.
2. Беляшова, Н.Н. Сейсмологическая сеть национального ядерного центра Республики Казахстан как составная часть международной системы мониторинга ядерных испытаний / Н.Н. Беляшова, Н.Н. Малахова // Вестник НЯЦ РК, 2000. – – Курчатов: НЯЦ РК. - Вып. 2. – С. 13 – 16.
3. Башилов, И.П. Аппаратура для геоэкологических исследований, мониторинга инженерных сооружений и среды обитания по обеспечению безопасности / И.П. Башилов // Научное приборостроение, 2001. – Том 11, № 3.

РЕСЕЙДЕ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ АСПАПҚҰРЫЛЫСЫ ДАМУЫНЫҢ КЕЙБІР ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

[1)]Башилов И.П., [1)]Коновалов В.А. [2)]Николаев А.В.

[1)]РҒА «Геофизаспап» КБ, Мәскеу, Ресей
[2)]Институт физики Земли РАН, Москва, Россия

2003 ж. дейін РҒА «Геофизаспап» ҚБ-да әзірленген геофизикалық аппаратурасы дамуының және оны бақылау геофизикалық жүйелерінде қолдануының бір қатар перспективалары қаралған.

SOME PROSPECTS DEVELOPMENT OF GEOPHYSICAL INSTRUMENT MAKING IN RUSSIA

[1)] I.P. Bashilov, [1)] V.A. Konovalov [2)] A.V. Nikolaev

[1)]Design office for geophysical instrument engineering, RAS
[2)]Institute of Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia

The paper gives some aspects of geophysical instrument development designed by Design Department «Geophyspribor» RAS, its present condition and examples of its application in observatory geophysical systems.

УДК 550.34:621.2.087

ПРИМЕНЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Шепелев О.М., Кунаков А.В.

НПК «Прогноз» государственного учреждения «Казселезащита» МЧС РК, Талгар, Казахстан

В продолжение [7,8] описываются модернизация и опыт использования оборудования общего назначения серийного производства и специального авторского программного обеспечения для регистрации сейсмических данных. Изменен принцип взаимодействия с GPS-приёмником, добавлены высокоскоростной цифровой радиоканал и удалённое управление станцией, существенно расширен рабочий температурный диапазон, улучшена система обеспечения питания. В итоге возросла до приемлемых значений точность определения времени, повышена надёжность и расширена возможная область применения разработки.

ВВЕДЕНИЕ

Как правило, в сейсмометрии используется специализированная аппаратура, изготавливаемая малыми партиями, а иногда и штучно, что многократно увеличивает ее стоимость. В тоже время, активное развитие и применение цифровой измерительной аппаратуры самого различного целевого назначения всё чаще приводит к появлению универсальных измерительных приборов улучшенного качества, технологичности и с большим объемом производства, что позволяет на порядок снизить их стоимость. Разумеется, замена сейсмометра одним из приборов общего назначения пока невозможна, но регистрация сигналов на выходе сейсмометра с использованием аппаратуры общего назначения является вполне возможной, поскольку серийные изделия собраны практически на той же элементной базе, что и специализированная сейсмометрическая аппаратура. В статье продолжено рассмотрение опыта создания сейсмической станции с использованием серийных электронных блоков общего назначения, представленного в общих чертах в [7, 8].

Основная идея эксперимента состояла в том, чтобы подобрать комплект недорогого серийного оборудования, позволяющего использовать его в качестве полноценной 24-разрядной сейсмической станции. Станция должна иметь службу времени на основе GPS, удалённое управление, возможность передачи данных по цифровому радиоканалу на расстояния в десятки километров и способность работать в непрерывном режиме продолжительное время, в том числе, при длительных перебоях питания. Самостоятельное изготовление каких-либо узлов должно быть минимизировано, а в идеале, исключено. Технические параметры конструируемого комплекта должны быть как можно ближе к характеристикам тех устройств, которые традиционно применяются в сейсмологии. Представляется, что, если не удастся добиться выполнения перечисленных требований полностью, не исключено, что в ближайшем будущем, при сохранении существующих тенденций развития, возможность отказа от использования дорогостоящей специализированной аппаратуры будет осуществимой. Существенное удешевление приборов может позволить увеличить количество постоянных пунктов наблюдения, с одной стороны, а, с другой стороны, упростит выполнение различных кратковременных экспериментов.

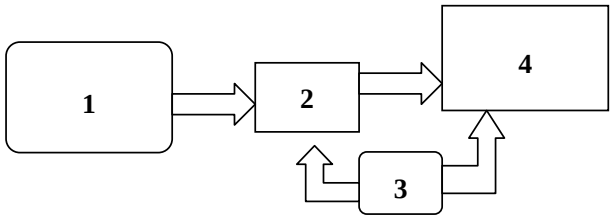
В качестве достижимого уровня можно взять технические параметры соответствующих устройств производства известных фирм, таких как Refraction Technology Inc. (RefTEk) [6], Kinemetrics Inc. (Quanterra) [4] и PMD Scientific Inc. (PMD) [5]. Обзор параметров и технических особенностей этой аппаратуры сделан ранее в [7,8]. Ниже подчеркнуты ключевые возможности, обеспечиваемые современной специализированной аппаратурой:

- динамический диапазон 110 - 144 дБ;
- служба времени на основе GPS, разрешение 1 мс, отклонение от UTC 1 - 10 мс;
- программный выбор усиления и частоты оцифровки;
- гальваническая развязка аналоговых входов;
- непрерывная регистрация в течение продолжительного времени;
- удалённое управление (опция);
- поддержка сетевых протоколов, возможность доступа к данным по сети Ethernet и Radio Ethernet или при помощи радиомодемов;
- возможность работы в телеметрическом режиме (опция);
- запись данных на собственный носитель информации (опция).

ПРИНЦИП РАБОТЫ И КОМПОНОВКА

Полученный опыт [7, 8] позволил несколько изменить выбор оборудования и его компоновку. На рисунке 1 приведена блок-схема создаваемой сейсмостанции.

Ключевым элементом комплекта является модуль АЦП Е-24 «Л-Кард» [1]. Модуль имеет четыре аналоговых входа, три из которых задействованы для подключения сейсмометров, один - для подключения к выходу pulse-per-second (PPS) GPS-приёмника Garmin GPS 16-HVS.



1 – 3-х компонентный сейсмометр, 2 – модуль Е-24 «Л-Кард», 3 – GPS-приемник, 4 – компьютер

Рисунок 1. Блок-схема сейсмостанции:

Это позволяет определять начало текущей секунды, опираясь на значения встроенного таймера модуля АЦП, передаваемые вместе с каждым оцифрованным отчётом. Кроме того, GPS-приёмник подключен к персональному компьютеру через последовательный порт для управления режимами работы GPS-приёмника и определения метки времени UTC. Выход модуля АЦП также подключен к персональному компьютеру через последовательный порт. Персональный компьютер обеспечивает управление вышеперечисленными периферийными устройствами, расчёт точного времени на основе значений встроенного таймера модуля АЦП и показаний GPS-приёмника, переформатирование данных в выбранный формат, запись их на жесткий диск и некоторые другие дополнительные функции. Удалённое управление станцией и доступ к данным может осуществляться по сетям Ethernet или Radio Ethernet. Характеристики модуля АЦП позволяют подключать как сейсмометры со встроенным усилителем (чувствительность 1000 - 2000 В/м/с), так и сейсмометры без усилителя (чувствительность 100 - 200 В/м/с). В эксперименте использованы сейсмометры СМ-3, СМ-3КВ и СБУ.

Модуль 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 [1]. Характеристика технических параметров модуля Е-24 «Л-Кард» приведена в таблице 1.

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

Состав	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 57 600 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 мкА. 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.

Служба времени

Первоначально был использован GPS-приёмник Garmin GPS 35-USB, подключаемый через встроенный переходник RS-232/USB к USB-порту компьютера. Питание GPS-приёмника осуществляется также через USB-порт. Выхода сигнала pulse-per-second (PPS) эта модель не имеет. Поскольку сообщения от GPS-приёмника в формате NMEA 0183 поступают ежесекундно, так же как и импульсы pulse-per-second, предполагалось использовать их для привязки. Удалось выяснить, что время прихода сообщений имеет, во-первых, регулярное запаздывание около 0,4 с, а, во-вторых, нерегулярные отклонения значительно меньшей величины. Попытка использовать сообщения от GPS-приёмника по последовательному порту в качестве опорных сигналов привела к созданию службы времени с оценочным стандартным отклонением 120 мс. Более высокой точности добиться не удалось.

Лучшего результата удалось добиться при подключении выхода PPS к одному из аналоговых входов АЦП. Для этого выбрана другая модель GPS-

приёмника - Garmin GPS 35-HVS, которая также имеет морское исполнение и пригодна для работы в неблагоприятных условиях со встроенной антенной. Отличие состоит, прежде всего, в отсутствии встроенного переходника RS-232/USB, наличии выхода PPS и подаче отдельного питания. Позднее в связи со снятием с производства модели GPS 35-HVS, эксперименты продолжали с моделью GPS 16-HVS, полностью аналогичной по характеристикам.

Модуль АЦП E-24 имеет встроенный таймер с шагом обновления около 3 мс, значения которого передаются с каждым оцифрованным отчётом. Установленная частота оцифровки 330 Гц или выше для соответствующего входа АЦП обеспечивает возможность сопоставить значения таймера с импульсами PPS GPS-приёмника. Таким образом, если известно время UTC с точностью хотя бы до десятых долей секунды, при помощи импульсов PPS можно значительно увеличить точность. Время с точностью до десятых долей секунды можно определить, как сказано выше, по сообщениям GPS-приёмника, приходящим по последовательному порту. Без применения математических методов для дополнительного увеличения точности, получены следующие характеристики службы времени: разрешение около 3 мс, отклонение от UTC не более 10 мс. Причем, 10 мс указано с запасом, хотя на практике это значение было не более 6 мс при частоте оцифровки канала PPS 350 Гц.

При необходимости ещё увеличить точность службы времени можно использовать описанную методику применительно к какой-либо иной модели АЦП. При этом выбранная модель должна обладать более высокочастотным таймером и возможностью увеличения частоты оцифровки на канале PPS. При выборе частоты оцифровки на канале PPS нужно учитывать, что перед оцифровкой АЦП должен применять фильтр антиналожения. Соответственно, по сравнению с исходным сигналом PPS время нарастания сигнала в начале импульса существенно возрастёт.

Температурный режим, бесперебойное питание и защита

Сейсмостанция может быть укомплектована источником бесперебойного питания (ИБП), который обеспечивает автономную работу от 1 - 2 до 8 - 9 часов, в зависимости от исполнения. В эксперименте использованы недорогие, имеющиеся в свободной продаже ИБП, с заменой штатных аккумуляторов на более емкие и выполнением всех необходимых предосторожностей и тестов. Тестирована, в частности, цепь зарядки при подключении к ИБП внешних необслуживаемых свинцово-кислотных аккумуляторов. Оказалось, что для устройств, подобных APC Back-UPS 500, ток зарядки при увеличении емкости внешних аккумуляторов не возрастает. Соответственно не возникает перегрузка цепи зарядки. Наиболее надёжными оказались ИБП производства компании APC. После нескольких случаев выхода аппаратуры из строя из-за грозовых разрядов и сильных бросков напряжения питания была введена защита оборудования. Хорошо показали себя защитные фильтры APC P5-RS в комбинации с защитным контуром заземления.

Испытано несколько вариантов исполнения сейсмостанции в зависимости от условий эксплуатации. В самом простом случае применялся персональный компьютер стандартной конфигурации (системный блок, клавиатура, мышь и монитор). Недостатком этого варианта является громоздкость и необходимость работы в отапливаемом помещении. Более удобным и универсальным оказался вариант применения персонального компьютера в «облегченном» варианте (системный блок). Управление компьютером и доступ к данным были возможны через локальную сеть или сеть Radio Ethernet. Для расширения температурного диапазона достаточно теплоизолировать системный блок и подключить дополнительный вентилятор к материнской плате. Управление вентилятором производилось программно. При низкой температуре вентилятор выключен, теплоизоляция и тепловыделение компьютера обеспечивали достаточную температуру. Когда температура материнской платы начинали превышать оптимальное значение, обороты вентилятора плавно увеличивались. При выходе температуры за пределы допустимого диапазона компьютер автоматически отключался. Однако за всё время эксплуатации устройств вне отапливаемых помещений зимой и летом в окрестностях Алма-Аты случаев перегрева или переохлаждения не было.

Программное обеспечение

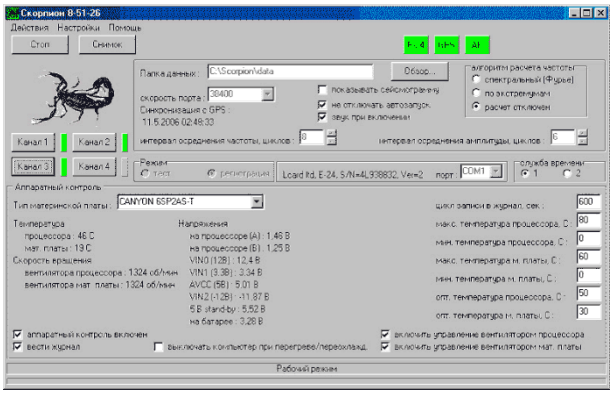
В комплект программного обеспечения, использовавшегося для получения сейсмических данных, вошли следующие программные единицы:

- операционные системы Windows 98 и Windows XP;
- пакет программ «Скорпион»;
- система первичной обработки данных «Amplitudes»;
- система удалённого управления «Remote Administrator» [2];
- стандартное программное обеспечение, прилагаемое к используемому оборудованию.

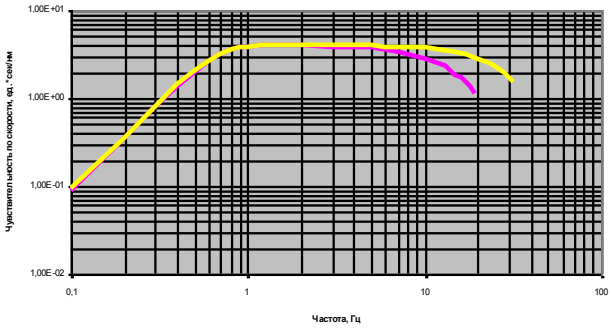
Пакет программ «Скорпион»

Пакет программ «Скорпион» обеспечивает управление периферийными устройствами и запись сейсмических данных (рисунок 2).

Программы написаны на языке C++ и работают в операционных системах Windows 98/XP. Несмотря на то, что эти операционные системы не являются системами реального времени, они справляются со своей задачей. Но, как оказалось, операционные системы этого семейства все-таки имеют некоторые особенности, способные нарушить выполнение критически важных процедур в режиме реального времени.



а – основное окно



б – пример амплитудно-частотной характеристики комплекта, полученный программой, при различных частотах оцифровки

Рисунок 2. Пакет программ «Скорпион» версии 4.0

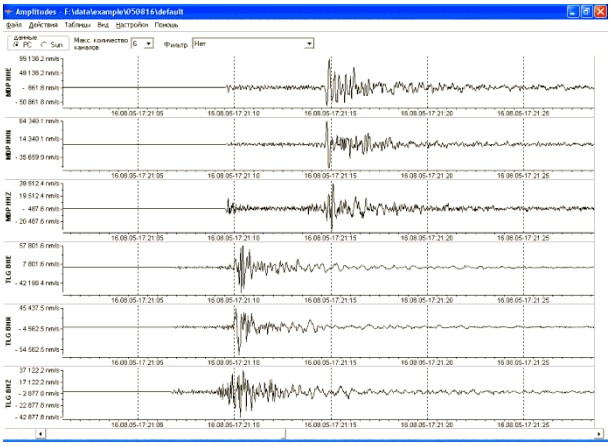
Однако таких особенностей оказалось не так много и с ними несложно бороться. Трёхлетний опыт регистрации сейсмических данных в непрерывном режиме это подтвердил.

Пакет программ «Скорпион» позволяет:

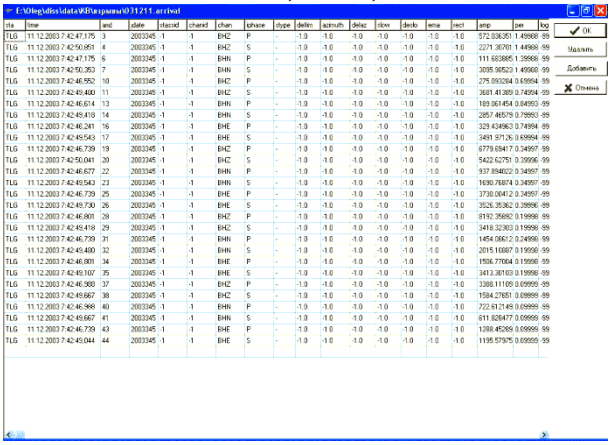
- устанавливать требуемые режимы работы АЦП и GPS-приёмник;
- самостоятельно обнаруживать программные и аппаратные сбои, при необходимости перезагружать операционную систему и перезапускаться для устранения сбоев без вмешательства пользователя, вести соответствующий журнал;
- управлять дополнительным вентилятором охлаждения, производить контроль температуры и напряжений питания на материнской плате компьютера и вести соответствующий журнал;
- корректировать ход системных часов компьютера на основе сигналов GPS с заданной пользователем цикличностью и вести журнал корректировки хода часов;
- графически отображать волновые формы в режиме реального времени с задаваемой пользователем разверткой независимо для каждого канала;
- устанавливать по желанию пользователя параметры входных каналов независимо (усиление, частота оцифровки, код канала и станции, длительность файлов и т.д.);
- производить амплитудно-частотный анализ входных сигналов с высокой точностью для проведения калибровки и диагностики аппаратуры (могут быть замерены собственный период сейсмометра с точностью до 4-го знака, амплитудно-частотная характеристика сейсмометра при калибровке на вибрационном стенде или генераторным способом, проверка полярности подключения) - рисунок 2а.

Программа “Amplitudes”

Программа предназначена для первичной обработки данных в операционных системах Windows 98/Me/XP/2000 и написана на языке C++ (рисунок 3). Базовым форматом данных является CSS 3.0 (Center for Seismic Studies v.3.0) [9]. Волновые формы могут быть двух - и четырехбайтными целочисленными или четырехбайтными вещественными. Поддерживается также формат SEGY [10].



а – вид основного окна с записью землетрясения, произошедшего в окрестностях г. Алматы, 16-08-2005, t0=17:21:04.6, 43.64N, 77.31E



б – вид окна табличного редактора

Рисунок 3. Программа «Amplitudes»

С учетом традиционной обработки сейсмических данных на компьютерах SUN, в программе “Amplitudes” предусмотрена возможность работы с данными, ориентированными как на персональные компьютеры, так и на компьютеры SUN. Различие форматов

данных определяется различием файловых систем и архитектурой процессоров. При этом таблицы баз данных CSS могут не только читаться в обеих разновидностях форматов, но и конвертироваться из одного типа в другой. Предусмотрена конвертация волновых форм в формат WGSN для их дальнейшего анализа с помощью программы WGSNPLOT известного пакета программ DIMAS. Имеется также возможность создания таблиц баз данных CSS на основе серии файлов волновых форм в формате SEGY. В контексте данной работы программа «Amplitudes» использовалась по следующей схеме. Пакет программ «Скорпион» формирует данные в формате SEGY в предварительном виде, который практически представляет только волновые формы. Далее, с помощью программы «Amplitudes» формируются таблицы wfdisc базы данных CSS, из шаблона импортируются другие таблицы CSS и файлы АЧХ (response files). Для дальнейшей обработки или обмена, при необходимости, данные могут быть конвертированы в любой из вышеприведенных форматов.

Помимо описанного программа «Amplitudes» обладает следующими возможностями:

- наложение полосовых частотных фильтров, задаваемых пользователем;
- поддержка обзорного режима в стиле бумажных аналоговых сейсмограмм;
- установка времен вступлений волн, измерение амплитуд с коррекцией за АЧХ, автоматическое занесение результатов в таблицу arrival;
- построение огибающих (рисунок 4);
- удаление спайков;
- осреднение частоты оцифровки в выбранном временном интервале;
- просмотр и редактирование таблиц CSS;
- объёдинение данных (добавление каналов и временных блоков);
- сохранение фрагментов данных (вырезание «кусков» данных);
- спектральный анализ.

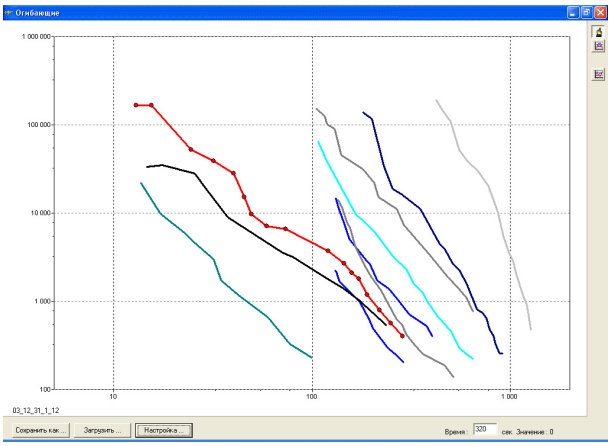


Рисунок 4. Программы «Amplitudes». Вид окна редактора огибающих

Каналы радиосвязи

По результатам анализа сведений о различных видах цифровой радиосвязи был выбран стандарт IEEE 802.11 b/g (Radio Ethernet), рабочей частотой которого является 2,4 ГГц. В большинстве стран для использования этой частоты действует упрощенная процедура регистрации. При этом во всех странах СНГ существует ограничение только на мощность передатчика – 100 милливатт. В Казахстане ограничение по мощности составляет 10 милливатт, ожидается поправка к реестру по радиопередающим устройствам в сторону увеличения разрешенной мощности также до 100 милливатт. По сравнению с радиомодемами, работающими на других частотах, стандарт IEEE 802.11 b/g имеет несколько очевидных преимуществ. Помимо упрощенной процедуры получения разрешения на использование частоты, он обеспечивает скорость передачи данных, позволяющую работать не только в телеметрическом режиме, но и передавать большие объёмы информации по запросу практически так же как в локальной сети. Кроме того, устройства связи этого стандарта более доступны по цене, проще в приобретении, так как не требуют предъявления разрешения на использование частоты. Однако применение устройств связи стандарта IEEE 802.11 имеет специфику. В стандартный комплект включены всенаправленные антенны с относительно небольшим усилением, которые обеспечивают устойчивую связь лишь на расстоянии, не превышающем 150 - 200 м по прямой видимости. Расчёты показали, что многократно увеличить дальность можно путём применения остронаправленных антенн. В горных условиях, когда прямая видимость недостижима, теоретически возможно применение активных или пассивных ретрансляторов.

Для обеспечения требуемой большей дальности связи была проведена серия экспериментов с различными типами оборудования стандарта 802.11 b/g производства компаний Micronet, D-Link, а также Exergia Division II. Было изготовлено и опробовано несколько типов остронаправленных антенн с различными коэффициентами усиления и диаграммами направленности. При мощности передатчика 100 милливатт удалось обеспечить большую дальность связи. Так, установлен устойчивый канал связи на расстоянии 10 км со скоростью 2 Mbit/s между сейсмополигоном Талгар и сейсмостанцией Новоалексеевка, радиоканал на расстоянии около 100 м со скоростью 5 Mbit/s между зданием лаборатории и станцией Медео (кабельный канал в последнем случае был невозможен из-за разделяющего ущелья). Ведется разработка антенн и пассивного повторителя для радиоканала между сейсмополигоном Талгар и сейсмостанцией Талгар, которые не имеют между собой прямой видимости из-за гористого рельефа местности. Расчёты показали возможность установления устойчивой высокоскоростной связи на расстояниях до 50 - 60 км и более по прямой видимости. При проведении экспериментов ведется разра-

ботка и изготовление антенн, хотя возможно и приобретение готовых антенн заводского производства.

Опробование аппаратурно-программного комплекса. Технические характеристики

Сформированный аппаратурно-программный комплекс имеет следующие характеристики:

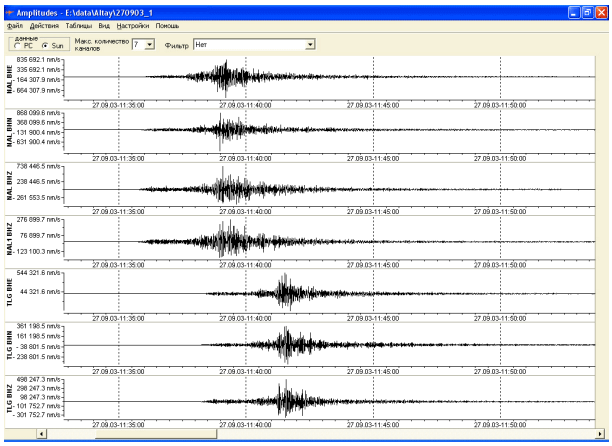
- непрерывная регистрация в течение продолжительного времени;
- динамический диапазон 116-120 дБ в зависимости от режимов работы;
- форматы данных: SEGY, CSS 3.0, ASCII;
- служба времени на основе GPS, отклонение от UTC не более 10 мс;
- независимая установка по желанию пользователя параметров 3-х входных каналов (усиление, частота оцифровки, код канала и станции, длительность файлов волновых форм и т.д.);
- возможность работы без GPS-приёмника с опорой на системные часы компьютера, корректируемые через Интернет или локальный Time-server, при этом падает точность службы времени и высвобождается ещё один входной канал (четвёртый);
- графическое отображение волновых форм в реальном времени с задаваемой пользователем разверткой независимо для каждого канала (при подключении монитора или на удалённом компьютере);
- амплитудно-частотный анализ входных сигналов с высокой точностью для проведения калибровки и диагностики аппаратуры;
- способность самостоятельно обнаруживать программные и аппаратные сбои, при необходимости перезапускаться для устранения сбоев без вмешательства пользователя;
- автоматическое ведение журналов перезагрузок, контроля службы времени, контроля состояния аппаратуры;
- температурный диапазон от -25˚ С до +35˚ С, программное управление охлаждением, автоматическое отключение при перегреве или переохлаждении;
- передача данных и дистанционное управление станцией по беспроводной сети Radio Ethernet или LAN (TCP/IP);
- радиоканал Radio Ethernet IEEE 802.11b/g (Wi-Fi) дальностью свыше 10 км при скорости до 2 Мб/с;
- энергопотребление 80-130 Вт в зависимости от конфигурации.

Аппаратурно-программный комплекс был установлен на трёх станциях (таблица 2): «Талгар» (с июля 2003 г.), «Новоалексеевка» (с августа 2003 г.) и «Медео» (с апреля 2005 г.).

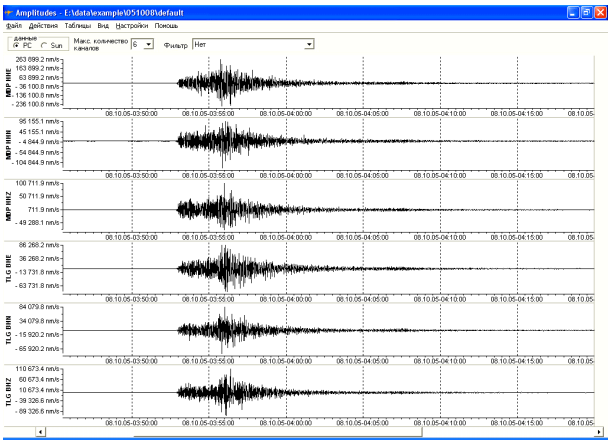
Опыт эксплуатации показал неплохую надежность комплекса. Вмешательство оператора требовалось только при запуске, остановке и в аварийных случаях. На рисунке 5 приведены примеры сейсмограмм, записанных созданными станциями.

Таблица 2. Сведения о сейсмических станциях

Название станции	Код станции	Высота, м	Широта	Долгота	Примечание о датчиках
Талгар	TLG	1210	43,2487	77,2237	
Новоалексеевка	NAL	700	43,393	77,2273	Поверхность
	NAL1				Скважина, глубина 740 м
Медео	MDP	1363	43,1781	77,0166	

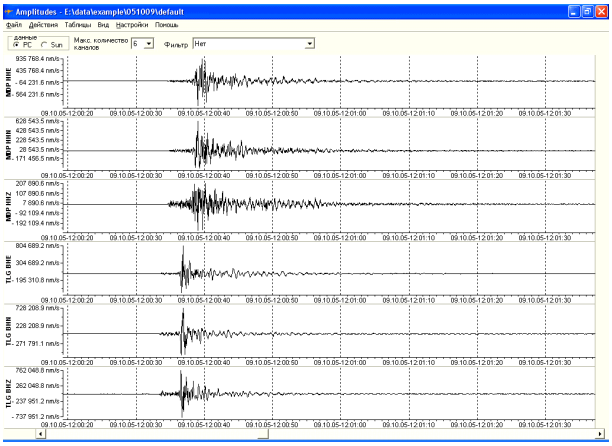


а – Алтайского (Чуйского), 27-09-2003, t_0=11:33:35.2, 50.03N, 87.83E



б – Пакистанского, 08-10-2005, t_0=03:50:40.8, 34.54N, 73.59E

Рисунок 5. Записи землетрясений, зарегистрированные разработанным программно-аппаратным комплексом



в – в окрестностях г. Алматы 09-10-2005 t_0=12:00:33.52, 43.33N, 77.24E (по [3])

Рисунок 5. Записи землетрясений, зарегистрированные разработанным программно-аппаратным комплексом

Выводы

В статье на практическом примере показаны возможность создания и применения сейсмической станции на основе использования серийных электронных блоков общего назначения, а также принципы обеспечения взаимодействия оборудования. Опробованный аппаратурно-программный комплекс достаточно прост в настройке, установке и использовании, его технические характеристики приемлемы для ведения долговременных наблюдений и получения качественных сейсмических данных.

Современные тенденции технического развития позволяют ожидать, что качественные характеристики модулей АЦП, GPS-приёмников, цифровых средств связи и другого оборудования общего назначения со временем будут улучшаться, а их стоимость падать, что будет способствовать более широкому их применению для целей сейсмического мониторинга.

Для полноты картины следует указать на слабые места реализованной разработки и пути их преодоления. Так, по сравнению с некоторыми моделями специализированной сейсмометрической аппаратуры, служба времени аппаратурно-программного комплекса описанной конфигурации не достигает точности 1 мс, а энергопотребление станции может достигать 80 - 130 Вт. Хотя последний параметр не принципиален при доступности питания от энергосети, он все-таки является недостатком в сравнении с питанием от аккумуляторов или солнечных батарей.

Увеличение точности определения времени может быть достигнуто выбором модели АЦП с более высокочастотным таймером и увеличением частоты оцифровки на канале PPS. В тех случаях, когда важна не столько точность определения времени, сколько стабильность частоты оцифровки и соответствие временных интервалов между файлами волновых форм шагу оцифровки, возможна программная коррекция данных. Данную функцию может выполнять программа «Amplitudes».

Энергопотребление определяется в основном потребностями персонального компьютера. Возможны различные варианты снижения энергопотребления: использование ноутбука с пониженным энергопотреблением, использование карманного компьютера (КПК). Для долговременной регистрации может быть более приемлемо использование промышленных компьютеров стандарта PC-104.

Сравнительно низкая стоимость закупаемой аппаратуры (порядка 1100$ США без учёта стоимости сейсмометров) может позволить использовать комплект, подобный разработанному, не только для постоянных сейсмических наблюдений и кратковременных работ, но и для учебных целей. В последнем случае стоимость станции можно значительно снизить за счет отказа от GPS-приёмника и радиоканала. Использование широкодоступных компонентов, кроме прочего, упрощает ремонт и обслуживание комплекта.

Литература

1. Модуль E-24. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - ЗАО «Л-Кард», 1998.
2. Интернет-сайт компании Фаматек [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.famatech.com.
3. Интернет-сайт Центра данных ИГИ НЯЦ РК [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kndc.kz.
4. Интернет-сайт Kinemetrics Inc. [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kinemetrics.com.
5. Интернет-сайт Precision Measurement Devices (PMD) Scientific Inc. [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pmdsci.home.att.net.
6. Интернет-сайт Refraction Technology Inc. [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.reftek.com.

7. Шепелев, О.М. Опыт применения серийного оборудования общего назначения для регистрации сейсмических данных / О.М. Шепелев, Н.А. Ермоленко, В.П. Болгов // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2004. - Вып. 2. - с. 59 - 64.
8. Шепелев, О.М. Опыт применения серийного оборудования для регистрации сейсмических данных. / О.М. Шепелев, А.В. Кунаков // Тезисы докладов «Седьмые геофизические чтения им. В.В. Федынского», Москва: ГЕОН, 2005. - с. 95.
9. Anderson, J. Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manual / J. Anderson, W.E. Farell et al. // Technical Report C90-01. - Arlington, 1990.
10. Barry, R.M. Recommended standards for digital tape formats / R.M. Barry, D.A. Cavers, C.W. Kneale // Geophysic1975. - V. 40. - P. 344 - 352.

ЖАЛПЫ МІНДЕТТЕГІ ЖАБДЫҚТАРЫН ГЕОФИЗИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГ ҮШІН ПАЙДАЛАНУ

Шепелев О.М., Кунаков А.В.

ҚР ТЖМ «Қазселқорғау» мемлекеттік мекемеңің «Прогноз» ғылыми-өндірістік кешені, Талғар, Қазақстан

Сериялық өндірістің жалпы міндеттегі жабдықтарын және арнайы авторлық программалық жасауын сейсмикалық деректерін тіркеуінде пайдалану тәжрибесі мен жетілдіруі [7,8] жалғастыруында сипатталады. GPS-қабылдағышпен өзара әсерінің принципі өзгертілген, жоғары жылдамдықтағы цифрлық радиоарнасы мен станцияны алыстан басқаруы қосылған, жұмыс температуралық ауқымы едәуір кеңітілген, қоректенуін қамтамасыз ету жүйесі жақсартылған. Қорытысында уақытты анықтау дәлдігі жарамды мәндеріне жеткізілген, әзірлеменің сенімділігі жоғарылатылған және пайдалану саласы кеңітілген.

GENERAL PURPOSE EQUIPMENT APPLICATION FOR GEOPHYSICAL MONITORING

O.M. Shepelev, A.V. Kunakov

Scientific-Productio Complex "Prognoz" of the State Enterprise "Kazselezaschita"
Kazakhstani Emergency Ministry, Talgar, Kazakhstan

In continuation [7, 8] it is described upgrade and experience in application of general purpose equipment of serial production and specific copyright software to register seismic data. GPS receiver interaction use was changed, high speed digital radio channel and remote station control were added, working temperature range was increased and power supply system was upgraded. As a result time determination accuracy was developed, capability was increased and possible range for the procedure application was widened.

УДК 550.311: 550.341

ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ГЕОСФЕР ЗЕМЛИ НА ИНТЕРВАЛЕ 1961-1992 гг.

Ан В.А., Годунова Л.Д., Каазик П.Б.

Институт динамики геосфер Российской академии наук, Москва, Россия

Рассмотрены изменения состояния внутренних геосфер Земли в интервале лет 1961 – 1992 гг. по данным наблюдения времени пробега сейсмических волн от подземных ядерных испытаний. По результатам исследований на 12 трассах установлено, что в календарном времени земная кора и верхняя мантия испытывают сжатие, а нижняя мантия и внешнее ядро – разуплотнение. Граница перехода из одного состояния в другое оценивается глубиной порядка 1100 – 1200 км.

Введение

Сейсмическая станция "Боровое" начала работать в 1960 г. Она являлась наиболее чувствительной станцией бывшего СССР в отношении регистрации подземных ядерных испытаний на Невадском полигоне США [1]. В 1977 г. в экспедиции № 4 Спецсектора ИФЗ АН СССР (сейчас ГО "Боровое" НЯЦ РК) была поставлена работа по определению отклонений времени пробега продольной волны P из различных сейсмоактивных районов (включая ядерный полигон в Неваде) по данным бюллетеня Международного сейсмологического Центра (ISC). Обнаружилось, что времена пробега P-волны от невадских испытаний имеют разброс в пределах ±0.3 с [2]. Время и географические координаты невадских испытаний публиковались в бюллетенях ISC с высокой точностью - до 0.001 – 0.01 с и одной угловой секунды, соответственно. Регистрация на станции "Боровое" с 1966 г. осуществлялась цифровыми станциями типа КОД и СЦР с погрешностью привязки к всемирному времени, не превышающей 0.01с [1]. Не найдя какого-либо объяснения выявленным отклонениям времён пробега, предположили, что эпицентральные параметры невадских испытаний специально публикуются с ошибками. Но в 1982 г. появилась статья Н.Г. Гамбурцевой с коллегами о вариациях в календарном времени динамических и кинематических параметров сейсмических волн от семипалатинских испытаний по наблюдениям в диапазоне эпицентральных расстояний 100 – 2800 км [3]. На станции "Боровое" вернулись к анализу времён пробега от испытаний в Неваде и обнаружили их квазипериодические вариации в календарном времени [4]. Стало очевидно, что по данным регистрации подземных ядерных испытаний обнаружено ранее неизвестное явление – вариации времени пробега сейсмических волн в календарном времени, причиной которых являются изменения в недрах Земли.

Экспериментальные данные и результаты исследования

Для анализа времён пробега сейсмических волн рассмотрены результаты наблюдений подземных ядерных испытаний на Невадском (NTS) и Семипалатинском (STS) полигонах сейсмическими станциями "Семипалатинск" (SEM), "Боровое" (BRVK), "Свердловск" (SVE), "Норильск" (NRI), "Хейс" (KHE), "Иультин" (ILT) и "Мирный" (MIR). На сейсмической станции "Боровое" осуществлялась цифровая регистрация, а на остальных – фотооптическая (скорость развёртки 60 мм/мин), стандартными короткопериодными каналами типа СКМ с увеличениями порядка 25000 – 100000 [1, 5]. Методика исследования подробно рассмотрена в [6].

На испытательных площадках Пахьют (Pahute), Юкка (Yucca) и Рейниер (Rainier) Невадского полигона в период 1961 – 1992 гг. проведено 872 испытания, из них 85 на площадке Пахьют. На Семипалатинском полигоне в период 1961 – 1989 гг. проведено 345 испытаний, из них 106 на площадке Балапан. Все испытания на площадках Пахьют и Балапан проведены в скважинах. В данном исследовании использованы взрывы только на этих площадках для соблюдения однотипности геолого-геофизических условий в процедуре приведении времени взрыва к одной глубине (здесь к уровню моря) и одному эпицентральному расстоянию. Методика приведения времени в очаге к уровню моря (времени в эпицентре) принята разной для Невадского и Семипалатинского полигонов. На Невадском полигоне время в очаге пересчитано во время в эпицентре по известным скоростным разрезам, усредненным по каждой из испытательных площадок. Подчеркнём, - по скоростному разрезу не отдельной скважины, а усреднённому по всей площадке [7,8]. Для площадки Балапан Семипалатинского полигона использована скорость продольной волны, которая определена на образце керна из гипоцентра. Очевидно, что обе методики не обеспечивают высокую точность приведения времени взрыва к уровню моря, а являются только способом приближения первого порядка.

Измерение времени вступления или первого экстремума продольной волны выполнено сканированием необходимого интервала записи с плотностью 600 пикселей на дюйм, что обеспечивает максимальную погрешность ± 0.02 с.

Наиболее "уязвимым" местом методики обработки является определение отклонений времён пробега после приведения их к одному (среднему) эпицентральному расстоянию в соответствии с локальным экспериментальным годографом. Другими словами, точность определения вариаций времён пробега зависит от точности определения локального годографа, которое выполнено по тем же измерениям.

В таблице 1 приведены основные характеристики сейсмических трасс и оценка линейного тренда времени пробега. На трассах с максимальной глубиной до 1100 км (Pahu – ILT) наблюдается уменьшение времени пробега в календарном времени. В процентном отношении ко времени пробега на данной трассе наибольшее уменьшение имеет место на трассе Bal – SEM, когда вся траектория сейсмического луча проходит в земной коре. С увеличением максимальной глубины сейсмического луча величина линейного тренда (в процентах ко времени пробега) уменьшается. На трассах с максимальной глубиной более 1200 км основная тенденция линейного тренда времени пробега – увеличение в календарном времени, но без какой-либо существенной зависимости от максимальной глубины сейсмического луча. Тем не менее, можно утверждать, что переход от сжатия к разуплотнению происходит в области максимальных глубин порядка 1100 – 1200 км.

Таблица 1. Основные характеристики сейсмических трасс и оценка линейного тренда времени пробега сейсмических волн

Трасса	Тип волны	t, с	$\Delta_{ср}$, км	T, год	N	H_{max} км	Оценка линейного тренда времени пробега	
							мс / год	% × 10^{-3} в год
Bal – SEM	P_g	18	110	1977-1989	66	20	–5.71 ± 8.88	–31.7
Bal – BRVK	P_n	93	690	1968-1989	89	100	–4.90 ± 1.90	–5.27
Bal – SVE	P	180	1430	1971-1989	53	230	–1.91 ± 4.73	–1.06
Bal – NRI	P	272	2226	1971-1989	82	670	–0.79 ± 5.77	–0.29
Bal – KHE	P	384	3500	1965-1989	78	790	–3.44 ± 3.30	–0.90
Pahu – ILT	P	503	5075	1968-1992	60	1100	–0.10 ± 4.01	–0.020
Bal – ILT	P	528	5464	1965-1989	84	1200	–0.13 ± 2.83	–0.025
Pahu – BRVK	P	782	9984	1962-1991	66	2740	+1.73 ± 1.68	+0.22
Bal – KHE	PcP	556	3500	1965-1989	79	2890	+6.48 ± 3.14	+1.17
Bal – ILT	PcP	612	5464	1965-1989	85	2890	–0.86 ± 2.98	–0.14
Pahu – MIR	$PKIKP_{BC}$	1180	16247	1966-1991	57	4660	+3.45 ± 2.73	+0.29
Bal – BRVK	PKiKP	992	690	1976-1989	31	5150	+6.73 ± 4.31	+0.68

Примечание t – время пробега, $\Delta_{ср}$ – среднее эпицентральное расстояние, T – интервал наблюдений, N – количество взрывов, использованных в анализе, H_{max} – максимальная глубина сейсмического луча по PREM, Bal – площадка Балапан Семипалатинского испытательного полигона, Pahu – площадка Пахьют Невадского испытательного полигона.

Обсуждение результатов

Линейные тренды на различных трассах приведены на рисунке. Оценка линейного тренда времени пробега δt = t – tconst, где t – время пробега на данной трассе в календарном времени, а tconst – постоянная величина, своя у каждой трассы, чтобы можно было сравнить визуально только тенденцию изменения времени пробега в календарном времени. Из рисунка видно, что величина линейного тренда волны P не имеет чёткой зависимости от максимальной глубины сейсмического луча на трассе, т.е. от эпицентрального расстояния.

Обращает на себя внимание, что тренды волн P и PcP на трассе Bal – KHE разного знака, но одного порядка, а на трассе Bal – ILT одного знака и на порядок меньше, чем на трассе Bal – KHE. Эпицентральные расстояния этих трасс отличаются на 2000 км и станции расположены в разных азимутах от полигона (Станция "Хейс" на архипелаге Земля Франца-Иосифа, а "Иультин" на Чукотке). Возможно, изменение времени пробега зависит не только от максимальной глубины сейсмического луча, но и от региона, в котором проходит данная трасса. Так, на расстояниях 800 – 1200 км от Семипалатинского полигона на десяти среднеазиатских станциях в интервале лет 1968 – 1989 гг. наблюдается как уменьшение, так и увеличение времени пробега продольной волны.

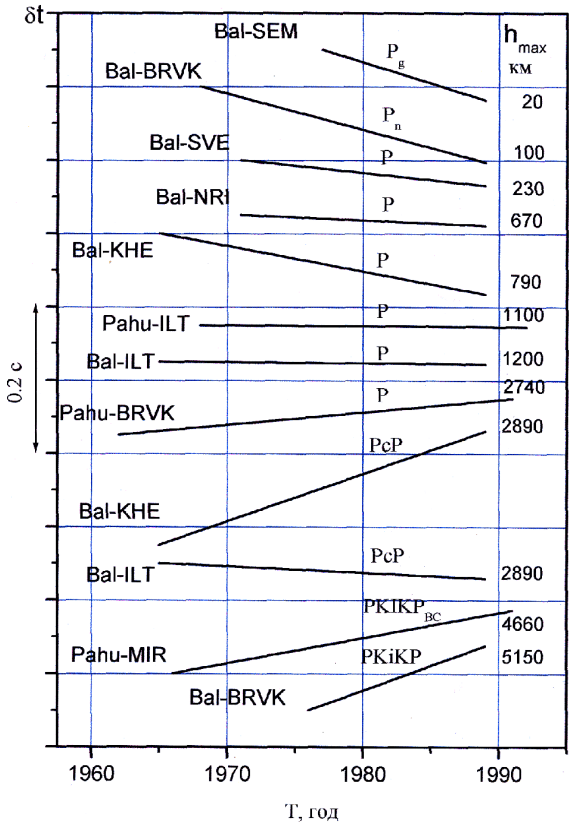


Рисунок 1. Линейные тренды времени пробега сейсмических волн в календарном времени на интервале 1961-1992 гг.

В [9] отмечено, что «…рост скорости и соответственно уменьшение времени пробега коррелируется с уменьшением количества землетрясений и, наоборот, уменьшение скорости коррелируется с увеличением количества землетрясений…» (количество землетрясений с К ≥ 9 подсчитывалось в радиусе 250 км от станции). Однако результаты наших исследований не могут быть объяснены сейсмичностью в районе станции, так как все наблюдательные станции расположены в асейсмичных (слабосейсмичных) регионах.

Одним из значимых вопросов данного исследования является точность времени взрыва и координат эпицентра. Использованы эпицентральные параметры, имеющиеся в Институте динамики геосфер (ИДГ) РАН. В некоторых случаях они существенно отличаются от данных других исследователей, что отражено в таблице 2, где δφ и δλ – разности между данными других авторов и данными ИДГ.

Таблица 2. Сведения о подземных ядерных испытаниях на площадке Балапан СИП

№ п/п	Дата д.м.г.	Время в эпицентре (Гринвич) ч м с	Широта, φ	Долгота, λ	m_b	№ испытания	Коновалов [12]		Thurber [10], [11]		Thurber [14]		
			градус				δφ	δλ	δφ	δλ	δt, сек	δφ	δλ
							градус × 10^{-4}		градус × 10^{-4}			градус × 10^{-4}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	15.01.65	06-00-00.83	49.9350	79.0094	–	1004 «Чаган»	0	0	0	0	–0.03	0	0
2	19.06.68	05-05-59.81	49.9802	78.9855	5.4	1053	0	0	+1	+1	–0.01	0	0
3	30.11.69	03-32-59.70	49.9243	78.9558	6.0	1054	0	0	–1	0	0	0	–2
4	30.06.71	03-56-59.82	49.9460	78.9805	5.2	1056	0	0	+1	+1	–0.02	0	–1
5	10.02.72	05-02-59.98	50.0243	78.8781	5.4	1007	0	0	–1	0	+0.02	0	–1
6	02.11.72	01-27-00.16	49.9270	78.8172	6.1	1061	0	0	–1	0	+0.04	0	–1
7	10.12.72 Д	04-27-09.96	50.0270	78.9956	6.0	1204	0	0	+86	+152	+0.04	0	–1
8	23.07.73	01-23-00.26	49.9688	78.8176	6.1	1066	+1	–1	–88	–370	–0.10	–1	–2
9	20.09.73 ?	06-12-59.84	49.9617	78.8556	–	1267	0	0	–	–	–	–	–
10	04.11.73 ?	03-57-00.04	50.0469	78.9872	–	1069	+162	–541	–	–	–	–	–
11	14.12.73	07-46-59.77	50.0438	78.9858	5.8	1064	0	0	–	–	–0.10	0	–2
12	16.04.74	05-52-59.78	50.0269	78.9956	4.9	1301	–25	–692	0	0	+0.06	–25	–692
13	31.05.74	03-27-00.00	49.9628	78.8556	5.9	1207	–22	–114	0	0	+0.02	–22	–115
14	29.07.74 ?	03-02-59.86	49.9375	78.9358	–	1050	0	0	–	–		—	—
15	16.10.74	06-33-00.06	49.9841	78.8939	5.5	1005	+34	+3	+12	+28	+0.08	+34	+2
16	27.12.74	05-46-59.51	49.9678	79.0053	5.6	1058	–20	–20	–6	–3	–0.02	–20	–21
17	27.04.75	05-36-59.73	49.9392	78.9078	5.6	1205	–17	–42	0	0	+0.05	–17	–43
18	30.06.75	03-27-00.25	49.9856	78.8969	5.0	А	0	0	+116	+ 984	0	0	0
19	29.10.75	04-46-59.83	49.9548	78.8741	5.8	1206	–9	–2	–6	+3	+0.06	–9	–3
20	25.12.75	05-16-59.76	50.0483	78.8197	5.7	1067	–44	+3	0	+34	–0.09	–44	+2
21	21.04.76 Д	05-02-59.70	49.9011	78.8294	5.3	1201	–5	+14	0	–8	+0.05	–5	+13
22	09.06.76	03-02-59.80	49.9946	79.0243	5.3	1075	–10	+65	–15	+18	–0.01	–10	0
23	04.07.76	02-57-00.03	49.9040	78.8984	5.8	1062	+85	+10	–9	–6	–0.04	+2	+9
24	28.08.76	02-57-00.06	49.9750	78.9292	5.8	1202	0	–28	0	0	–0.02	0	–30
25	23.11.76	05-02-59.97	50.0175	78.9469	5.8	1207-бис	–44	–36	0	0	–0.13	–44	–37
26	07.12.76	04-56-59.99	49.9443	78.8392	5.9	1304	–4	0	–1	+5	–0.01	–4	–1
27	-"- -"-	04-57-00.03	49.8994	78.7857	–	1209	–2	+7	–	–	–	—	—
28	29.05.77	02-57-00.19	49.9468	78.7717	5.8	1400	–4	0	–4	0	–0.06	–1	–2
29	29.06.77	03-07-00.21	50.0013	78.8671	5.3	1080	–19	–4	+423	–182	+0.03	–18	–5
30	05.09.77	03-03-00.07	50.0606	78.9139	5.8	1079	–50	+3	–12	0	–0.11	–50	+2
31	29.10.77 Д	03-07-05.07	50.0573	78.9798	5.6	1214	–51	+5	–9	+30	–0.17	–51	+4
32	12.11.77 ?	03-27-00.20	50.0522	78.8644	–	1073	0	0	–	–	–	–	–
33	30.11.77	04-06-59.90	49.9684	78.8743	6.0	Глубокая - 1	–12	+1	–6	+13	+0.04	–11	0
34	11.06.78	02-57-00.14	49.9136	78.8017	5.9	1010	–3	+2	–3	+2	0	–3	+1
35	05.07.78	02-47-00.15	49.9033	78.8674	5.8	1077	–33	–7	–8	–7	–0.10	–33	–9
36	29.08.78 Д	02-37-08.91	50.0092	78.9675	5.9	1228	–31	–3	–11	+6	–0.06	–31	–5
37	15.09.78	02-37-00.04	49.9292	78.8627	6.0	1211	–9	–10	–9	–5	–0.07	–9	+43
38	04.11.78	05-06-00.01	50.0466	78.9472	5.6	1302	–49	0	–2	+20	–0.15	–48	–1
39	29.11.78 Д	04-33-05.03	49.9542	78.7948	6.0	1222	+75	+5	+14	+16	0	–9	+4
40	01.02.79	04-13-00.14	50.0856	78.8524	5.4	1006	–48	+10	+11	+32	+0.03	–48	+8
41	23.06.79	02-57-00.16	49.9156	78.8452	6.2	1223	–9	+6	–3	+1	–0.05	–8	+4
42	07.07.79	03-47-00.03	50.0393	78.9901	5.8	1225	–62	+17	–1	+16	–0.16	–61	–10
43	04.08.79	03-56-59.71	49.9044	78.8869	6.1	1085	–13	+9	–13	–2	–0.04	–13	+7
44	18.08.79	02-51-59.74	49.9484	78.9187	6.1	1226	–3	+2	–6	+5	–0.03	–3	0
45	28.10.79	03-16-59.67	49.9969	78.9955	6.0	1224	–2	–5	–213	–13	–0.12	–2	–6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
46	02.12.79	04-37-00.01	49.9097	78.7850	6.0	1309	–3	–6	+6	+6	+0.05	–2	–7
47	23.12.79	04-57-00.02	49.9328	78.7502	6.2	Глубо-кая - 1	–6	+26	+5	+31	0	–6	+25
48	25.04.80	03-57-00.07	49.9770	78.7594	5.5	1071	–6	0	–1	+14	–0.01	–5	–1
49	12.06.80	03-27-00.24	49.9894	78.9916	5.6	1083	–7	–5	–2	–8	–0.05	–7	–6
50	29.06.80	02-33-00.22	49.9492	78.8175	5.7	1227	–6	+6	–117	–197	+0.02	–6	+5
51	14.09.80	02-42-41.77	49.9370	78.7974	6.2	1220	–3	+1	–59	+137	–0.06	–3	0
52	12.10.80	03-34-16.76	49.9687	79.0227	5.9	1087	–12	–2	–4	–8	–0.11	–12	–3
53	14.12.80	03-47-09.02	49.9090	78.9187	5.9	1086	–1	–1	–4	–15	–0.01	–1	–3
54	27.12.80	04-09-10.78	50.0676	78.9757	5.9	1303	–57	–4	+2	+18	–0.15	–57	–5
55	29.03.81	04-03-52.68	50.0225	78.9796	5.6	1234	–44	–8	–8	+12	–0.10	–43	–9
56	22.04.81	01-17-13.90	49.8994	78.8068	6.0	1232	–5	+18	0	–1	+0.01	–5	+16
57	27.05.81	03-58-14.90	49.9881	78.9703	5.5	1203	–12	+3	–3	–9	–0.02	–12	+2
58	13.09.81	02-17-20.87	49.9140	78.8952	6.1	1233	–7	–8	+4	–16	–0.03	–7	–10
59	18.10.81	03-57-05.22	49.9286	78.8446	6.1	1236	–5	+1	–5	+12	0	–5	–1
60	29.11.81	03-35-11.14	49.9022	78.8481	5.7	1237	–3	+8	0	–12	+0.06	–3	+7
61	27.12.81	03-43-16.75	49.9331	78.7795	6.2	1312	0	–12	+2	+2	–0.03	+1	–14
62	25.04.82	03-23-07.88	49.9179	78.8871	6.1	1219	–10	+7	+4	–4	+0.11	–9	+5
63	04.07.82	01-17-16.70	49.9595	78.8090	6.1	1321	–9	+27	+13	+7	–0.02	–8	+25
64	31.08.82	01-31-03.11	49.9143	78.7617	5.3	1317	–1	–3	–4	0	+0.08	–1	–4
65	05.12.82	03-37-15.14	49.9316	78.8088	6.1	1314	–8	+9	–35	+359	–0.02	–7	+7
66	26.12.82	03-35-16.76	50.0682	78.9938	5.7	1415	–51	+1	+1	+15	–0.09	–51	0
67	12.06.83	02-36-46.16	49.9250	78.8983	6.1	1320	0	–2	–19	–16	–0.04	0	–4
68	06.10.83	01-47-09.14	49.9252	78.7572	6.0	1325	–6	–65	–2	–3	+0.03	–5	–67
69	26.10.83	01-55-07.40	49.9133	78.8242	6.1	1307	–8	–25	–11	–6	+0.02	–7	–27
70	20.11.83	03-27-07.04	50.0562	78.9985	5.5	1235	–54	+7	+119	+190	–0.14	–54	+6
71	19.02.84	03-57-05.93	49.9000	78.7442	5.9	1331	–39	–11	+3	–6	–0.01	–38	–13
72	07.03.84	02-39-09.01	50.0548	78.9550	5.7	1308	–48	+11	–6	–6	–0.15	–47	+10
73	29.03.84	05-19-10.82	49.9115	78.9281	5.9	1335	–4	–12	+10	–95	–0.07	–3	–14
74	25.04.84	01-09-06.10	49.9370	78.8510	6.0	1316	–12	–4	–9	+4	–0.01	–11	–7
75	26.05.84	03-13-15.08	49.9802	79.0062	6.1	1414	–13	–6	+81	–26	–0.16	–12	–8
76	14.07.84	01-09-13.10	49.9091	78.8778	6.2	1344	+3	–6	–16	–9	–0.02	+4	–9
77	27.10.84	01-50-13.07	49.9340	78.7638	6.2	1323	+7	+1	–284	+534	–0.55	+7	+1641
78	02.12.84	03-19-09.08	50.0091	79.0088	5.9	1411	–30	+1	+6	–13	–0.14	–29	–1
79	16.12.84	03-55-05.19	49.9464	78.8078	6.1	1313	–6	+8	+5	+78	0	–6	+6
80	28.12.84	03-50-13.19	49.8794	78.7034	6.0	1353	+9	+5	+12	–117	–0.04	+9	+3
81	10.02.85	03-27-09.96	49.8986	78.7800	5.9	1340	+6	+6	–5	–6	+ 0.11	+7	+4
82	25.04.85	00-57-09.10	49.9258	78.8811	5.9	1319	+9	–3	–5	0	0	+10	–6
83	15.06.85	00-57-03.22	49.9081	78.8394	6.1	1341	+5	+34	–12	–5	–0.01	+5	+32
84	-"- -"- -"-	00-57-03.36	49.9206	78.8206	–	1061-бис	–3	–12	–	–	–	–	–
85	30.06.85	02-39-05.23	49.8639	78.6683	6.0	1354	+5	+3	0	–2	–0.10	+5	+2
86	20.07.85	00-53-17.00	49.9486	78.7839	6.0	1322	+11	0	–3	+19	–0.02	+12	–2
87	12.03.87	01-57-19.57	49.9361	78.8256	5.6	1315	–8	+33	–52	–90	+0.06	–8	+31
88	03.04.87 Д	01-17-10.22	49.9186	78.7800	6.2	1318	–5	+3	–30	+44	+0.14	–5	+1
89	17.04.87 Д	01-03-07.21	49.8836	78.6719	6.0	1384	–58	–30	–98	–134	–0.07	–57	–32
90	20.06.87	00-53-07.12	49.9369	78.7456	6.1	1326	–16	–14	–50	–84	+0.04	–16	–16
91	02.08.87	00-58-09.23	49.8808	78.8747	5.9	1348	–2	0	–69	–98	+0.04	–2	–2
92	15.11.87	03-31-09.18	49.8988	78.7567	6.1	1332	–2	+14	–132	–115	–0.01	–1	+12
93	13.12.87	03-21-07.27	49.9615	78.7934	6.1	1355	+16	–3	–38	–37	–0.02	+17	–5
94	27.12.87	03-05-07.23	49.8792	78.7247	6.1	1388	+2	+3	–111	–112	–0.01	+3	+1
95	13.02.88	03-05-08.29	49.9322	78.8681	6.1	1361	+45	–42	+18	+56	–0.01	+45	–44
96	03.04.88	01-33-08.25	49.9072	78.9072	6.0	1336	+6	+11	+126	+113	–0.04	+11	+9
97	04.05.88	00-57-09.22	49.9522	78.7481	6.1	1359	–28	+22	–134	–129	–0.07	–27	+20
98	14.06.88	02-27-09.01	50.0233	78.9597	5.1	1421	–44	+9	+197	+54	–0.01	–44	+8
99	14.09.88	03-59-59.78	49.8782	78.8235	6.1	1350	–4	–4	–1	+4	–0.01	–3	–6
100	12.11.88	03-30-06.36	50.0464	78.9692	5.7	1412	–33	–3	+9	–134	–0.09	–33	–4
101	17.12.88	04-18-09.21	49.8806	78.9236	5.9	1346	+13	+11	–15	–45	+0.03	+14	+9
102	22.01.89	03-57-09.10	49.9403	78.8175	6.1	1328	–9	+103	–85	–68	–0.04	–8	+16
103	12.02.89	04-15-09.29	49.9167	78.7131	5.9	1366	+19	–20	+13	–148	–0.03	+20	–22
104	08.07.89	03-47-00.04	49.8681	78.7792	5.6	1352	–3	+11	+95	–79	+0.05	–2	+9
105	02.09.89	04-16-59.94	50.0119	78.9858	5.0	1410	–61	–2	+197	+71	–0.09	–61	–3
106	19.10.89	09-49-59.92	49.9218	78.9089	6.0	1365	+4	–6	+152	+169	–0.02	+5	–8

Примечание – об испытаниях: Д –после указанной даты (примерно в это же время было испытание на площадке Дегелен); ? - после указанной даты (эксперимент по данным авторов не состоялся); широта и долгота, напечатанные полужирным шрифтом, - данные по [12]; секунды времени в эпицентре 30.06.75 -данные по [14].

В [10, 11] координаты эпицентров определены по данным телесейсмических наблюдений с привлечением фотоснимков, выполненных со спутников LANDSAT MSS и SPOT. По этим данным только в 21 определениях из 100 отклонение превышает 0.01о. Наиболее полные данные по координатам скважин на площадке Балапан приведены в [12], где отмечено, что "… была предпринята попытка произвести определение пространственного положения скважин с помощью прибора GPS. Площадка Балапан служила основным местом проведения этих работ. Однако применяемая аппаратура не позволила достичь требуемой точности и приходилось полученные результаты корректировать по топографической ситуации, что не всегда возможно в условиях равнинного рельефа". Тем не менее, по этому источнику только 10 определений отличаются от данных ИДГ больше, чем на 0.005о, из них только по 4 отличие больше 0.01о. Осталось неясным, однако, почему абсолютно совпали данные первых семи испытаний. Возможно, при этом были использованы данные из [13].

В [14] координаты испытаний приняты по [15], поэтому в некоторых случаях они существенно отличаются от данных, приведенных в [12]. По-видимому, Институт геофизических исследований НЯЦ РК в интервале лет 1999 – 2000 гг. провёл уточнение некоторых координат. Кроме того, в [14] перепутаны координаты испытаний, проведенных 29.08.78 г. и 15.09.78 г., что при данных исследованиях принято за техническую опечатку. Определение времени испытания выполнено методом взаимнокорреляционного анализа с использованием координат из [15], точного времени семи взрывов из [13] и сейсмограмм 4 – 10 станций. Глубина заложения заряда была принята нулевой (время в эпицентре в таблице 2 также приведено к уровню моря). Как можно видеть из таблицы 2, большинство отклонений не превышает –0.10 с, только в одном случае (27.10.84 г.) разница составляет 0.55 с и в 14 определениях отклонения составляют ±0.17 с. Таким образом, результаты определения времени в эпицентре очень хорошие.

Заключение

По результатам исследования на 12 трассах можно предположить, что граница между верхней мантией, испытывающей сжатие на интервале лет 1961 – 1992 гг., и нижней мантией, испытывающей разуплотнение, проходит на глубинах порядка 1100 – 1200 км. Наибольшая величина сжатия наблюдается на трассе, полностью проходящей в земной коре. Для оценки глобальности обнаруженного явления и его связи с сейсмичностью необходимы дальнейшие исследования в различных регионах.

Несмотря на небольшие различия в эпицентральных данных ИДГ РАН и ИГИ НЯЦ РК об испытаниях на площадке Балапан Семипалатинского полигона, они позволяют исследовать вариации динамики внутреннего строения Земли с достаточной точностью.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Геофизической службы РАН Е. Б. Тереховой и Л. С. Петуховой за помощь, оказанную при выборке необходимых сейсмограмм в архиве ЦОМЭ ГС РАН.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 05-05-65358 и № 07-05-00323).

Литература

1. Адушкин, В. В. Сейсмические наблюдения и контроль за подземными ядерными взрывами на геофизической обсерватории "Боровое" / В.В. Адушкин, В.А. Ан // Изв. АН СССР, Сер. Физика Земли, 1990. – № 12. – С. 47 – 59.
2. Кевлишвили, П. В. Отклонение времён пробега Р-волны по наблюдениям сейсмической станции экспедиции № 4 ИФЗ / П.В. Кевлишвили, В.А. Ан, Л.И. Полякова // Отчёт, фонды ГО "Боровое" ИГИ НЯЦ РК, 1977. – 16 с.
3. Гамбурцева, Н. Г. Периодические вариации параметров сейсмических волн при просвечивании литосферы мощными взрывами / Н.Г. Гамбурцева [и др.] // ДАН СССР, 1982. – Т. 266, № 6. – С. 1349 – 1353.
4. Ан, В. А. Вариации параметров сейсмических волн при просвечивании Земли на расстоянии 90о / В.А. Ан, Е.И. Люкэ, И.П. Пасечник // ДАН СССР, 1985. - Т. 285, № 4. - С. 836 – 840.
5. Старовойт, О. Е. Сейсмические станции Российской Академии Наук (состояние на 2001 г.) / О.Е. Старовойт, В.Н. Мишаткин // Москва – Обнинск: ГС РАН, 2001. – 88 с.
6. Ан, В. А. Подземный ядерный взрыв – "инструмент" исследования динамики внутреннего строения Земли / В.А. Ан, [и др.] // Вестник НЯЦ РК, 2006. – Вып. 2. – С. 27 – 32.
7. Taylor, S. R. Three dimensional crust and upper mantle structure at the Nevada test site / S.R. Taylor // J. Geo-phys. Res,. 1983. – V. 88, No. 133. – P. 2220 – 2232.
8. Ан, В. А. Циклические изменения параметров сейсмической волны Р на трассе Невада - Боровое / В.А. Ан, Е.И. Люкэ // Физика Земли, 1992. – № 4. – С. 20 – 31.
9. Гамбурцева, Н. Г. Геодинамические процессы в сейсмоактивных районах Тянь-Шаня по данным мониторинга с использованием ядерных взрывов / Н.Г. Гамбурцева [и др.] // Физика Земли, 2006. – № 4. - С. 3 – 13.
10. Thurber, C. H. Accurate locations of nuclear explosions in Balapan, Kazakhstan, 1987 to 1989 / C.H. Thurber, H.R. Quin, P.G. Richards // Geophys. Res. Lett, 1993. – V. 20, No. 5. - P. 399 – 402.
11. Thurber, C. H. Catalog of location of nuclear explosions at Balapan, Kazakhstan, 1965 to 1985 / C.H. Thurber, H.R. Quin, R. Saleh // Bull. Seism. Soc. Am., 1994. – V. 84, No. 2. – P. 458 – 461.

12. Коновалов, В. Е. Размещение объектов подземных ядерных испытаний на площадке Балапан Семипалатин-ского испытательного полигона / Коновалов В.Е., Грязнов О.В. // Вестник НЯЦ РК "Геофизика и пробле-мы нераспространения", 2000. – Вып. 2. – С. 101 – 104.
13. Бочаров, В. С. Характеристики 96 подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном по-лигоне / В.С. Бочаров, С.А. Зеленцов, В.Н. Михайлов // Атомная энергия, 1989. – Т.67. - Вып. 3. – С. 210 – 214.
14. Thurber, C. Nuclear explosion locations at the Balapan, Kazakhstan, nuclear test site: the effects of high-preci-sion arrival times and three-dimensional structure / C. Thurber [et. al] // Phys. Earth Planet. Int.,2001, No. 123. - P. 283 – 301.
15. NNCRK, 1999. Technical documentation. Proceedings of the Workshop on IMS Location Calibration, contribu-ted by the National Nuclear Centre of the Republic of Kazakhstan // Oslo. – Jan. 1999.

1961-1992 ИНТЕРВАЛЫНДА ЖЕРДІҢ ІШКІ ГЕОСФЕРАЛАР ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ӨЗГЕРУІ

Ан В.А., Годунова Л.Д., Каазик П.Б.

Ресей ғылыми академиясының Геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей

Жерасты ядролық жарылыстардан сейсмикалық толқындар жүгіру уақытын байқау деректері бойынша 1961 – 1992 ж.ж. интервалында Жердің ішкі геосфераларының күйі өзгеруі қаралған. 12 трассада зерттеу нәтижелері бойынша күнтізбелік уақытында жер қыртысы мен жоғарғы мантия қысым, ал төменгі мантия мен сыртқы ядросы нығызсыздануын шегетіні анықталған. Бір күйінен екінші күйіне өту шекарасы шамасы 1100-1200 км. терендігімен бағаланады.

EARTH INTERIOR GEOSPHERES PARAMETERS CHANGE WITHIN 1961-1992

V.A. An, L.D. Godunova, P.B. Kaazik

Institute for Dynamics of Geospheres Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Earth interior Geospheres parameters change within 1961-1992 was investigated based on observation data of seismic waves travel times caused by underground nuclear tests. Based on results of research on 12 paths it was established that earth’s crust and uppermost mantle have compression and lowermost mantle and outer core – decompression. Transition border from one state to another is determined at the depth approximately 1100 – 1200 km.

УДК 550.342:001

ИЗУЧЕНИЕ МИНУТНЫХ ГАРМОНИК СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ СЕТИ KNET

[1)]Брагин В.Д., [1)]Колдыбаев Т.К., [1)]Сычева Н.А., [2)]Тарасенко Ю.Н.

[1)]Научная станция РАН в Бишкеке
[2)]Геофизическая экспедиция Агентства по геологии КР, Бишкек

По цифровым данным киргизской сейсмологической сети KNET изучен сейсмический шум в узком частотном диапазоне 0.018 - 0.02 Гц за период 2000 - 2006 гг. Построено распределение значений амплитуды и фазы выделенной гармоники, определены корреляционные зависимости изменения амплитуды гармоники с глобальной сейсмичностью.

Введение

Перспектива установить устойчивую и строго обоснованную связь между параметрами сейсмических шумов, строением земной коры и процессами в очаге готовящегося землетрясения побуждают исследователей проводить поисковые работы. Полученный за многие годы большой массив цифровых записей способствует выполнению исследований в этом направлении.

Формирование разрывов в очаге землетрясения - нелинейный (неупругий) процесс. Значительный вклад в его изучение, согласно работам Хаврошкина О.Б., Рыкунова Л.Н., Соболева Г.А. и др. [1 - 3], может внести анализ высокочастотной части спектра записей сейсмостанций, традиционно называемой сейсмическим шумом. К сейсмическим шумовым полям относятся колебания земных структур в диапазоне периодов от микросейсмических (1 - 10^2 с и более) до высокочастотных (10^{-1} - 10^{-3} с) и сейсмоакустических (менее 10^{-3} с). За «слабым» проявлением (невыраженностью) нелинейных физических свойств геологической среды и спектральными характеристиками сейсмического шума скрываются интересные по своей геофизической и физической сути процессы.

В статье приведены результаты изучения характера соответствия между вариациями амплитуд и фаз компонент сейсмических шумов (в заданной полосе частот) и процессами подготовки сильного землетрясения. По аналогии с известными работами [1 - 3] для исследования выбрана часть спектра сейсмического шума с периодом 55 - 62 с, которая может быть отнесена к диапазону микросейсмичности.

Методика исследований

Для исследования сейсмического шума использованы цифровые записи широкополосных станций (AAK – Ала-Арча, AML -Алмалышу , CHM - Чумыш , EKS2 - Еркинсай, KBK - Карагай-Булак ,KZA - Кызарт, TKM2 - Токмак, UCH - Учтор, ULH - Улахол, USP - Успеновка) сейсмической сети KNET, расположенной на территории Северного Тянь-Шаня [4].

Исследуемые гармоники выделялись путем проведения узкополосной фильтрации сейсмических данных (абсолютных величин скоростей колебаний грунта), регистрируемых сейсмостанциями. На рисунке 1 приведен пример исходных данных (рисунок 1а) и результаты их фильтрации узкополосным фильтром Баттерворта 8 порядка в окне 55 - 62 сек (рисунок 1б). Параметры гармоники (амплитуда и фаза) рассчитывались путем усреднения значений модуля амплитуд выделенной гармоники и фаз - азимутальных углов и углов места (вертикальных углов), - за 1 - 2 суток (24 - 48 часов, периоду записи данных на CD-дисках в формате CSS3.0).

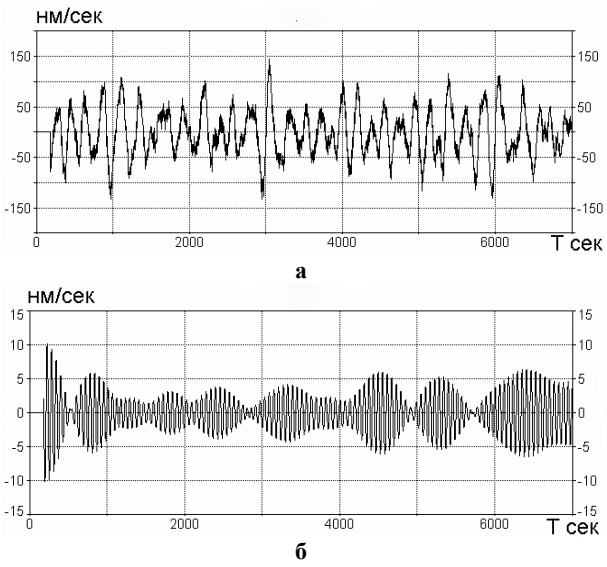


Рисунок 1. Пример записи сейсмического шума (а) и выделенной из него гармоники заданной частоты (б)

Обращает на себя внимание сложность выделенного узкополосного сигнала (рисунок 1б). Наличие амплитудной модуляции сигнала свидетельствует о параметрических или нелинейных свойствах среды, в ближайшем окружении источника осцилляций.

Полученные результаты

В результате выполненной работы построены графики изменения амплитуды и фазы гармонической компоненты в частотном диапазоне 0.018 - 0.02 Гц по всем станциям за период 2000 - 2006 гг.. На рисунке 2, приведены графики изменения амплитуды и азимутального угла выделенной гармоники по станции AAK (Ала-Арча).

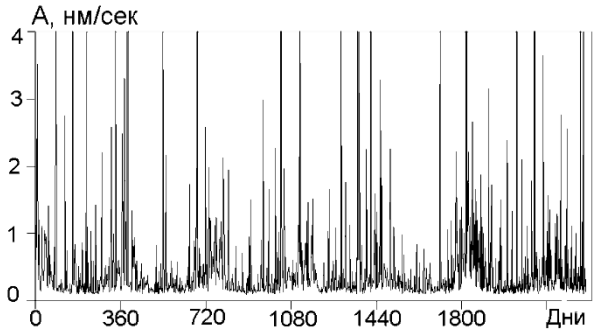
На рисунке 2а видны скачкообразные изменения амплитуды исследуемой гармоники. В некоторые моменты времени ее значения увеличиваются в десятки и сотни раз (рисунок 2б). Диапазон изменения модуля азимутального угла выделенной гармоники (значения угла при расчетах свернуты в первый квадрант) варьирует в пределах 20º - 50º (рисунок 2в).

Анализ графиков изменения амплитуды и фазы по всем станциям показал, что наблюдаются как корреляция параметров гармоники, так и локальные различия для отдельных станций. Вычисленные значения коэффициента корреляции приведены в таблице 1.

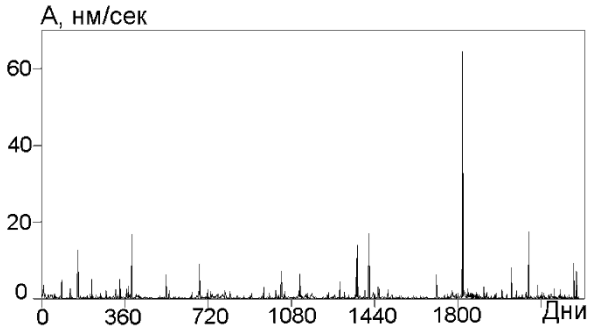
Как видно из таблицы 1, коэффициент корреляции изменяется в пределах от 0,01 до 0,98. Низкий коэффициент корреляции по некоторым парам станций можно объяснить локальными условиями среды в районе расположения станций сети в 2000 г. (станции AML, USP) и фактическим отсутствием наблюдаемой компоненты на станции CHM. Проведен перерасчет коэффициентов корреляции параметров гармоники без данных 2000 г., результаты которого представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, коэффициент корреляции варьирует от 0,83 до 0,98. Повышение коэффициентов корреляции может свидетельствовать об изменении свойств среды в районе расположения станций AML, USP. На рисунке 3 приведено изменение во времени амплитуды выделенной гармоники сейсмических шумов по станциям KBK и TKM2.

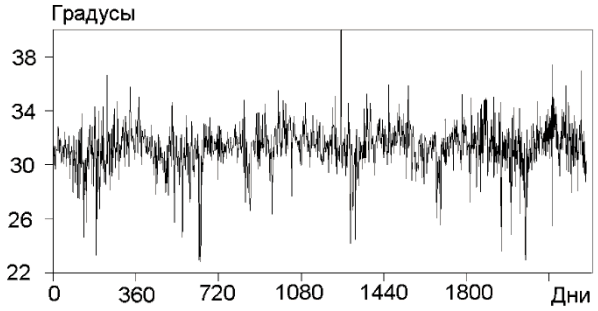
Дальнейший анализ временных рядов изменения амплитуды состоял в выделении годовой периодичности. Как видно из рисунка 4, где для станции EKS2 приведен график изменения амплитуды (рисунок 4а) и ее годовых кумулятивных значений (рисунок 4б), максимум амплитуды гармоники приходится на начало каждого года, а минимум - на середину лета.



а – амплитуда в увеличенном масштабе по шкале Y



б – амплитуда в исходном масштабе по шкале Y



в – азимутальный угол

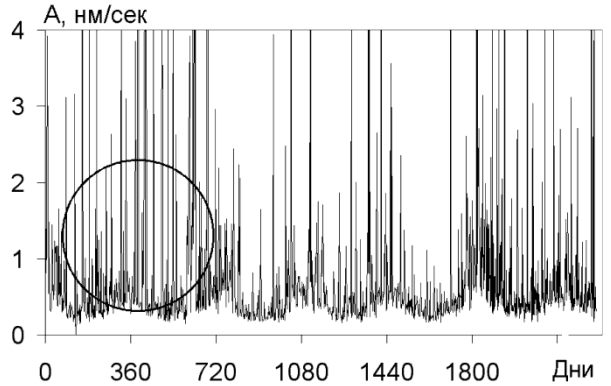
Рисунок 2.Станция Ала-Арча. Изменение параметров минутной гармоники во времени за период 2000 - 2006 гг.

Таблица 1. Вычисленные значения коэффициентов корреляции

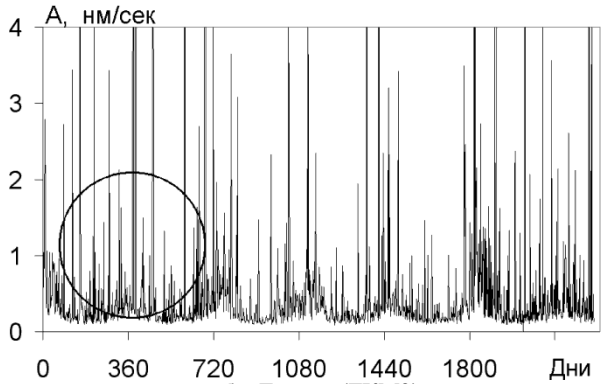
№№	Коэффициент корреляции для N=2325										
		AAK	AML	CHM	EKS2	KBK	KZA	TKM2	UCH	ULHL	USP
1	AAK	1	0,01	0,19	**0,89**	**0,66**	**0,87**	**0,89**	**0,88**	**0,79**	0,15
2	AML	0,01	1	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00
3	CHM	0,19	0,00	1	0,01	0,12	0,18	0,10	0,19	0,07	0,02
4	EKS2	**0,89**	0,01	0,01	**1**	**0,61**	**0,90**	**0,99**	**0,82**	**0,92**	0,13
5	KBK	**0,66**	0,01	0,12	**0,61**	**1**	**0,63**	**0,60**	**0,60**	**0,52**	0,10
6	KZA	**0,87**	0,01	0,18	**0,90**	**0,62**	**1**	**0,90**	**0,82**	**0,80**	0,14
7	TKM2	**0,89**	0,01	0,10	**0,99**	**0,60**	**0,90**	**1**	**0,82**	**0,92**	0,13
8	UCH	**0,88**	0,03	0,19	**0,82**	**0,60**	**0,82**	**0,82**	**1**	**0,78**	0,11
9	ULHL	**0,79**	0,01	0,07	**0,92**	**0,52**	**0,80**	**0,92**	**0,78**	**1**	0,11
10	USP	0,15	0,00	0,02	0,13	0,10	0,14	0,13	0,11	0,11	1
Примечание – закрашены значения коэффициента корреляции, превышающие 0,5.											

Таблица 2. Пересчитанные коэффициенты корреляции (без данных 2000 г.)

№№	Коэффициент корреляции для N=2325										
		AAK	AML	CHM	EKS2	KBK	KZA	TKM2	UCH	ULHL	USP
1	AAK	1,00	0,98	0,06	0,91	0,87	0,88	0,91	0,91	0,83	0,94
2	AML	0,98	1,00	0,06	0,90	0,86	0,86	0,89	0,88	0,80	0,93
3	CHM	0,06	0,06	1,00	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05	0,05	0,07
4	EKS2	0,91	0,90	0,06	1,00	0,80	0,92	1,00	0,85	0,93	0,87
5	KBK	0,87	0,86	0,06	0,80	1,00	0,83	0,80	0,81	0,70	0,92
6	KZA	0,88	0,86	0,07	0,92	0,83	1,00	0,92	0,84	0,84	0,90
7	TKM2	0,91	0,89	0,06	1,00	0,80	0,92	1,00	0,84	0,93	0,87
8	UCH	0,91	0,88	0,05	0,85	0,81	0,84	0,84	1,00	0,81	0,88
9	ULHL	0,83	0,80	0,05	0,93	0,70	0,84	0,93	0,81	1,00	0,76
10	1USP	0,94	0,93	0,07	0,87	0,92	0,90	0,87	0,88	0,76	1,00
Примечание – закрашены значения коэффициента корреляции, превышающие 0,7.											

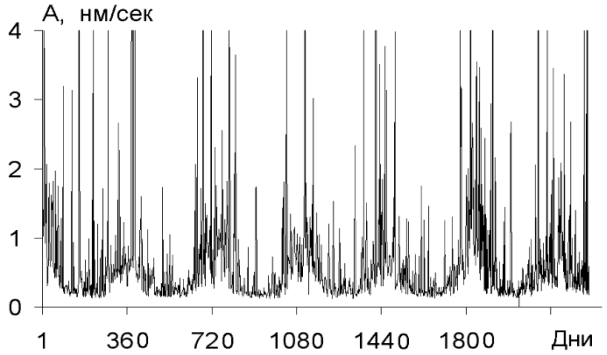


а – Карагай-Булак (KBK)

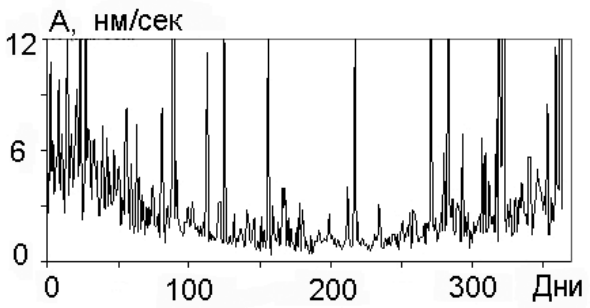


б – Токмак (TKM2)

Рисунок 3. Изменение амплитуды выделенной гармоники во времени за период 2000 - 2006 гг. по станциям



а

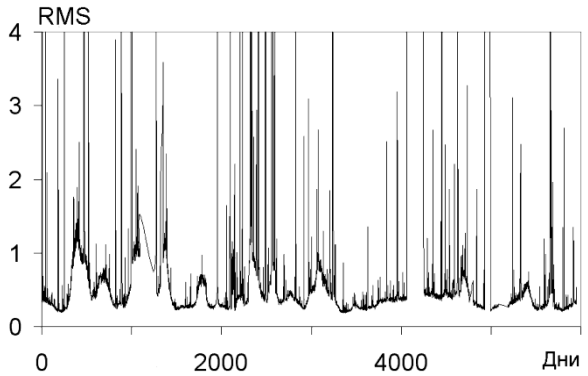


б

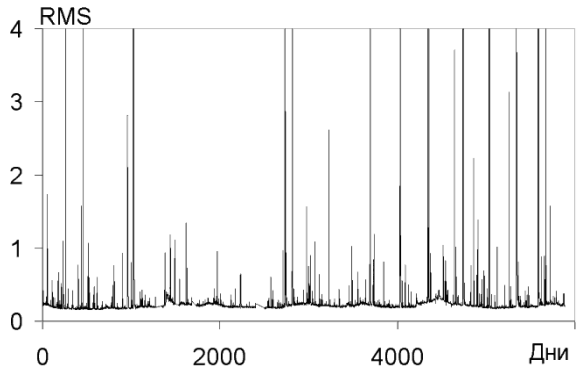
Рисунок 4. Станция Еркинсай (EKS2). Наблюдаемая периодичность изменения амплитуды выделенной гармоники (а) и ее годовые кумулятивные значения (б)

Отдельного анализа заслуживает график кумулятивных значений амплитуды, полученный методом наложения эпох. Как видно из рисунка 4б, в определенные дни исследуемых лет (2000 - 2006) наблюдаются пикообразные изменения амплитуды. Интерпретация полученного результата зависит от выбранного подхода. Если считать, что наблюдаемые изменения амплитуды определяется «какими-то» неизвестными на данный момент времени источниками, то можно сделать вывод, что существуют источники, не зависящие от сейсмического процесса в мире, которые осциллируют в определенные даты в пределах каждого года. Если предположить существование связи наблюдаемых изменений амплитуды с конкретными сейсмическими событиями, то следует согласиться, что сейсмический процесс не случаен и часть сильных землетрясений в мире происходил в одно и тоже время внутри анализируемых годов. Для однозначного ответа на вопрос «с чем связано подобное поведение кумулятивных значений амплитуд?», необходимы дополнительные исследования.

Рассчитано и проанализировано изменение среднего значения квадрата (RMS) случайного процесса (сейсмического шума) в 15-ти минутном окне в зимние и летние месяцы года. Установлено, что средний его уровень в летние месяцы ниже, чем в зимние месяцы. В зимние месяцы наблюдается некоторая периодичность (период ≈ 10 суток), когда уровень RMS повышается и характеризуется более значительными перепадами значения (рисунок 5).



а – в зимние месяцы (декабрь, январь)



б – летние месяцы (июнь, июль)

Рисунок 5. Станция Ала-Арча. Изменение RMS сейсмического шума за каждый 15 минутный интервал времени

Таблица 3. Значения амплитуды исследуемой гармоники сейсмического шума, зарегистрированного станциями во время Суматро-Андаманского землетрясения 26 декабря 2004 г.

Станция	AAK	AML	CHM	EKS2	KBK	KZA	TKM2	UCH	ULHL	USP
A (нм/сек)	64	61	63	191	68	74	181	62	183	61

Выше было отмечено, что в некоторые моменты времени происходит резкое увеличение амплитуды исследуемой гармоники шума, что может быть вызвано крупными сейсмическими событиями. Например, во время Суматро-Андаманского землетрясения 26 декабря 2004 г. с M=9,0 (каталог PDE - Preliminary Determination of Epicenters, предварительный каталог Геологической службы США) средний уровень амплитуды исследуемой гармоники превысил фоновое значение в сотни раз. Значения амплитуды по каждой станции приведены в таблице 3.

На большинстве станциях уровень амплитуды шума изменяется в пределах 61 - 74 нм/сек, а на станции EKS2, TKM2 и ULHL ее уровень в 2 - 3 раза выше. Для изучения связи между возрастанием амплитуды гармоники во времени и глобальными сейсмическими событиями были определены даты скачкообразного изменения амплитуды выше порога 2 нм/сек, из каталога PDE выделены события с M>7 за 2000 - 2006 гг. и построены совместные графики сейсмичности и изменения амплитуды. На рисунке 6 представлен полученный результат.

Как видно из рисунка 6, дням с повышенными значениями амплитуды гармоники соответствует землетрясение с M>7, отчетливо зарегистрированное сейсмологической сетью KNET. Выявление связи возрастания амплитуды гармоники с сейсмичностью привело к постановке следующего вопроса: как меняется амплитуда гармоники непосредственно в момент землетрясения? Для этого были определены почасовые значения амплитуды гармоники непосредственно до Суматро-Андаманского землетрясения и после него. Полученные результаты приведены на рисунке 7.

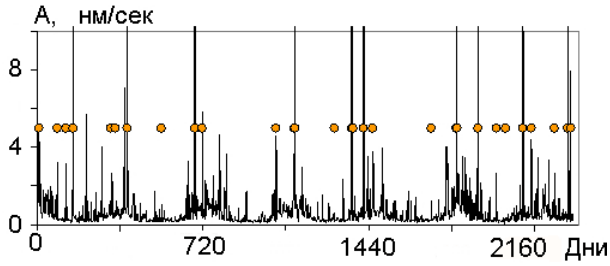
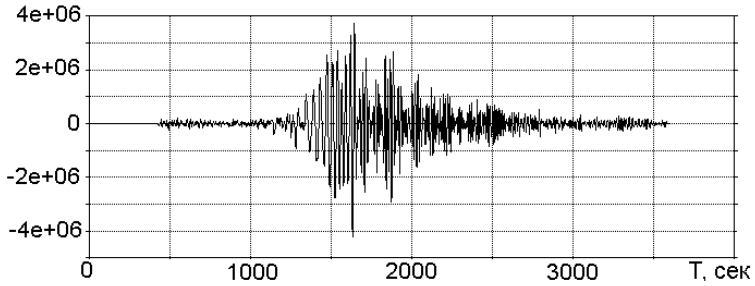
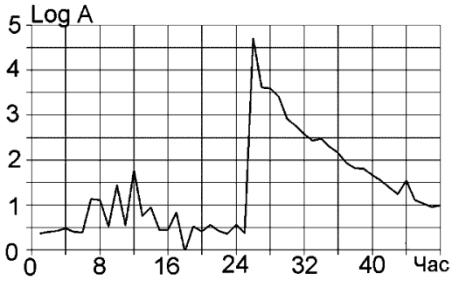


Рисунок 6. Связь между изменением амплитуды минутной гармоники и глобальной сейсмичностью (M>7). Сейсмические события помечены точками



а



б

Рисунок 7. Сейсмограмма Суматро-Андаманского землетрясения, зарегистрированная сетью KNET (а) и изменение амплитуды выделенной гармоники (в логарифмическом масштабе) до и после землетрясения (б)

Как видно из приведенного рисунка, за несколько часов до землетрясения наблюдается заметный рост амплитуды выделенной гармоники, который сменяется сначала несколькими часами относительного затишья, а затем, в момент самого землетрясения резким скачком. Последующий спад амплитуды изучаемой гармоники происходит по экспоненциальному закону в течение более суток. С чем связан подобный спад активности – либо с высокой добротностью среды, либо с ее дополнительной энергетической подпиткой, либо с афтершоковой деятельностью в гипоцентральной области, – пока неясно. Для выяснения причины требуется проведение дополнительных исследований.

Заключение

Обработан большой массив данных, зарегистрированных 10 станциями киргизской сети KNET за период 2000 - 2006 гг. (порядка 1400 CD-дисков), и получены следующие результаты:

- Рассчитаны значения амплитуды и фазы гармоники с периодом 55 - 62 секунд.
- Установлено резкое изменение амплитуды наблюдаемой гармоники (в сотни раз) в моменты времени, совпадающие с сильными землетрясениями.
- Выявлена годовая периодичность в изменении значений амплитуды изученной гармоники.

Необходимы дальнейшие исследования, при которых представляется интересным провести сравнение полученных данных с сейсмическими шумами на станциях, расположенных на удалении от сети KNET.

Литература

1. Рыкунов, Л.Н. Методика и некоторые результаты статистического исследования высокочастотных микросейсм / Л.Н. Рыкунов, О.Б. Хаврошкин, В.В.Цыплаков // Вулканология и сейсмология. 1981. – № 1. – С. 64 - 69.
2. Хаврошкин, О.Б. Сейсмическая нелинейность. / О.Б. Хаврошкин // М.: ОИФЗ РАН – 2000 – 110 с.
3. Соболев, Г.А. Вариации микросейсм перед сильным землетрясением / Г.А. Соболев // Физика Земли. – 2004. – № 6. – С. 3 – 13.
4. Сычева, Н.А. Сейсмотектонические деформации земной коры Северного Тянь-Шаня (по данным определений механизмов очагов землетрясений на базе цифровой сейсмической сети KNET) / Н.А. Сычева [и др.] // Физика Земли. – 2005. – № 11. – .С. 62 – 78.

KNET ЖЕЛІНІҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША СЕЙСМИКАЛЫҚ ШУДЫҢ МИНУТТЫҚ ГАРМОНИКАЛАРЫН ЗЕРДЕЛЕУ

[1)]Брагин В.Д, [1)]Колдыбаев Т.К., [1)]Сычева Н.А., [2)]Тарасенко Ю.Н.

[1)]Бишкектегі РҒА ғылымистанциясы
[2)]ҚР Геология жөніндегі агенттігінің геофизикалық экспедициясы, Бишкек

KNET қырғыз сейсмикалық желінің цифрлық деректері бойынша 2000-2006 ж.ж. кезеңіне тар жиілікті ауқымында (0.018 - 0.02 Гц) сейсмикалық шуы зерделенген. Айырып алынған гармониканың амплитуда мен фазаның таралуы құрылған, глобаль сейсмикалылығымен гармоника амрлитудасы өзгеруінің корреляциялық байланыстары анықталған.

MINUTE OSCILLATION STUDY OF SEISMIC NOISEUSING KYRGHYZ KNET NETWORK

[1)]V.D. Bragin, T.K. [1)]Koldybaev, [1)]N.A. Sycheva, [2)]Yu.N. Tarasenko

[1)]Scientific Station of RAS in Bishkek
[2)]Geophysical expedition for the Agency on geology, Bishkek, Kyrgyzstan

The seismic noise was studied by the data of KNET seismic network for time interval 2000-2006, for narrow band frequency of 0.018-0.02Hz. The diagrams of distribution of amplitude and phase of distinguished harmonic have been built. Correlations of change of amplitude of the harmonic with global seismicity has been determined.

УДК 534.2:551.596

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЛН НА ОСНОВЕ СЕЙСМО-АКУСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ КАРЬЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В РАЙОНЕ СТАНЦИИ IS31-АКТЮБИНСК

[1)]Еверс Л., [2)]Смирнов А.А., [2)]Аристова И.Л.

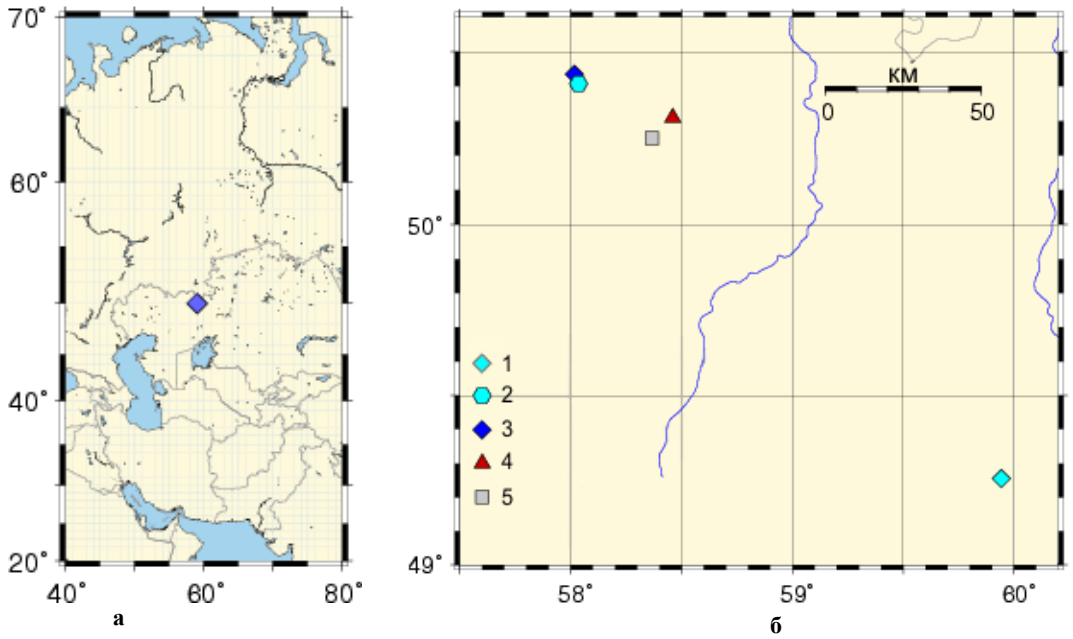
[1)]Метеорологический институт Нидерландов, Де Бильт, Голландия
[2)]Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Представлены результаты сейсмоакустического анализа взрывов, произведенных в одном из хромитовых карьеров Западного Казахстана. На основе совместного рассмотрения инфразвуковых и сейсмических компонент сигналов взрывов, зарегистрированных инфразвуковой станцией IS31-Актюбинск и сейсмической станцией Акбулак в первом полугодии 2004 г., изучено влияние сезонных изменений состояния атмосферы на прохождение инфразвуковых волн.

На северо-западе Казахстана с 2001 г. действует инфразвуковая группа IS31-Актюбинск [1], а с 2003 г. - сейсмическая группа Акбулак [2]. Сейсмическая группа расположена в 188 км на юго-запад от инфразвуковой группы (рисунок 1).

Инфразвуковая группа (рисунок 2а) состоит из 8 микробарометров MB2000, ее апертура 2 км. Сейсмическая группа включает 9 вертикальных скважинных сейсмометров и один трехкомпонентный сейсмометр (рисунок 2б). Апертура сейсмической группы – 4 км.

В районе расположения наблюдательных станций находится большое число предприятий горнодобывающей промышленности, где производится значительное количество промышленных взрывов. Часто эти взрывы регистрируются и инфразвуковой, и сейсмической группами, что позволило использовать полученные записи сигналов для совместного сейсмоакустического анализа. В статье приведены результаты анализа сейсмических и инфразвуковых записей взрывов, произведенных в карьерах вблизи города Хромтау (рисунок 1б). Изучен период с 1-го по 180-й день 2004 г., т. е. период перехода от зимы к лету. Использование сейсмических записей позволило получить данные о таких параметрах взрывов как время в источнике и энергия, независящие от дня года. Инфразвуковые сигналы использованы для получения сезонно-зависимых портретов состояния атмосферы.



1 – сейсмическая группа Акбулак; 2 – инфразвуковая группа IS31-Актюбинск;
3 – трехкомпонентная сейсмическая станция AS059-Актюбинск; 4 –карьеры; 5 – карьер Хромтау

Рисунок 1. Западный Казахстан Взаимное расположение инфразвуковой группы IS31-Актюбинск, сейсмической группы Акбулак и карьеров

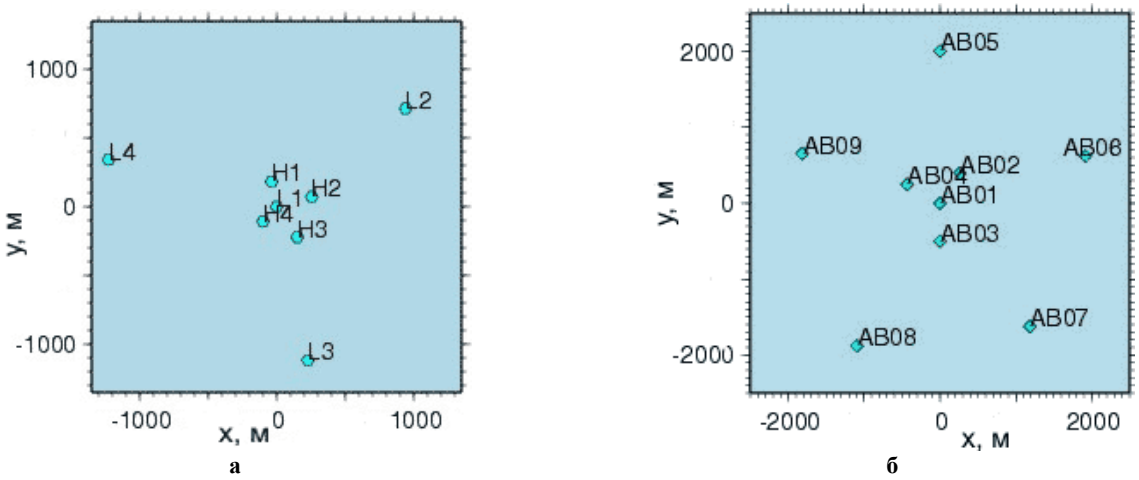


Рисунок 2. Конфигурация инфразвуковой группы IS31 Актюбинск (а) и сейсмической группы Акбулак (б)

Вычисленные значения амплитуды, азимута прихода и кажущейся скорости инфразвуковых сигналов были сопоставлены с изменениями параметров атмосферы, рассчитанными с использованием ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), а также данных метеостанции, которая установлена на инфразвуковой станции. Общее представление о структуре и динамике изменения атмосферы дает модель, построенная по данным ECMWF и приведенная на рисунке 3. Здесь показано изменение скорости зональных ветров (верхняя часть), скорости меридиональных ветров (средняя часть) и температуры (нижняя часть) в зависимости от дня года и высоты.

Для выявления связи между состоянием атмосферы количеством и параметрами регистрируемых событий ко всем данным, полученным сейсмической и инфразвуковой станциями за изучаемый период, применен Фишеровский детектор во временной области для определения азимута прихода и кажущейся скорости сигнала (рисунок 4).

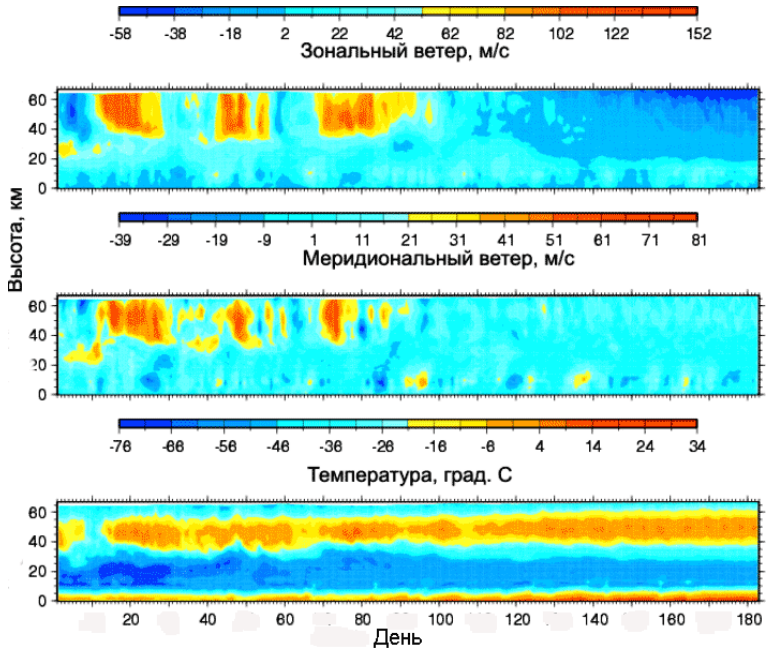


Рисунок 3. Зависимость скорости зональных ветров (вверху), меридиональных ветров (в центре) и температуры от дня года и высоты (по данным ECMWF). Данные первой половины 2004 г.

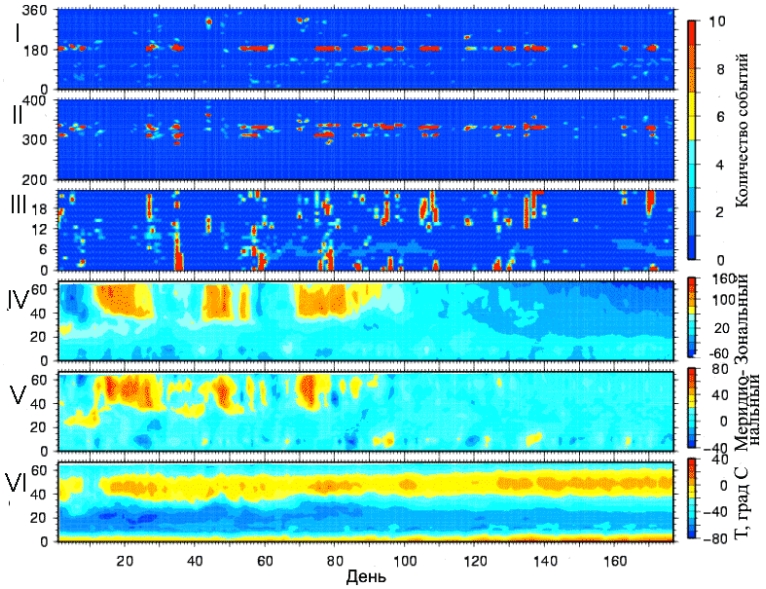


Рисунок 4. Количество событий в зависимости от дня года и азимута прихода(I), кажущейся скорости(II), времени дня (III). Модель атмосферы (IV – VI)

Красным цветом на рисунке выделены области, которым соответствует более 10 детектированных событий. Анализ диаграмм и сравнение их с моделями атмосферы, приведенными на рисунке 4, показал, что:

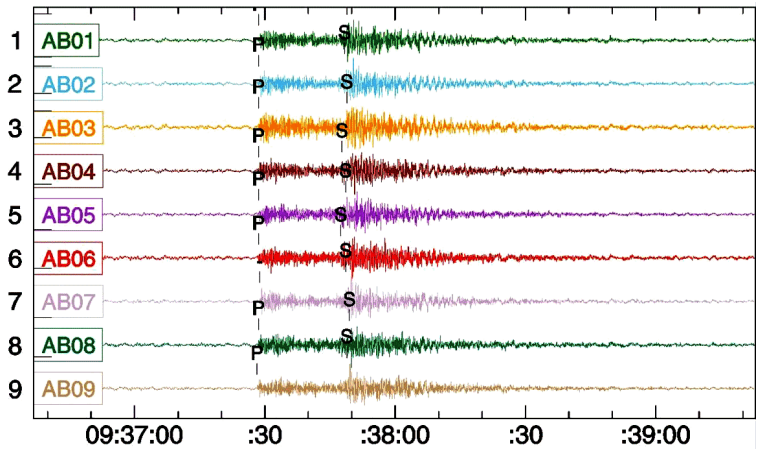
1. В течение исследуемого периода часто регистрируются данные от источника с баказимутом 190°.

2. Инфразвуковые сигналы, приходящие с запада исчезают по мере того, как зональные ветра весной меняют направление с западного на восточное.

3. Имеется несколько периодов, когда общее количество событий резко падает, например между 14 и 24, 37 и 43, 110 – 118, 140 и 150 днями. Это может быть вызвано отсутствием волноводов во время смены направления атмосферных ветров и наличием периодов высокой турбулентности, например, в жаркие летние дни.

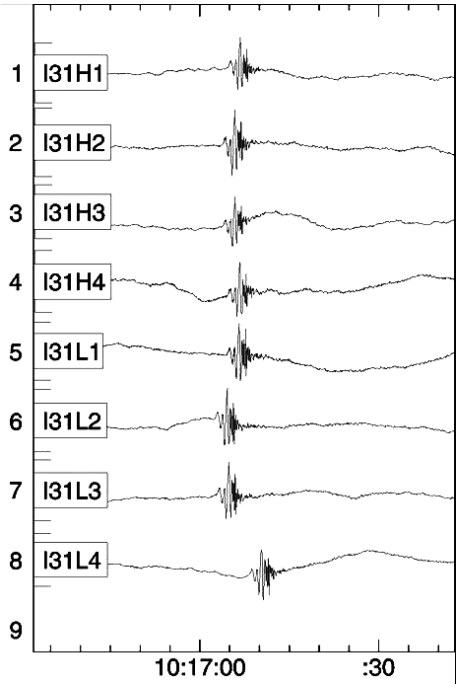
Для изучения влияния состояния атмосферы на прохождение инфразвука был произведен сейсмоакустический анализ сигналов карьерных взрывов. За первые 6 месяцев 2004 г. сейсмическая группа Акбулак зарегистрировала 60 взрывов, произведенных в карьерах Хромтау, с магнитудой, не существенно различающейся для разных событий. Инфразвуковая группа зарегистрировала только 24 из 60 взрывов. На рисунке 5 показан пример сейсмических сигналов, использованных для определения времени в источнике.

На рисунке 6 показан пример записей инфразвуковой группы взрывов в карьере, произведенных 6 января (рисунок 6а) и 8 июня (рисунок 6б) 2004 г. Видно, что отношение сигнал/шум у записи зимнего взрыва выше, чем у записи летнего взрыва.

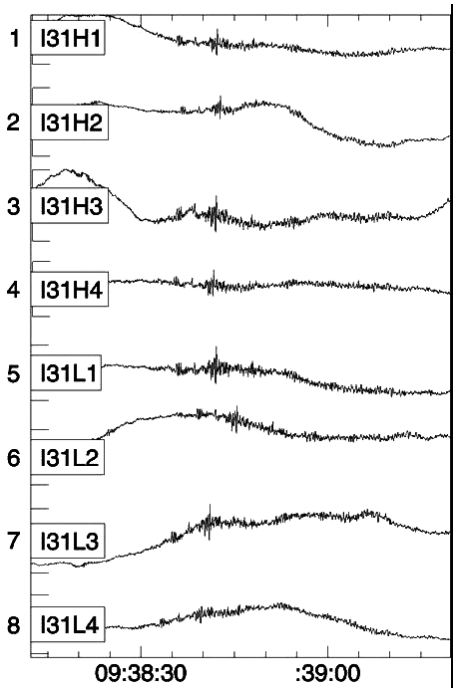


По оси абсцисс – время (час: минута: секунда)

Рисунок 5. Пример сейсмического сигнала, использованного для определения времени в источнике



а – 6 января 2004 г

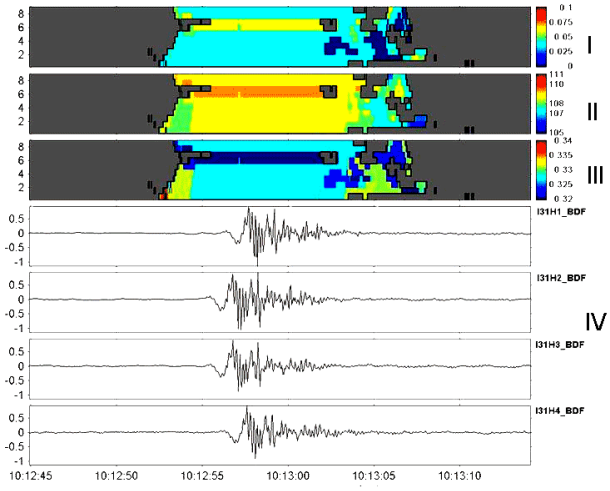


б – 8 июня 2004 г.

По оси абсцисс – время (час: минута: секунда)

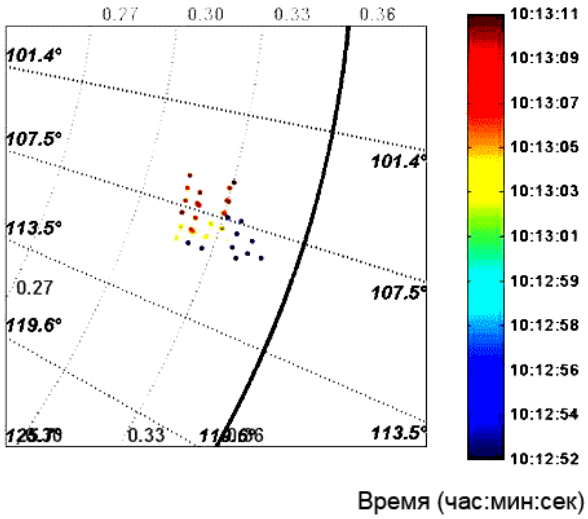
Рисунок 6. Сигналы взрывов, зарегистрированных каналами инфразвуковой группы IS31-Актюбинск

Записи всех 24 взрывов, зарегистрированных инфразвуковой группой IS31-Актюбинск, были обработаны с применением программы, реализующей метод прогрессивной многоканальной корреляции - PMCC (Progressive Multi-Chennel Correlation; CEA-DASE-LDG, France). На рисунке 7 показаны использованные волновые формы (рисунок 7 а, IV) и семейства, рассчитанные с применением PMCC (рисунок 7 а, I -III). На полярной диаграмме (рисунок 7 б) показано распределение элементарных детектирований в плане.



По оси абсцисс – время (час: минута: секунда)

а

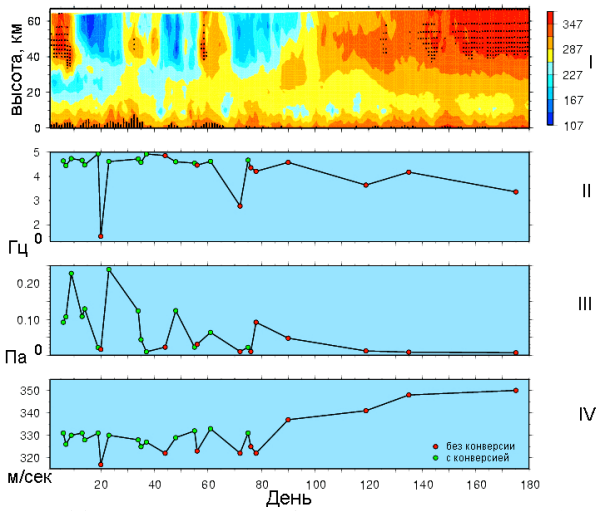


б

I – согласованность (сек); II – азимут (град); III – скорость (км/сек); IV – записи каналов H1 – H4

Рисунок 7. Результаты расчета программой PMCC параметров инфразвуковых сигналов зарегистрированных IS31-Актюбинск (а) и распределения элементарных детектирований (б)

Результаты расчетов программой РМСС записей карьерных взрывов приведены также на рисунке 8. Здесь показана зависимость от дня года средней частоты и амплитуды по семействам и кажущейся скорости. На рисунке 8, I показано распределение эффективной скорости звука в зависимости от высоты и дня года. Эффективная скорость звука – это скорость звука, рассчитанная с учетом температуры и поправки за ветер в направлении от места события до станции. Черными кружками показаны отражающие площадки в атмосфере. На рисунке 8,II – IV приведены графики частоты, амплитуды и кажущейся скорости, на которых значения параметра показаны зелеными кружками, если во время взрыва отражающие площадки в атмосфере существовали, и красными, - если их не было.



I '- эффективная скорость (м/сек); II – средняя частота (Гц); III – средняя амплитуда (Па); IV – кажущаяся скорость (м/сек)

Рисунок 8. Результаты обработки программой РМСС инфразвуковой записи карьерного взрыва

Сравнительный анализ графиков показал, что значения кажущейся скорости возрастают с возрастанием высоты отражения инфразвука. Отсутствие тропосферных волноводов весной - летом приводит к тому, что лучи преломляются на больших высотах в тропосфере. Амплитуда сигнала падает из-за возрастания поглощения в более высоких слоях атмосферы. То же самое происходит с частотой из-за более сильного поглощения высокочастотной составляющей сигнала. Более внимательное прослеживание разницы между случаями наличия и отсутствия отражающих площадок, показало, что:

1. Если отражающих площадок нет зимой, сигнал приходит с более низкой кажущейся скоростью. Разница составляет около 10 м/с с более высокими значениями кажущейся скорости летом, объясненной выше.

2. В большинстве случаев, когда зимой нет отражающих площадок, сигнал приходит с наименьшими амплитудами. Большинство случаев низких амплитуд и наличия отражающих площадок близко к случаям отсутствия отражений. Вероятно, это вызвано в данных случаях тем, что существующие отражающие площадки начинают исчезать.

Учитывая вышеописанное, можно предположить, что сигналы со скоростью от 315 м/с до 335 м/с приходят через волноводы в тропосфере. Сигналы, имеющие более высокие значения кажущейся скорости, отражаются на больших высотах.

В целом можно сделать вывод, что карьерные взрывы являются отличным источником для определения способности станции детектировать инфразвуковые события и оценивать их параметры в задачах инфразвукового мониторинга. Проведено детектирование и идентификация событий по различным инфразвуковым фазам (прямым и отраженным) при наличии и отсутствии волноводов в тропосфере.

Литература

1. Демин, В.Н. Новая инфразвуковая станция международной системы мониторинга в Казахстане IS31- «Актюбинск» / В.Н. Демин, В.Н., В.Г. Кунаков, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. –Вып. 2. - С. 14 - 18.
2. Тейнор, Л. Новая сейсмическая группа Акбулак: выбор места размещения, аппаратура, система коммуникаций. / Л. Тейнор, Р. [и др.] // Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2004. – Вып.2. – С. 5 – 12.

IS31-АҚТӨБЕ СТАНЦИЯ АУДАНЫНДА КАРЬЕРЛЕРДЕГІ ЖАРЫЛЫСТАР СИГНАЛДАРЫН СЕЙСМО-АКУСТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ ИНФРАДЫБЫСТЫҚ ТОЛҚЫНДАР ӨТУІНЕ АТМОСФЕРА КҮЙІНІҢ ӘСЕРІН ЗЕРДЕЛЕУ

[1)]Еверс Л., [2)]Смирнов А.А., [2)]Аристова И.Л

[1)]Нидерланд Метеорология институты, Де Бильт, Голландия
[2)]ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Батыс Қазақстанның хромит карьерлерінің бірінде жүргізілген жарылыстарды сейсмоакустикалық талдауының нәтижелері келтірілген. 2004 ж. бірінші жарты жылдығында IS31-Ақтөбе инфрадыбыстық станциямен және Ақбұлақ сейсмикалық станциямен тіркелген жарылыстар сигналдарының құрауыштарын бірлестіріп қарау негізінде инфрадыбыстық толқындары өтуіне атмосфера күйінің маусымдық өзгерулерінің әсері зерделенген.

SEISMO-ACOUSTIC ANALYSIS OF QUARRY BLASTS IN THE IS31- AKTYUBINSK REGION AND THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC CONDITIONS ON INFRASONIC WAVE PROPAGATION

[1] L. Evers, [2]A.A. Smirnov, [2]I.L. Aristova

[1] Netherlands Meteorological Institute(KNMI) AE De Bilt, the Netherlands
[2]Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper gives the results of seismo-acoustic analysis of the blasts carried out in one of the chromite winning quarry of the Western Kazakhstan. Seasonal change of the atmospheric conditions influence onto the infrasonic wave propagation has been studied using the records of infrasound and seismic components of the blasts signals registered by the infrasound station IS31-Aktyubinsk and the seismic station Akbulak for the first six months of 2004.

УДК 550.34+551.596:52(15)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПОИСКЕ МЕСТА ПАДЕНИЯ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «ДНЕПР»

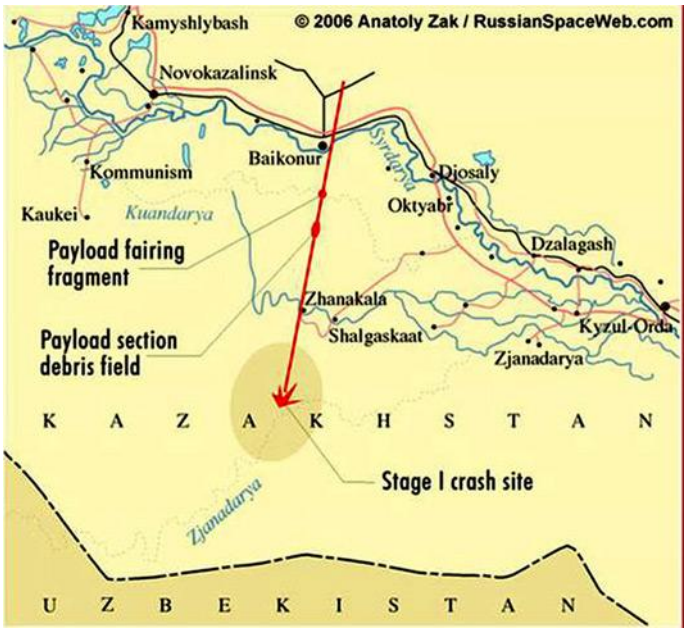
Михайлова Н.Н.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Показана возможность использования сейсмических и инфразвуковой станций для мониторинга запуска с космодрома Байконур и движения ракеты-носителя, включая оперативный поиск мест падения ракет-носителей и их ступеней в случае аварийных ситуаций.

26 июля 2006 г. в 23 часа 43 мин. по московскому времени с площадки 109 космодрома Байконур стартовала ракета-носитель «Днепр» [1]. На борту ракеты находилось ценное оборудование, в том числе белорусский космический аппарат BelKA. По информации агентства Интерфакс, уже во время сжигания первой ступени ракеты-носителя через 86 с после запуска, т.е. за несколько десятков секунд до запланированного отключения двигателей, произошла авария. Точное место падения ракеты-носителя в первые двое суток было неизвестно. Из первых сообщений заместителя директора Роскосмоса Юрия Носенко следовало, что ракета-носитель упала в 25 км к югу от стартовой площадки. 27 июля МЧС Республики Казахстан сообщило, что авария ракеты произошла через 73 секунды, и она упала в 189,6 км от стартовой площадки в 6 км на северо-восток от зимнего пастбища Тагай близ границы с Узбекистаном. Руководители космодрома Байконур сообщили, что первые попытки использовать самолет Ан-2 для поиска места падения ракеты Днепр оказались безуспешными. Только 28 июля агентство РИА-новости сообщило, что поисковая команда из МЧС РК обнаружила место падения в 150 км на юго-запад от Байконура. В средствах массовой информации был показан кратер диаметром порядка 30 м. и глубиной порядка 3 м. На месте взрыва и пожара было видно всего несколько фрагментов ракеты. Судя по форме кратера, ракета падала вертикально вниз. На рисунке 1 показаны запуск и общая схема расположения района падения ракеты-носителя относительно космодрома Байконур по [www.RussianSpaceWeb.com] .

Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации (далее Центр данных) в режиме реального времени получает непрерывные данные сейсмических и инфразвуковой станций, расположенных на территории Казахстана и входящих, вместе с Центром данных, в систему геофизического мониторинга, находящуюся под управлением ИГИ НЯЦ РК. С использованием записей сейсмических и инфразвуковых сигналов, зарегистрированных в период происшедших событий, проведен анализ с целью определения места падения ракеты-носителя «Днепр».



а **б**

Рисунок 1. Запуск и примерное место падения ракеты-носителя «Днепр» по [электронный ресурс - www.RussianSpaceWeb.com]

Сейсмические данные

В составе сети станций НЯЦ РК, начиная с 2001 г., работают новые сейсмические группы, оснащенные современным регистрирующим и коммуникационным оборудованием. В частности, совместно с AFTAC (США) созданы и действуют две сейсмические группы – Каратау-KKAR в южном Казахстане [2] и Акбулак-ABKAR в Западном Казахстане [3]. Каждая группа объединяет по девять скважинных однокомпонентных узкополосных высокочувствительных станций и по одной трехкомпонентной широкополосной станции. Данные всех элементов групп в режиме реального времени собираются в Центре данных в г. Алматы. От места падения ракеты-носителя «Днепр» обе станции удалены на расстояния 600 - 700 км. Взаимное расположение сейсмических станций и места падения ракеты-носителя показано на рисунке 2.

Были просмотрены записи всех станций за период, относящийся ко времени запуска ракеты-носителя. Только на записях двух сейсмических станций - Акбулак и Каратау, - удалось обнаружить сигналы, свидетельствующие о произошедшем событии. На остальных станциях НЯЦ РК сигналов отмечено не было. Вид сейсмограмм, зарегистрированных трехкомпонентными станциями, приведен на рисунке 3.

По отобранным фрагментам записей проведена обработка сигналов, которая включала выделение сейсмических фаз, определение времен вступлений сейсмических волн. Затем по этим данным проведена локализация события, определены время падения ракеты-носителя на поверхность Земли и энергетические характеристики события. Следует отметить, что зарегистрированные сигналы являются довольно слабыми и для их более четкого выделения на фоне сейсмических шумов использована частотная фильтрация. На рисунке 4 представлены результаты обработки записей изучаемого события в виде копии из сейсмологического интерактивного бюллетеня Центра данных за 26 июля 2006 года [4].

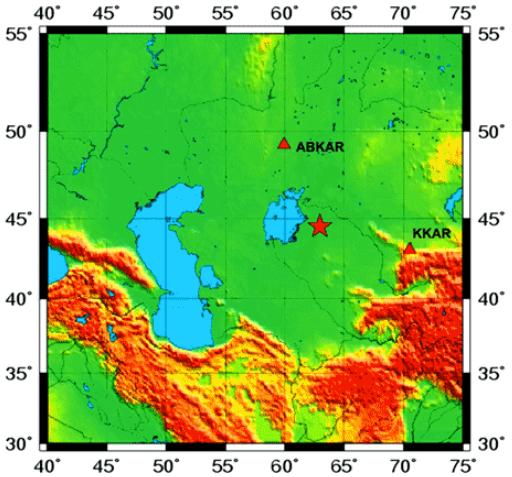


Рисунок 2. Взаимное расположение сейсмических групп Акбулак (ABKAR) и Каратау (KKAR) (треугольники) и место падения ракеты-носителя «Днепр» (звездочка)

Все времена на рисунках и в тексте даны по Гринвичу (UTC), т.е. на 6 часов меньше локального времени.

Как следует из окончательных результатов обработки, эпицентр события определен в 571 км от станции Акбулак и в 725 км от станции Каратау. Время падения ракеты-носителя - 19 часов 47 минут 10,59 секунд по Гринвичу. Выделившаяся сейсмическая энергия соответствует энергии землетрясения с энергетическим классом 6, магнитуда mpv = 2,44. Такое сейсмическое событие относится к разряду слабых и то, что сигналы от него зарегистрированы и распознаны на фоне шумов, явилось результатом высокой чувствительности созданных сейсмических групп. Следует отметить также, что по магнитуде событие не является представительным для данного района и при других шумовых условиях оно, возможно, могло быть не зарегистрировано.

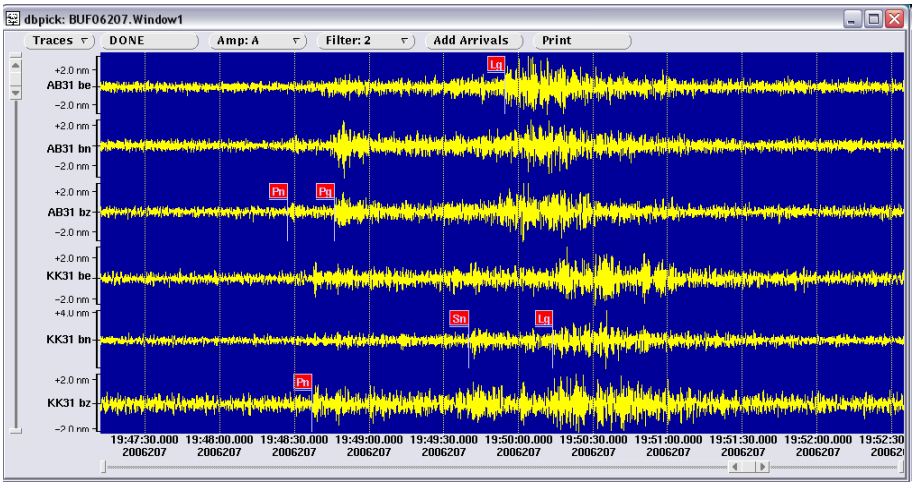


Рисунок 3. Записи падения ракеты-носителя «Днепр» станциями Акбулак (три верхние трассы) и Каратау (три нижние трассы)

Text Editor - sov_bul06207.txt

File Edit Format Options Help

```
Event  6207035  WESTERN KAZAKHSTAN

Date          Time        Err   RMS Latitude Longitude  Smaj  Smin  Az Depth   Err Ndef Nsta Gap  mdist  Mdist Qual   Author      OrigID
2006/07/26 19:47:10.59   7.79  2.05  44.5302   62.9537  108.2  18.7  38   0.0  -1.0    6    0  32   5.15   5.63 a i uk spep      6207035

Magnitudes
mb      2.86
mpv     2.44
class   5.85

Sta     Dist  EvAz Phase        Time      TRes  Azim AzRes   Slow   SRes Def   SNR       Amp   Per Qual   mb     mpva   class   ArrID
AB31    5.15 337.5 Pn       19:48:27.265  -1.7 155.5   0.2  12.9   -0.9  TA_   5.0       0.2  0.50 mc_   2.69   2.26          62070908
KK31    5.63 102.0 Pn       19:48:37.075   1.2 312.1  24.9  12.4   -1.3  T__   6.7       0.3  0.50 m__   2.93   2.52          62070909
AB31    5.15 337.5 Pg       19:48:45.863   1.2 144.1 -11.2  15.8   -2.5  TA_   4.5       0.3  0.40 md_   2.96   2.53          62070910
KK31    5.63 102.0 Sn       19:49:40.153  -2.5 315.9  28.7  24.8    0.1  T__             0.3  0.40 mc_                         62070914
AB31    5.15 337.5 Lg       19:49:54.399  -0.1 146.4  -8.9  27.9   -3.9  T__             0.3  0.30 mc_                    5.85 62070915
KK31    5.63 102.0 Lg       19:50:13.784   3.6 305.4  18.1  20.6  -11.2  T__             0.8  0.50 md_                         62070916
```

Рисунок 4. Результаты обработки сейсмических сигналов от падения ракеты-носителя «Днепр»

Определены по сейсмическим записям координаты места падения: широта 44,53° с.ш., долгота 62,95° в.д. После обнаружения на поверхности Земли кратера от падения ракеты – носителя и определения его реальных географических координат, проведен расчет точности оценок, полученных сейсмическим методом. Ошибка расчета по широте составила 44.5302° - 44,5735°=-0.0433°, что соответствует 4.8 км. Ошибка расчета по долготе составила 62.9537° - 62.9705°=-0.0168°, что соответствует 1.3 км. Таким образом, сейсмические станции НЯЦ РК позволили с расстояний 600 – 700 км с достаточно высокой точностью решить проблему обнаружения воронки, образовавшейся в результате взрыва ракеты-носителя «Днепр». Вместе с тем, падение ракеты-носителя зарегистрировано сейсмическими станциями НЯЦ РК практически на пределе их возможностей (события с энергетическим классом примерно 6 на расстояниях около 600 км регистрируются только при низком уровне фона сейсмических шумов). При падении более мелких фрагментов их регистрации существующими станциями мониторинга НЯЦ РК могло не быть. Отсюда очевидно, что для контроля аварийной ситуации для более уверенного обнаружения места падения ракеты-носителя, места падения первой ступени ракеты-носителя необходимо дополнительно развернуть в районе космодрома локальную сеть сейсмических станций.

Полезны оценки энергии взрыва по результатам интерпретации сейсмических записей, однако следует иметь в виду, что они носят приближенный характер и могут быть использованы только для оценки порядка мощности наземного взрыва, поскольку при наземном взрыве основная часть энергии уходит в атмосферу. При взрыве ракеты-носителя в воздухе сейсмический метод к определению энергии взрыва неприменим.

Инфразвуковые данные

Инфразвуковая станция IS31-Актюбинск, входящая в международную систему мониторинга, расположена в районе Актюбинска (рисунок 1). Инфразвуковая группа состоит из 8 микробарометров MB 2000 – 4-х низкочастотных (L1 - L4) и 4-х высокочастотных (H1 – H4) [5]. 26 июля 2006 г станция зарегистрировала и запуск, и падение ракеты-носителя «Днепр». Оригинальные записи низко – и высокочастотными каналами приведены на рисунке 5, записи после применении фильтра - на рисунке 6.

Методом прогрессивной многоканальной корреляции (PMCC - Progressive Multi-Chennel Correlation; CEA-DASE-LDG, France) в автоматическом режиме по записям выделено несколько сигналов. Сигналы обработаны, по ним установлены азимуты на источник и кажущаяся скорость инфразвука. Все результаты включены в автоматический бюллетень инфразвуковых сигналов, составляемый в Центре данных.

Первые сигналы, детектируемые на записи, относятся ко времени T= 20 ч 16 мин 50 с – 20 ч 17 мин 15 с; азимут сигнала Az= 143°; кажущаяся скорость V = 0,335 км/с. Это время и азимут согласуются со временем прихода звуковой волны от места запуска ракеты на станцию, азимут хорошо согласуется с расчетным азимутом на космодром Байконур, а кажущаяся скорость – со скоростью от «земного» источника. Расстояние от станции IS31-Актюбинск до космодрома Байконур 663 км.

Вторыми зарегистрированы несколько дополнительных сигналов, возможно отражений от границ в атмосфере. Азимут на источник для них практически одинаковый: Az= 141.5°; V = 0,338 км/с. (для времени 20.17.50 – 20.20.30); Az= 140.5°; V = 0,338 км/с (для времени 20.20.30 – 20.23.00); Az= 140.7°; V = 0,338 км/с (для времени 20.23.00 -20.2335). Кажущая скорость распространения волны – одинаковая, но несколько больше, чем для первого сигнала.

Последующие выделенные сигналы связаны с падением ракеты-носителя. Расчетный азимут на место падения, определенное сейсмическими методами, составляло 149°. На записях инфразвуковых колебаний четко видны (даже без специальной обработки) несколько цугов примерно с этим же азимутом. Сигналы очень интенсивные, кажущаяся скорость 0,337 км/с и более. Можно предположить, что это сигналы не только от наземного взрыва, но и его отражений от границ в атмосфере. Времена прихода сигналов на инфразвуковую станцию примерно соответствуют приходу звуковой волны. Результаты расчетов по инфразвуковым сигналам, проведенные методом прогрессивной мультиканальной корреляции, даны в таблице.

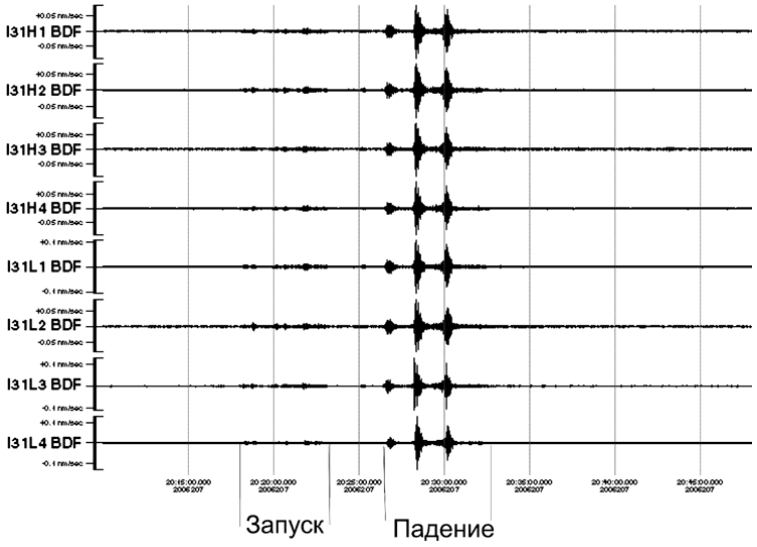


Рисунок 5. 26 июля 2006 г. Записи инфразвуковой станции IS31 Актюбинск сигналов от ракеты-носителя «Днепр»

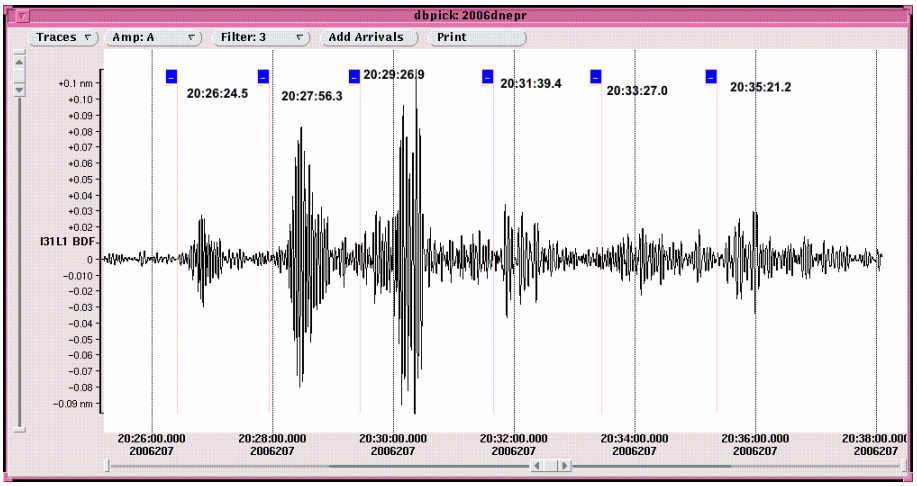


Рисунок 6. Запись сигналы от падения ракеты-носителя инфразвуковым каналом L1. Узкополосная фильтрация 0,3 Гц

Таблица. Результаты обработки инфразвуковых сигналов от падения ракеты-носителя «Днепр»

№№	Диапазона времени	Az, град	Vкаж, м/с	№№	Диапазона времени	Az, град	Vкаж, м/с
1	20.24.50 – 20.25.35	148,5	0,337	5	20.36.20 – 2041.05	148,6	0,362
2	20.26.10 – 20.28.40	150,9	0,337	6	20.40.30 – 20.41.35	143,4	0,354
3	20.28.40 – 20.31.10	149,5	0,337	7	20.41.40 – 20.42.20	142,4	0,355
4	20.31.10 – 20.41.05	149,3	0,342	--	--	--	--

Учитывая координаты инфразвуковой станции IS31-Актюбинск: 50.4070°с.ш., 58.0348°в.д. и координаты места падения ракеты-носителя, определено расстояние между ними, равное 756 км, и азимут от станции на воронку Az=148.89°. Из таблицы видно, что азимуты, полученные по данным инфразвуковых измерений близки к истинному значению. Отсюда следует возможность использования данных инфразвуковой станции IS31-Актюбинск в случае взрыва ракеты-носителя в воздухе для определения азимута события.

Полученный опыт показал также, что данные акустического мониторинга не позволяют строго решать обратную задачу по определению мощности взрыва. Записи инфразвука, представленные на рисунках 5, 6, являются характерными для больших расстояний от взрыва. В частности, в них присутствует серия квазисинусоидальных пакетов различной амплитуды, что обусловлено интерференционными помехами, возникающими при «многопутевом» распространении сигнала от источника до места регистрации. Неоднородность атмосферы по горизонтали и ее слоистая структура по вертикали допускают множество путей распространения, в том числе, многоскачкового. Разброс в оценке азимутов свидетельствует о наличии «боковых» отражений волн по пути их распространения в атмосфере.

Выводы

Станции мониторинга НЯЦ РК зарегистрировали запуск, полет и падение ракеты-носителя «Днепр».

По сейсмическим данным удалось определить точное время падения, координаты места падения, а также энергию сейсмических волн, выделившуюся при этом событии. Несмотря на то, что все сигналы обнаружены на пределе возможностей станций, достаточно уверенно локализован район падения.

Инфразвуковая станция записала запуск ракеты-носителя, момент изменения азимута полета, а также интенсивные сигналы от падения и взрыва ракеты-носителя. Все это позволяет рекомендовать создание специальной сети мониторинга вблизи космодрома Байконур для оперативного поиска мест падения ракет-носителей и их ступеней в случае аварийных ситуаций. Локальная сеть в комплексе с уже имеющейся стационарной сетью станций НЯЦ РК сможет оперативно помочь в деле поиска мест падения, оценке мощности взрыва.

Результаты, полученные с использованием сейсмических и инфразвуковых записей, были переданы в специально созданную комиссию по расследованию причин падения ракеты – носителя «Днепр» и помогли в поиске места ее падения.

Литература

1. Электронный ресурс. Режим доступа: http: // www.russianspaceweb.com/dnepr_007_belka.html
2. Марченко, В.Г. Новая сейсмическая группа «Каратау» в Казахстане. Геофизика и проблемы нераспространения. / В.Г. Марченко, А.И. Неделков, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК, Курчатов, НЯЦ РК - 2002. Выпуск 2 (10). С. 9-13.
3. Тейнор, Л. Новая сейсмическая группа Акбулак: выбор места размещения, аппаратура, система коммуникаций. Геофизика и проблемы нераспространения / Л.Тейнор [и др.] / Вестник НЯЦ РК, 2004. – Вып. 2 (18). – С. 5-12.
4. Электронный ресурс. Режим доступа: http // www.kndc.kz
5. Демин, В.Н. Новая инфразвуковая станция Международной системы мониторинга в Казахстане IS31.Геофизика и проблемы нераспространения / В.Н. Демин, В.Г. Кунаков, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК, 2002. – Вып. 2 (10). – С. 14-18.

«ДНЕПР» ТАСУШЫ-ЗЫМЫРАН ҚҰЛАҒАН ЖЕРІН ІЗДЕУІНДЕ СЕЙСМОАКУСТИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІН ПАЙДАЛАНУ

Михайлова Н.Н.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

«Байқоңыр» ғарыш жайынан зымыран жіберу және, апатты жағдайларында тасушы-зымыран мен оның сатылары құлаған жерлерін жедел іздеуін қоса, тасушы-зымыран жүруінің мониторингісі үшін сейсмикалық және инфрадыбыстық станцияларын пайдалану мүмкіншілігі көрсетілген.

SEISMO-ACOUSTIC DATA USING FOR THE IMPACT POINT SEARCHING OF “DNEPR”CARRIER ROCKET

N.N. Mikhailova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

This paper shows the possibility for using of the seismic and infrasound stations for launching monitoring from «Baikonur» cosmodrome and the carrier rocket movements, including effective searching of impact point of carrier rockets and their stages in the case of emergency.

УДК 551.594(571.56)

РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИСТЕМАТИЧЕСКИХ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕРЕНИЙ СЛУЧАЙНОГО ПОТОКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ГРОЗОВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОНЧ-НЧ ДИАПАЗОНЕНА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Орешин В.П., Знаменщиков Б.П.

Служба специального контроля Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия

Приведены постановка и результаты решения задачи идентификации модели случайного потока электромагнитных импульсов (ЭМИ), сопровождающих грозовые разряды, реально наблюдаемого в различных геофизических условиях. Использован фактический материал за 1996 по 2003 гг. - круглосуточные круглогодичные записи в режиме реального времени моментов прихода ЭМИ в пункты регистрации для Европейской территории РФ в ОНЧ – НЧ диапазоне с разрешением времени регистрации ≈ 3 мсек. Применением многомерного статистического и гармонического анализа временных рядов установлено, что адекватной моделью, наиболее подходящей для описания потока ЭМИ, наблюдаемого в пункте регистрации, является смешанная аддитивно-мультипликативная модель нестационарного временного ряда.

Введение

Мониторинг ядерных испытаний радиотехническими средствами предъявляет жёсткие требования к прогнозу помеховой обстановки. Основным источником ложных тревог в радиотехническом методе являются импульсные электромагнитные сигналы грозового происхождения. Известно, что гроза – это комплексное атмосферное явление, которое сопровождается многократными электрическими разрядами, а также целым рядом других явлений, которые относятся к числу опасных и причиняющих значительный материальный ущерб. В частности, многократными электрическими разрядами создаются интенсивные импульсные широкополосные электромагнитные поля (синонимы: радиопомехи, атмосферные помехи) с максимумом спектра в ОНЧ-НЧ диапазоне частот. Исследованию различных аспектов сложной междисциплинарной проблемы моделирования грозовой активности посвящено большое количество отечественных и зарубежных публикаций. В частности, можно указать обстоятельные монографии М.С. Александрова [1], Л.Т. Ремизова [2] и недавнюю публикацию [3], в которых представлена достаточно подробная библиография по затрагиваемой проблеме.

Актуальность проводимых исследований обусловлена несколькими обстоятельствами. Во-первых, из-за характерных свойств грозовой деятельности – её случайного, нестационарного, глобального и непрерывного характера, - необходимо совершенствовать модель помеховой обстановки на основе постоянно пополняющихся экспериментальных данных. Во-вторых, существующие модели атмосферных помех грозового происхождения весьма разнообразны по методологии построения и отличаются по степени реалистичности допущений, касающихся характеристик их составных элементов. Слабым звеном этих моделей является ограниченность сравнений теории с экспериментом. Экспериментальные данные, сопоставляемые с теорией, как правило, ограничены по объёму, из-за чего картина статистических свойств реального поля помех остаётся в известной мере нераскрытой и, следовательно, не определенными надёжность, полнота, достоверность и точность их описания.

В статье приведены постановка и результаты решения задачи идентификации (описания) модели реально наблюдаемого в различных геофизических условиях случайного потока электромагнитных импульсов (ЭМИ), сопровождающих грозовые разряды.

1 Постановка задачи

Основная цель проведенных исследований заключалась в выявлении статистически устойчивых характеристик наблюдаемых случайных процессов и получении аналитического описания этих процессов, основанного на параметрах, имеющих ясный геофизический смысл.

В современных моделях потоки атмосферных помех принято представлять в виде суммы двух случайных процессов (двух составляющих) [2]:

- флуктуационного (непрерывного) случайного процесса - флуктуационная составляющая (ФС), – гауссов процесс с нулевым средним и дисперсией $\sigma_Ф$;
- импульсной составляющей (ИС) как совокупности импульсных процессов различных статистических классов, каждый из которых характеризуется своей временной формой, регистрируется в случайные моменты времени со случайной пиковой интенсивностью (амплитудой).

В связи с резким различием статистических свойств и средних интенсивностей указанных процессов обычно их характеристики в анализируемом диапазоне частот исследуются раздельно.

Предметной областью данных исследований является импульсная составляющая случайного поля радиопомех грозового происхождения (ИС). Конкретным предметом исследований является поток атмосферных помех, который, следуя [4], может быть описан числом импульсов $n(En)$, превысивших фиксированный порог регистрации E_n в течение фиксированного интервала времени ΔT. Выбор ми-

нимально допустимого времени измерения ΔT потока импульсов осуществлён по критерию показателя разброса $k = \sigma_y / v_{cp}$, предложенного и обоснованного в [2]. В приведенном выражении σ_y и v_{cp} - два первых статистических момента величин v [1], [2]:

$$v = n(E_n) \div \Delta T \quad (1)$$

– интенсивность (плотность) потока;

$$v_{cp} = (\sum v_i) \div N \quad (2)$$

– среднее за сеанс регистрации значение v на интервале времени.

Здесь: $T >> \Delta T$; σ_v^2 – дисперсия v на интервале времени ΔT.

Таким образом, рассматриваемая задача статистического описания потока импульсов АП, характеризуемого величиной *n(En)*, сводится к получению статистических характеристик случайного временного ряда *n(En, t)*.

Конечной целью подобных исследований обычно является построение детальных моделей наблюдаемых временных рядов, основанных на физике процессов, лежащих в основе явления. В связи с прогнозируемой и наблюдаемой длиннопериодной нестационарностью экспериментальных временных рядов (11-летний и, возможно, более длительный тренд) и конечной длины интервала наблюдения эта проблема носит долговременный характер и решается поэтапно по мере накопления экспериментального материала.

Основная цель анализа, проводимого на первом этапе, состоит в получении пробной модели и выяснении причин её несовершенства. На последующих этапах исследований пробная модель модифицируется и строится более совершенный вариант. Для достижения цели первого этапа необходимо свести исходный случайный процесс к процессу стационарному, оценить возможность его адекватного описания с помощью младших моментов распределения вероятностей *(текущее среднее, дисперсия, ковариационная функция)* и преобразования Фурье ковариационной функции *(спектр мощности)*.

2 Методы анализа

Поставленная задача решается методами многомерного статистического и гармонического анализа временных рядов [5, 7]. Для этого предварительно случайный исходный поток ЭМИ преобразуется в последовательность равноотстоящих по времени отсчетов числа импульсов, превысивших фиксированный порог регистрации, за интервал времени ~10 минут (интервал стационарности потока). Полученная последовательность, имеющая смысл плотности потока, далее, для краткости, называется потоком ЭМИ или просто потоком. Потоки импульсной составляющей атмосферных радиопомех грозового происхождения систематизированы, обработаны и проанализированы на единой концептуальной, инструментальной, методической и программно-математической основе. Для описания временного хода интенсивности потока атмосфериков в различных геофизических и гелиофизических условиях для различных географических широт наблюдения предложена относительно простая вероятностная модель.

3. Результаты анализа

Анализ экспериментальных данных проведен исходя из данных, как таковых, при минимуме априорных идей относительно их структуры, чем учитывалось высказывание одного из основателей теории соответствий – «…модель должна соответствовать данным, а не наоборот».

3.1 Общая характеристика результатов измерений

В качестве фактических данных привлечены результаты систематических круглосуточных круглогодичных измерений в режиме реального времени моментов прихода ЭМИ в пункте регистрации (ПР). Наблюдения выполнены в 1996 – 2004 гг. в 4-х пунктах регистрации, расположенных на Европейской территории РФ (географические широта от 50° до 60°и долгота от 30° до 60°) в полосе частот 0.5 - 45 кГц с разрешающим временем регистрации ~3 мсек. Технические характеристики регистрирующей аппаратуры отражены в таблице 1.

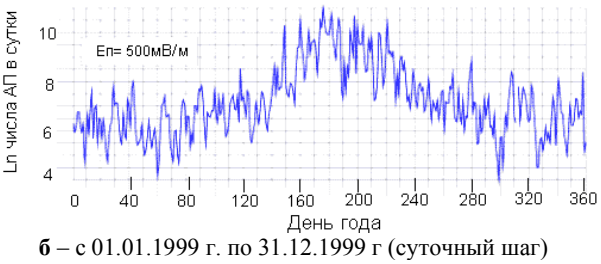
Примеры экспериментальных записей потока атмосферных помех (АП) на интервалах наблюдения различной длительности представлены на рисунке 1.

На рисунке показаны вариации интенсивности потока АП, регистрируемого при 10-минутном шаге накопления за месяц – рисунок 1а, вариации числа АП в сутки на годовом интервале наблюдения - рисунок 1б, вариации числа АП в сутки на 8-летнем интервале наблюдения – рисунок 1в. Обработка зарегистрированных данных велась с использованием специально разработанного комплекса программ, выполняющего накопление, проверку правильности данных, перевод в необходимый формат, группировку, систематизацию, предварительную обработку и статистический анализ результатов регистрации.

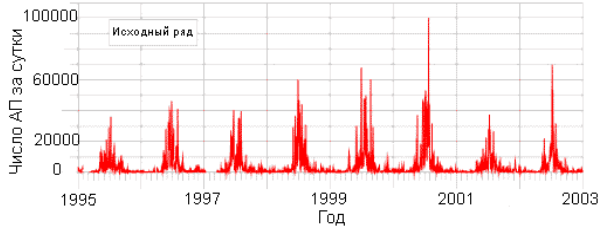
Таблица 1. Технические характеристики аппаратуры, регистрирующей ЭМИ

Тип приёмной антенны:	вертикальная электрическая
Полоса частот:	0.5 … 45 кГц
Разрешающее время:	~3 мсек
Точность измерения амплитуды ЭМИ:	единицы процента
Точность временной привязки ЭМИ:	~1 мкс
Порог регистрации:	регулируется в пределах 50…10^3 мВ/м

а – июль 1999 г. (10-минутный шаг)



б – с 01.01.1999 г. по 31.12.1999 г (суточный шаг)



в – с 01. 01.1996 г. по 31.12.2003 г. (суточный шаг)

Рисунок 1. Вариации интенсивности потока атмосферных помех (АП) в разные временные интервалы. Пункт регистрации 2. Пороговый уровень регистрации 500 мВ/м

Анализ проведен применительно к нескольким программно задаваемым (“искусственным”) пороговым уровням регистрации Еп: 50, 100, 200, 300, 500, 1000 мВ/м. Общая характеристика обработанных результатов измерения числа атмосферных помех за 1996 – 2003 г.г. приведена в таблице 2. Для каждого из 8 лет наблюдений в ней отражены такие характеристики как число суточных сеансов регистрации за год, общее число АП за год, минимальное и максимальное число АП за год, среднее и медианное значение числа АП по результатам наблюдений за год, а также коэффициент вариации (отношение с.к.о. к среднему).

Как следует из таблицы 2, общее число суточных сеансов регистрации по всем пунктам регистрации составило более 11 000 при общем числе пропусков в данных 6.2%. С учётом того, что каждый суточный сеанс представлен 144 измерениями (по числу 10-минутных интервалов), суммарное число полученных отсчётов интенсивности потока АП составило 1 584 288, что еще раз подчеркивает необходимость привлечения специальных методов и программных средств для их обработки и анализа.

Таблица 2. Общая характеристика результатов измерения числа атмосферных помех за сутки в различных пунктах регистрации в 1996 – 2003. Еп=500 мВ/м

Пункт регистрации № 2								
Год	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**
N	315	352	298	351	357	364	359	363
Σ	814478	1243102	1067170	1390714	1582958	1872039	1003705	1082236
Мин.	59	19	67	58	38	34	13	38
Макс.	36118	46135	40077	59815	67972	100070	37458	66538
Среднее	2585.6	3531.5	3581.1	3962.1	4434.1	5142.9	2795.8	2981.4
Медиана	1088.7	957.3	1331.6	1118.1	1198.3	1235.7	1070.5	773
С.К.О.	4063.9	6883.9	6403.7	7819.1	8992.5	10934.8	4723.1	6332.4
К-нт в.	1.57	1.95	1.79	1.97	2.03	2.13	1.69	2.12
Пункт регистрации № 3								
Год	**1996 г.**	**1997 г.**	**1998 г.**	**1999 г.**	**2000 г.**	**2001 г.**	**2002 г.**	**2003 г.**
N	316	351	299	351	357	364	359	362
Σ	310028	285223	557603	551481	345678	299053	223713	212981
Мин.	13	10	10	27	9	3	1	4
Макс.	13214	27219	44661	35193	33046	17030	19808	7460
Среднее	981.1	812.6	1864.9	1571.1710	968.3	821.6	623.2	588.3
Медиана	323.4	211.3	329.4	304.8	206.3	216.0	138.8	143
С.К.О.	1736.0	2462.5	4930.0	3950.0	2786.6	1780.9	1827.0	1150.1
К-нт в.	1.77	3.04	2.64	2.51	2.88	2.17	2.93	1.95
Пункт регистрации № 5								
Год	**1996 г.**	**1997 г.**	**1998 г.**	**1999 г.**	**2000 г.**	**2001 г.**	**2002 г.**	**2003 г.**
N	316	352	299	351	357	364	359	342
Σ	378382	380719	1026992	901575	510680	524023	291255	552003
Мин.	59	20	55	28	16	8	18	15
Макс.	16645	20349	72408	59863	40016	75861	17886	31391
Среднее	1197.4	1081.6	3434.8	2568.6	1430.5	1439.6	811.3	1614.0
Медиана	543.4	421.1	586.4	561.6	374.4	301.5	248.6	261.5
С.К.О.	1834.8	2331.4	7948.4	6796.7	4071.9	5019.3	1625.4	3949.6
К-нт в.	1.53	2.16	2.31	2.66	2.85	3.49	2.00	2.45

Пункт регистрации № 7								
Год	**1996 г.**	**1997 г.**	**1998 г.**	**1999 г.**	**2000 г.**	**2001 г.**	**2002 г.**	**2003 г.**
N	316	348	300	351	354	364	350	361
Σ	1738738	2257317	1736993	2600449	4198091	4071015	3055491	3621331
Мин.	60	20	74	104	5	103	275	77
Макс.	49880	56533	77732	60717	87239	185010	89820	79681
Среднее	5502.3	6486.5	5790.0	7408.7	11859.1	11184.1	8730.0	10031.4
Медиана	1770.1	1564.8	2336.5	4427.0	5143.2	3363.4	5339.4	5893
С.К.О.	8971.1	10172.1	9832.0	8868.4	15493.4	26362.1	10705.0	12764.9
К-нт в.	1.63	1.57	1.70	1.20	1.31	2.36	1.23	1.27

Примечание – N – число суточных сеансов регистрации за год; Σ – общее число АП за год; Мин., Макс. – число АП в сутки по результатам наблюдения за год - минимальное и максимальное, соответственно; С.К.О. – среднее квадратическое отклонение; К-нт в. – коэффициент вариации (отношение С.К.О. к среднему).

Таблица 2. Общая характеристика результатов измерений числа АП за сутки в различных пунктах регистрации в 1996 – 2003 гг. Еп=500 мВ/м

Пункт регистрации № 2								
	1996	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**
N	315	352	298	351	357	364	359	363
Σ	814478	1243102	1067170	1390714	1582958	1872039	1003705	1082236
Мин.	59	19	67	58	38	34	13	38
Макс.	36118	46135	40077	59815	67972	100070	37458	66538
Среднее	2585.6	3531.5	3581.1	3962.1	4434.1	5142.9	2795.8	2981.4
Медиана	1088.7	957.3	1331.6	1118.1	1198.3	1235.7	1070.5	773
С.К.О.	4063.9	6883.9	6403.7	7819.1	8992.5	10934.8	4723.1	6332.4
К-нт в.	1.57	1.95	1.79	1.97	2.03	2.13	1.69	2.12
Пункт регистрации № 3								
	1996 г.	**1997 г.**	**1998 г.**	**1999 г.**	**2000 г.**	**2001 г.**	**2002 г.**	**2003 г.**
N	316	351	299	351	357	364	359	362
Σ	310028	285223	557603	551481	345678	299053	223713	212981
Мин.	13	10	10	27	9	3	1	4
Макс.	13214	27219	44661	35193	33046	17030	19808	7460
Среднее	981.1	812.6	1864.9	1571.1710	968.3	821.6	623.2	588.3
Медиана	323.4	211.3	329.4	304.8	206.3	216.0	138.8	143
С.К.О.	1736.0	2462.5	4930.0	3950.0	2786.6	1780.9	1827.0	1150.1
К-нт в.	1.77	3.04	2.64	2.51	2.88	2.17	2.93	1.95
Пункт регистрации № 5								
	1996 г.	**1997 г.**	**1998 г.**	**1999 г.**	**2000 г.**	**2001 г.**	**2002 г.**	**2003 г.**
N	316	352	299	351	357	364	359	342
Σ	378382	380719	1026992	901575	510680	524023	291255	552003
Мин.	59	20	55	28	16	8	18	15
Макс.	16645	20349	72408	59863	40016	75861	17886	31391
Среднее	1197.4	1081.6	3434.8	2568.6	1430.5	1439.6	811.3	1614.0
Медиана	543.4	421.1	586.4	561.6	374.4	301.5	248.6	261.5
С.К.О.	1834.8	2331.4	7948.4	6796.7	4071.9	5019.3	1625.4	3949.6
К-нт в.	1.53	2.16	2.31	2.66	2.85	3.49	2.00	2.45
Пункт регистрации № 7								
	1996 г.	**1997 г.**	**1998 г.**	**1999 г.**	**2000 г.**	**2001 г.**	**2002 г.**	**2003 г.**
N	316	348	300	351	354	364	350	361
Σ	1738738	2257317	1736993	2600449	4198091	4071015	3055491	3621331
Мин.	60	20	74	104	5	103	275	77
Макс.	49880	56533	77732	60717	87239	185010	89820	79681
Среднее	5502.3	6486.5	5790.0	7408.7	11859.1	11184.1	8730.0	10031.4
Медиана	1770.1	1564.8	2336.5	4427.0	5143.2	3363.4	5339.4	5893
С.К.О.	8971.1	10172.1	9832.0	8868.4	15493.4	26362.1	10705.0	12764.9
К-нт в.	1.63	1.57	1.70	1.20	1.31	2.36	1.23	1.27

Примечание – N – число суточных сеансов регистрации за год; Σ – общее число АП за год; Мин. – минимальное число АП в сутки по результатам наблюдения за год; Макс. – максимальное число АП в сутки по результатам наблюдения за год; К-нт в. – коэффициент вариации (отношение с.к.о. к среднему).

Визуальный анализ полученных фактографических данных позволил сделать следующие выводы.

1. Динамика изменения потоков АП, превысивших пороговый уровень регистрации, в зависимости от времени и вне зависимости от интервала наблюдения (от суточного до 8-летнего) на пункте регтстрации свидетельствует о нестационарности потоков как по математическому ожиданию, так и по дисперсии соответствующих процессов, а также о наличии как случайных так и детерминированных влияющих факторов. Можно утверждать, что наблюдаемые ряды измеренных значений, зависящие в нашем случае от дискретного времени и подвергающиеся флуктуациям (нерегулярным случайным измене-

ниям), представляют собой по существу случайные временные ряды, для анализа которых необходимо привлечение методов теории временных рядов.

2. От года к году проявляются значимые вариации практически всех основных статистик потока АП на всех четырёх пунктах наблюдения (от 2-х до 4-х раз), а также существенные вариации этих показателей между различными пунктами регистрации (от 3 до 17 раз). Временная структура потока импульсов атмосферных помех в пункте регистрации при всенаправленном приёме имеет ярко выраженную пульсирующую разномасштабную структуру во времени. При этом, интенсивность потока, начиная с некоторого момента времени, может резко измениться (более сильно, чем флуктуации ряда), но далее вновь восстановиться, образовав на соответствующих графиках отдельные всплески или серии всплесков с характерными временами от нескольких часов до нескольких суток (временные ряды с интервенцией).

3. Отмечается наличие выраженного тренда - суточного, сезонного, годового и циклической составляющей на фоне нерегулярной компоненты.

Таким образом, визуальный анализ записей вариаций потока АП на пунктах регистрации, проводимых систематически в течении 8 лет в круглосуточном режиме, обнаруживает нестационарный характер последовательности значений интенсивности потока АП и позволяет принять для их описания в качестве рабочей смешанную аддитивно-мультипликативную модель нестационарного по математическому ожиданию и дисперсии случайного временного ряда. При этом наблюдаемый временной ряд включает по предположению сумму тренда (регулярной составляющей) и шумовой (случайной) компоненты.

При анализе случайного процесса принят ряд упрощающих допущений о свойствах временных рядов. Важнейшее из них состоит в том, что соответствующий случайный процесс может быть сведен к стационарному, и, соответственно, может быть адекватно описан с помощью младших моментов его распределения вероятностей, таких как *среднее или медианное значение, дисперсия*, *ковариационная функция* и преобразование Фурье ковариационной функции – *спектр мощности*. Исходя из определения *стационарного ряда* (статистические свойства которого не меняются со временем), он должен быть центрирован на соответствующие средние или медианные значения, а остаток (центрированный ряд) подвергнут некоторым функциональным преобразованиям от измеренных значений таким образом, чтобы дисперсия ряда не зависела от времени. К полученным рядам применимы хорошо разработанные мощные методы корреляционного, регрессионного, спектрального и т.п. анализа. Для реализации сделанного допущения предварительно были найдены решения ряда таких трудоёмких вычислительных и аналитических задач, как:

- выявление и оценки устойчивых суточных, сезонных, годовых и циклических трендов;
- выявление и оценка устойчивой пространственной изменчивости (тренда) в данных;
- выявление и оценка устойчивых зависимостей интенсивности потока АП от порога регистрации в различные сезоны года и в различных пунктах регистрации (ПР);
- оценка вида и параметров вероятностных распределений флуктуационной составляющей процессов, наблюдаемых в различные сезоны года и в различных ПР;
- построение регрессионных зависимостей для отдельных рядов измерений;
- построение автокорреляционных функций;
- проведение спектрального или Фурье анализа ряда;
- выявление скрытых закономерностей и периодичностей;
- построение простых моделей, описывающих ряд;
- анализ возможностей построения моделей временных рядов с интервенцией.

Ниже изложены некоторые ключевые выводы.

3.2 Оценки тренда и дисперсии интенсивности потока АП в ПР

3.2.1 Суточные вариации интенсивности потока АП

Наблюденные данные систематизированы для каждого пункта регистрации по времени суток, по месяцам и по порогам регистрации. При этом в качестве исходных использованы результаты предварительной обработки данных (прежде всего, для выравнивания числа измерений в соседних интервалах), представленных значениями числа АП, зарегистрированных при заданном пороговом уровне на равных 10–минутных интервалах. Выполнен статистический анализ экспериментальных данных, в результате которого получены следующие характеристики:

- усреднённые за месяц суточные вариации интенсивности потока АП;
- годовые вариации среднемесячного числа АП за сутки;
- зависимость интенсивности потока АП от порога регистрации;
- зависимость характеристик потока АП от географических координат пункта регистрации;
- оценка межгодовых вариаций плотности потока АП.

Суточные тренды (устойчивые тенденции в распределении интенсивности потока АП по времени суток) оценены по совокупности записей независимых реализаций суточного процесса, полученных на месячном интервале наблюдений с интервалом накопления 10 минут. Объём ансамбля независимых суточных реализаций составлял до ~30 суток для каждого месяца года. Стандартными методами математической статистики по каждому из 144-х десятиминутных интервалов, составляющих сутки, оценены средние и медианные значения интенсивности потока АП. Совокупность этих значений, рассматриваемых как функция времени (но-

мера 10-минутного интервала), принималась в качестве оценки среднесуточного или медианного суточного трендов на месячном интервале наблюдений. Такие оценки получены для каждого из 12 месяцев года применительно к различным порогам регистрации (при общем числе пороговых уровней 5) на каждом из 4-х пунктов наблюдений.

Полученные результаты позволили сделать вывод о наличии суточного тренда, устойчивого к изменению порога и месту регистрации, общий характер которого слабо варьируется для фиксированного месяца, но существенно разнится при переходе от месяца к месяцу. Так (рисунок 2), в январе месяце средние и медианные суточные тренды имеют характерный трапециевидный профиль и обнаруживают минимум интенсивности потока АП в дневные часы (от ~ 9 - 10 час до 16 - 17час, мск) и максимумы в ночное время суток (с ~0 час до 7 час, мск и с 21 час до 24 час, мск). Переход от ночного к дневному состоянию занимает интервал времени с 7 час до 9 – 10 час, мск, а от дневного состояния к ночному с ~ 17 час до 21 час, мск.

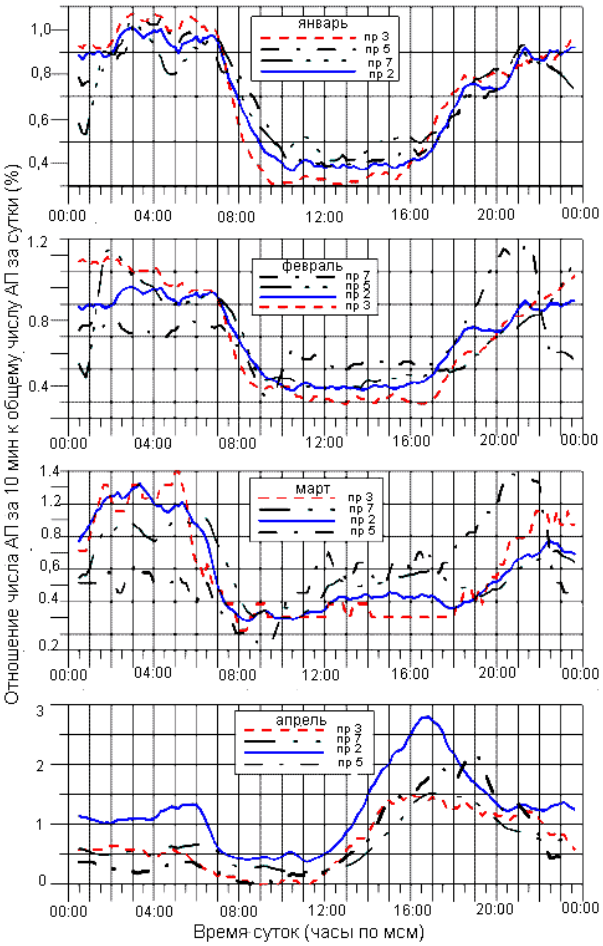


Рисунок 2. Усреднённые за месяц суточные вариации потока АП (январь – апрель, 1999 г.)

В июле месяце (рисунок 3) средние и медианные суточные тренды на всех порогах и во всех пунктах регистрации обнаруживают единственный максимум интенсивности потока АП ~ в 15 час – 20 час, мск и сравнительно вялые изменения в остальное время суток. Можно отметить также характерное как для января, так и для июля месяца заметное и устойчивое отличие средних и медианных оценок суточного тренда (медианы всегда меньше средних), что может свидетельствовать о несимметричности соответствующих распределений мгновенных значений потока АП.

В качестве естественных параметров, характеризующих суточные тренды, удобны их экстремальные значения и отвечающее этим трендам общее число АП за соответствующие среднемесячные сутки. Количественные оценки перечисленных параметров среднего и медианного суточного хода интенсивности потока АП на примере января месяца 1999 г. для различных порогов и для различных пунктов регистрации приведены в таблице 3.

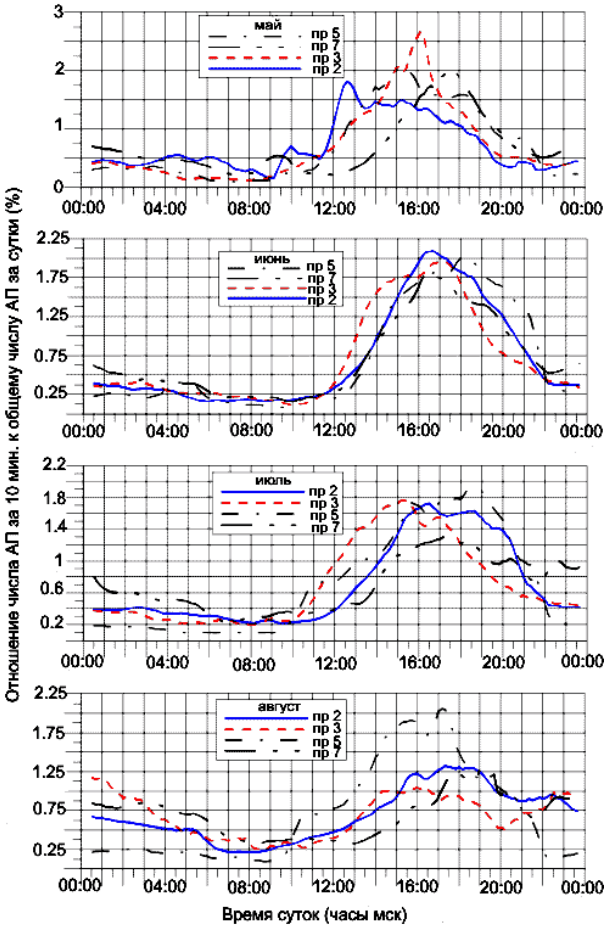


Рисунок 3. Усреднённые за месяц суточные вариации потока АП. (май – август 1999 г.)

Таблица 3. Параметры среднего и медианного суточного тренда для различных порогов и пунктов регистрации. Январь 1999 г.

ПР-2								
	параметр	**Еп=1,В/м**	**Еп=750мВ/м**	**Еп=500мВ/м**	**Еп=300мВ/м**	**Еп=200мВ/м**	**Еп=100мВ/м**	**Еп=50мВ/м**
ССТХ	Мин.	0.5	1	2	6	12	25	80
	Макс.	2	4	7	17	28	60	150
	∑	177	321	673	1635	2998	6888	14882
МСТХ	Мин.	0	0	1	4	7	20	47
	Макс.	1	2	5	12	25	60	207
	∑	48	138	420	1168	2363	5995	19413
ПР-3								
	параметр	**Еп=1,В/м**	**Еп=750мВ/м**	**Еп=500мВ/м**	**Еп=300мВ/м**	**Еп=200мВ/м**	**Еп=100мВ/м**	**Еп=50мВ/м**
ССТХ	Мин.	0.2	0.4	0.8	2.2	4.6	15	39
	Макс.	1.4	2.5	4.4	11	22	52	163
	∑	104	186	363	944	1884	4781	13656
МСТХ	Мин.	0	0	0	1	3	10	29
	Макс.	1	1	3	8	18	49	166
	∑	17	80	200	630	1390	4185	13297
ПР-5								
	параметр	**Еп=1,В/м**	**Еп=750мВ/м**	**Еп=500мВ/м**	**Еп=300мВ/м**	**Еп=200мВ/м**	**Еп=100мВ/м**	**Еп=50мВ/м**
ССТХ	Мин.			2.5	4.4	8	20	35
	Макс.			10.4	16.7	26	66	124
	∑			680	1368	2420	6246	11434
МСТХ	Мин.			1	2	5	12	28
	Макс.			5	11	21	57	137
	∑			324	820	1637	4995	11587
ПР-7								
	параметр	**Еп=1,В/м**	**Еп=750мВ/м**	**Еп=500мВ/м**	**Еп=300мВ/м**	**Еп=200мВ/м**	**Еп=100мВ/м**	**Еп=50мВ/м**
ССТХ	Мин.	1.2	2.2	4.5	9.3	14.2	26.5	32.5
	Макс.	5	8	34.5	31.3	50	105	138.5
	∑	432	741	1503	2953	4646	9218	11445
МСТХ	Мин.	0	1	2	5.5	9.5	19.5	31
	Макс.	3	7	11	24	38	101	138
	∑	216	447	868	1942	3289	7686	10469

Примечания – ССТХ – средний за месяц суточный ход; МСТХ – медианный суточный ход; Мин. – минимальное число АП за 10 мин.; Макс. – максимальное число АП за 10 мин.; ∑ – общее число АП за сутки; Еп – порог регистрации.

По результатам анализа всех полученных данных установлено наличие значимых вариаций анализируемых параметров от порога регистрации, времени года и географической широты места наблюдения. Наиболее значимые вариации от этих параметров испытывают временные формы суточных трендов и общее число АП за сутки. В связи с этим, а также с учётом относительно слабой зависимости общего характера временных форм суточных трендов от порога и места регистрации, суточные тренды нормированы на соответствующее среднемесячное число АП за сутки. Получена также оценка межпунктовых, межгодовых вариаций и влияния порога регистрации на среднемесячные нормированные временные формы суточных трендов потока АП. Примеры нормированных усреднённых за месяц суточных вариаций потока АП для всех 12 месяцев и различных пунктах регистрации приведены на рисунках 2 - 4.

Межсуточные вариации интенсивности потока АП оценивались по совокупности записей независимых реализаций суточного процесса на месячном интервале наблюдений с шагом накопления 10 минут. Исходные временные ряды центрировались двумя способами: вычитанием среднесуточного тренда; вычитанием медианного тренда. Объём ансамбля центрированных суточных реализаций составлял до 30 суток. Для каждого из 144-х десятиминутных интервалов, составляющих сутки, стандартными методами математической статистики оценивался второй статистический момент. Для количественных оценок межсуточных разбросов интенсивности потока АП использовалось среднеквадратическое отклонение (с.к.о.) и коэффициент вариации – соотношение с.к.о. и среднего.

По результатам анализа установлено, что имеет место устойчивый суточный ход с.к.о., общий характер которого сходен с соответствующими суточными вариациями средних (медианных) значений интенсивности потока АП. Общий характер усреднённых за месяц зависимостей с.к.о. от времени суток устойчив для всех условий измерений и практически не зависит от способа центрирования исходных временных рядов наблюдений.

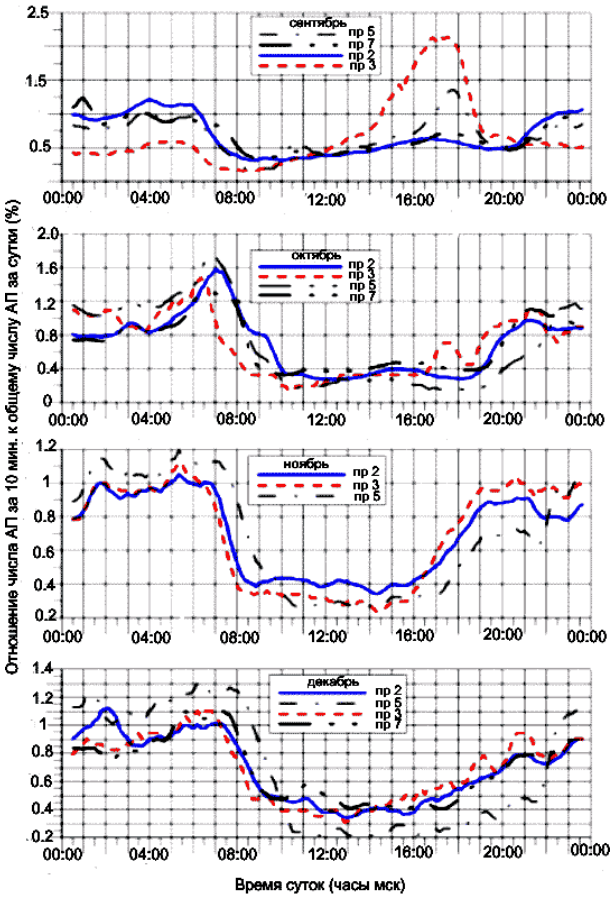


Рисунок 4. Усреднённые за месяц суточные вариации потока АП (сентябрь - декабрь, 1999 г.)

3.2.2 Межсуточные вариации интенсивности потока АП в пунктах регистрации

Характер корреляции мгновенных значений суточного хода с.к.о. и соответствующих мгновенных значений суточного хода средних по ансамблю реализаций значений потока АП для различных порогов регистрации в различное время года и для различных географических условий позволил обосновать возможность степенной или линейной аппроксимирующих зависимостей. Полученные зависимости имеют характер, общий для всех пороговых уровней.

По результатам анализа межсуточных вариаций в целом сделаны следующие выводы.

1. Показатели межсуточного разброса (относительно среднего и медианного) интенсивности потока АП на месячном интервале наблюдения (с.к.о.) обнаруживают устойчивую зависимость от времени суток.
2. Мгновенные значения суточного хода с.к.о. и мгновенные значения суточного тренда средних значений интенсивности потока АП обнаруживают устойчивую корреляционную связь (степенную зависимость).
3. Величина коэффициента вариации (отношение с.к.о. к среднему) интенсивности, обусловленная межсуточными вариациями интенсивности потока АП на месячном интервале наблюдений находится в пределах 0.05 – 0.3 в январе месяце и 3 – 45 в июле месяце.

Заключение

Проведенные исследования показали, что в качестве адекватной модели, наиболее подходящей для описания наблюдаемого в пункте регистрации потока ЭМИ, может использоваться смешанная аддитивно-мультипликативная модель нестационарного временного ряда. Эта модель включает сумму тренда (регулярной составляющей) и шумовой (случайной) составляющих.

Регулярная составляющая описывает наблюдаемую зависимость осреднённых на месячном интервале значений плотности потока ЭМИ от порога регистрации, времени суток, времени года и географических координат точки наблюдения. При этом регулярная составляющая представляется в виде произведения соответствующих зависимостей.

Случайная составляющая потока обладает свойствами стационарного временного процесса с нулевым средним и дисперсией, зависящей от порога регистрации. Мгновенные значения случайной составляющей процесса распределены по логнормальному закону.

Описание потока ЭМИ в виде нестационарного временного ряда имеет преимущество простоты по сравнению с известными способами описания и, кроме того, модель нестационарного временного ряда позволяет ставить и решать задачу статистического прогнозирования характеристик потока.

Литература

1. Александров, М.С. Флуктуации электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ / М.С. Александров [и др.] // Отв. ред. М.С. Александров // М.: Наука, 1972. – С. 195.
2. Ремизов, Л.Т. Естественные радиопомехи / Л.Т. Ремизов // М.: Наука, 1985. – С. 197.
3. Козлов, В.И. Грозовая активность в Якутии / В.И. Козлов, В.А. Муллаяров // Якутск: ЯФ изд-ва СО РАН, 2004 – С. 103.
4. Огуряев, С.Е. Исследование порогового распределения атмосфериков и их связь с процентом занятого времени / С.Е. Огуряев. – Труды ГГО им. А.И. Воейково // Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – Вып.188. - С. 24 – 28.
5. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко // СПб: Питер, 2002. – С. 749.
6. Дженкинс, Г. Спектральный анализ и его приложения / Г. Дженкинс, Д. Ваттс: Перевод с английского, В.Ф. Писаренко // М.: Мир, 1971. - Вып. 1. – С. 317.
7. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс: Перевод с английского, А.Л. Левшина под ред. В.Ф. Писаренко // М.: Мир, 1974. – Вып. 2,. – 197 с.

РЕСЕЙДІҢ ЕУРОПАЛЫҚ АУМАҒЫНДА ӨТЖ-ТЖ АУҚЫМЫНДА НАЖАҒАЙ ТЕГІНДЕГІ ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ИМПУЛЬСТЕРІНІН КЕЗДЕЙСОҚ АҒЫНЫН ЖҮЙЕЛІ КӨП ЖЫЛДЫҚ ӨЛШЕУЛЕРІН СТАТИСТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Орешин В.П., Знаменщиков Б.П.

Ресей Федерациясы Қорғау министрлігінің Арнайы бақылау қызметі, Мәскеу, Ресей

Әр түрлі геофизикалық жағдайларында нақты көрінетін электрмагниттік импульстердің (ЭМИ) нажағай разрядындағы кездейсоқ ағыны моделін сәйкестендіру мәселелерін қою және шешу нәтижелері келтірілген. 1996-2003 ж.ж. нақты материалдары қолданылған – РФ Еуропалық аумағына ӨТЖ-ТЖ ауқымында, тіркеу уақытын ≈ 3 мсек. айыруымен, тіркеу нүктелеріне ЭМИ жету кездерінің нақты уақыт режімінде тәулік бойлық жыл бойлық жазбалары. Уақыттық қатарларын көпсанды статистикалық және гармоникалық талдау әдістері қолданылған. Тіркеу нүктесінде көрінетін ЭМИ ағынын сипаттау үшін адекватты модель ретінде стационар емес уақыттық қатарының аралас аддитивті-мультипликативті моделі ең қолайлы болып табылатыны анықталған.

STATISTIC ANALYSIS RESULTS OF SYSTEMATIC LONG-TERM MEASUREMENTS OF EMP (ELECTROMAGNETIC PULSE) RANDOM FLOW GENERATED BY ELECTRIC STORM WITHIN VLF-LF RANGE IN EUROPEAN PART OF THE RUSSIAN FEDERATION

V.P. Oreshin, B.P. Znamenshchikov

Special Control Service under the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia

The paper gives identification (description) of observed electromagnetic pulse (EMP) random flow in various geophysical conditions accompanied by storm discharge. Observations have been done since 1996 till 2003 in European part of Russia within VLF-LF with enable recording time ~3 msec. This task is solved by methods of multidimensional statistic and wave analysis of time series. Obtained results showed that mixed additive-multiplicative model of non-stationary time series could be used as appropriate model, mostly suitable to describe the observed in EMP flow recording point.

УДК 621.039.9

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПЕРМСКОЙ ОБЛАСТИ

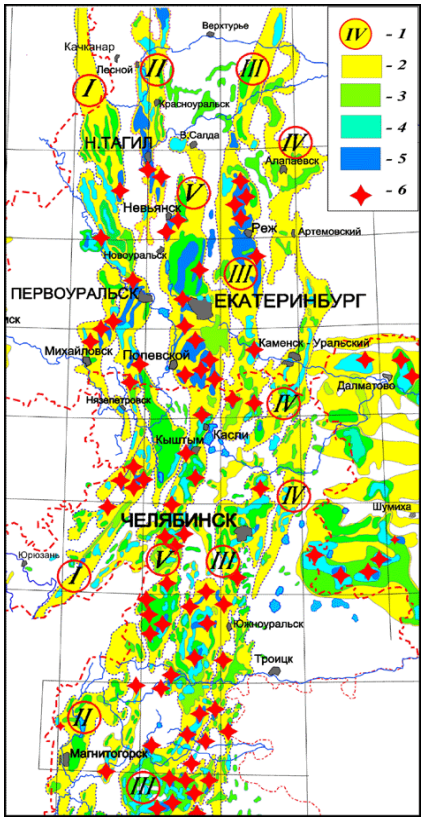
Уткин В.И., Рыбаков Е.Н., Щапов В.А.

Институт геофизики Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

Представлены некоторые результаты исследования экологической обстановки после подземных технологических ядерных взрывов, произведенных в Пермской области (Западный Урал) с целью увеличения добычи нефти и строительства канала для проекта переброски вод северных рек [1 - 3]. В отличие от обычно изучаемого загрязнения окружающей среды наиболее долгоживущими продуктами взрыва – цезием-137, стронцием-90 и кобальтом-60, - основной акцент сделан на исследование влияния мощных подземных взрывов непосредственно на геологическую среду, и, наоборот, влияния геологической среды на распространение и переотложение радиоактивного загрязнения.

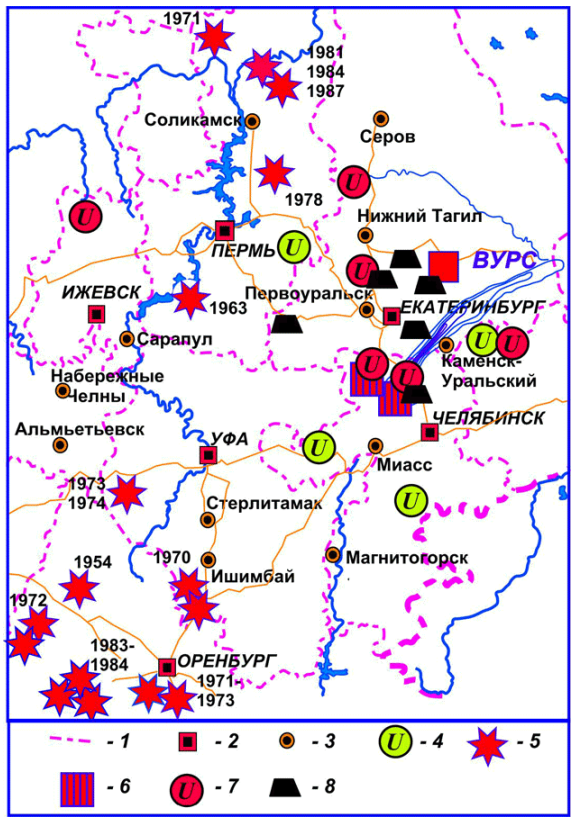
Последствия ядерных взрывов для Уральского региона нельзя рассматривать в отрыве от геоэкологических особенностей Урала как древней горной страны, которая протянулась по меридиану более чем на 2500 км и которая испытала последние крупные тектонические движения более 250 миллионов лет тому назад.

Первой особенностью Уральского региона с точки зрения радиоэкологии является присутствие большого количества «кислых» пород (гранитов), которые содержат повышенное содержание естественных радиоактивных элементов – урана и тория. Это приводит с повышенной радиоэкологической нагрузке населения, особенно в характерных радиогеохимических зонах, показанных на рисунке 1 [4, 5].



1 – эколого-радиогеохимические зоны. Дозы облучения, мЗв/год: 2 – 0,5 - 1,0; 3 – 1,0 - 2,0; 4 – 2,0 - 3,0; 5 – более 3,0. 6 –участки с аномально высокими концентрациями почвенного радона (более 100 кБк/м^3); максимальной концентрацией радона в подземных водных источниках до 1 МБк/м^3

Рисунок 1. Схема эколого-радиогеохимических зон Среднего и Южного Урала



1 – границы областей; 2 – центры областей; 3 – крупные города; 4 – месторождения урана (тория); 5 – технологические подземные ядерные взрывы; 6 – ядерные реакторы; 7 – переработка ядерных материалов; 8 – хранилища радиоактивных отходов

Рисунок 2. Схема расположения предприятий ядерно-топливного цикла в Уральском регионе

Естественная радиационная нагрузка населения как за счет естественного гамма-излучения, так и за счет высокого радонового потенциала (до 60% от общей радиационной нагрузки) приводит к тому, что только естественное облучение приблизительно в два раза выше, чем в среднем по России. Поэтому изучение проблем, связанных с дополнительной техногенной радиационной нагрузкой населения, имеет важное значение.

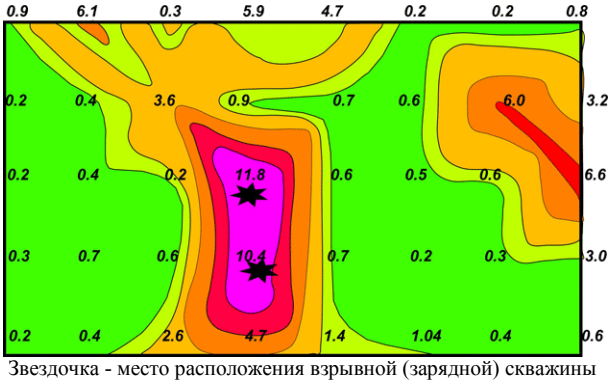
Второй особенностью Уральского региона является колоссальная техногенная радиационная нагрузка, связанная с горнодобывающими предприятиями, предприятиями ядерно-топливного и ядерно-оружейного цикла. Это - добыча и переработка уранового и ториевого сырья, работающие ядерные энергетические реакторы (Белоярская атомная электростанция), ядерно-технологические и опытные реакторы, производство ядерного оружия, технологические ядерные взрывы и наличие хранилищ ядерных отходов. Общую обстановку по радиационной техногенной нагрузке можно оценить по схеме, приведенной на рисунке 2, где показано размещение как основных предприятий ядерно-энергетического цикла, так и места проведенных технологических подземных ядерных взрывов [8, 12, 13].

В статье представлены некоторые результаты исследований экологической обстановки после подземных технологических ядерных взрывов, произведенных в Пермской области (Западный Урал) – рисунок 2. Известно, по крайней мере, о 10 подземных ядерных взрывах, произведенных на этой территории. Подземные взрывы с целью увеличения добычи нефти проведены на Осинском (проект "Грифон"- два заряда) и Гежском (проект "Гелий" – пять зарядов) месторождениях. Взрывы атомных зарядов на выброс с целью строительства канала для печально известного проекта переброски вод северных рек на юг были произведены в Чердынском районе (проект "Тайга-1" – три заряда). Последствия ядерных взрывов обычно рассматриваются в плане изучения радиоактивного загрязнения окружающей среды непосредственно продуктами взрыва или продуктами наведенной (вторичной) активности в окружающей среде. Как правило, исследуется загрязнение наиболее долгоживущими продуктами взрыва – цезием-137, стронцием-90 и кобальтом-60. Вместе с тем, обычно не исследуются последствия влияния мощных подземных взрывов непосредственно на геологическую среду, и, наоборот, влияние геологической среды на распространение и переотложение радиоактивного загрязнения. В статье этим вопросам будет уделено особое внимание [4, 5].

Проект «Грифон»

В сентябре 1969 г. на расстоянии немногим более 10 км от г. Оса было произведено два подземных ядерных взрыва общей мощностью около 7 кт на глубине 1200 м, которые, по отчетам ВНИПИТехнологии позволили дополнительно извлечь из недр около 500 тыс. тонн нефти. Ядерные заряды были заложены в водонасыщенной части пласта, на глубинах приблизительно на 50 -70 м ниже продуктивного нефтяного пласта. В результате взрывов образовались полости, в дальнейшем заполненные радиоактивной водой. При бурении прокольных скважин произошел выброс радиоактивной воды, содержащей по данным ВНИПИпромтехнологии до 41 кБк/л стронция-90, 592 кБк/л цезия-137 и 5,2 МБк/л трития. Следствием этих взрывов явилось то, что в радиусе нескольких километров от места взрыва из многих отработанных скважин вместе с добываемой нефтью стали поступать радионуклиды. В 1980 г. таких скважин было обнаружено 42, в 1981 – 65, в 1987 – 63, в 1994 – 317. Таким образом, общее число загрязненных радионуклидами скважин составило 487. Основными загрязнителями подземных вод оказались радионуклиды стронций-90 и цезий-137. Радионуклиды также были обнаружены на рабочих площадках и в малых реках. Для захоронения радиоактивных веществ в районе взрыва был организован неохраняемый спецмогильник.

Проведенная радоновая съемка выявила интересные особенности исследуемого района, который по предыдущим измерениям характеризовался малой проницаемостью геологических разломов и монолитностью основных блоков. Съемка показала, что, во-первых, непосредственно в районе взрывов наблюдается аномальная концентрация радона в почвенном воздухе, достигающая 10000-12000 Бк/м3, что превышает фоновые значения в пределах массива в 50 - 100 раз (рисунок 3). Во-вторых, в зонах разломов после взрыва резко возросла концентрация радона в почвенном воздухе. В некоторых точках этих зон концентрация радона достигала 17000 Бк/м3. Таким образом, проницаемость всех разломов существенно повысилась, и они стали четко выделяться по содержанию радона (рисунок 4).

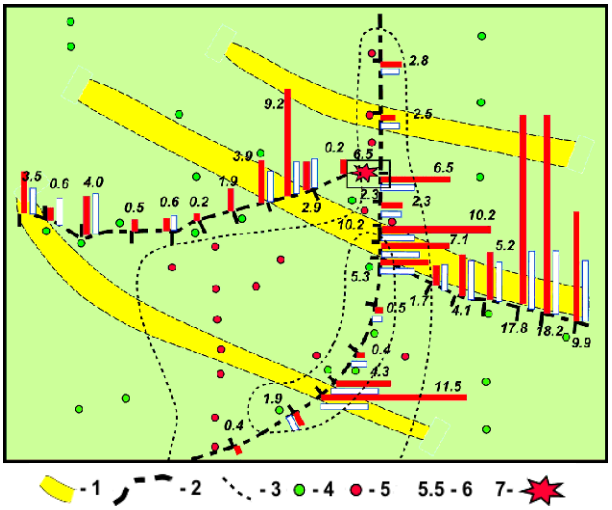


Звездочка - место расположения взрывной (зарядной) скважины

Рисунок 3. Осинское месторождение нефти. Распределение радона в почвенном воздухе (кБк/м^3) вокруг скважин

При исследованиях в 1992 - 1993гг. в районе непосредственного заложения ядерных зарядов на поверхности земли ожидалось повышенное содержание цезия-137 и стронция-90 как следствие газового выброса, произошедшего в 1971 г. Однако прове-

денные измерения гамма-поля показали, что непосредственно в районе взрывов мощность экспозиционной дозы не превышала значений 0,20 - 0,25 мкЗв/ч. Повторные измерения в 2002 г. показали незначительное уменьшение мощности экспозиционной дозы до 0,18-0,20 мкЗв/ч.



1 – дизъюнктивные нарушения; 2 – профили измерений; 3 – границы загрязненных подземных вод; 4, 5 – скважины с загрязнением по цезию менее и более 60 Бк/л, соответственно; 6 – концентрация радона, кБк/м3:- 7 – взрывная скважина

Рисунок 4. Осинское месторождение нефти. Характеристика района ядерных взрывов

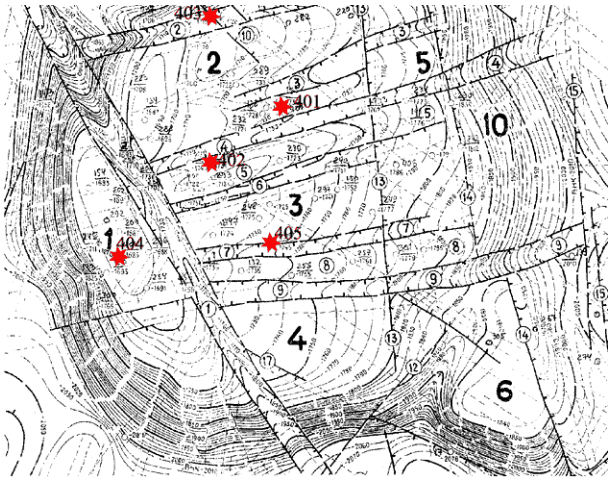
Радиоактивность отдельных проб подземных вод, отобранных в различных направлениях от места взрыва, в 1992 г. достигала 120 Бк/л, что связано, очевидно, как с процессами переноса радиоактивных продуктов подземными водами, так и процессами сорбции их горными породами. Несмотря на то, что большинство радиоактивных продуктов за прошедшие 30 лет после проведения подземных ядерных взрывов распалось, к настоящему времени отчетливо виден ареал загрязненных цезием-137 подземных вод в направлении стока от места взрыва. При этом, в некоторых точках концентрация цезия-137 в подземных водах превышает предельно допустимую норму для питьевой воды, хотя население региона, не информированное о реальной опасности, до сих пор использует её для хозяйственных нужд и при выращивании сельскохозяйственной продукции. Определенную радоновую опасность представляют в настоящее время «ожившие» тектонические нарушения, поскольку большинство из этих проницаемых зон находится в пределах существующих ныне садовых участков [8].

Проект «Гелий»

Пять подземных ядерных взрывов было произведено в 1981 - 1987 гг. в Красновишерском районе Пермского края на Гежском нефтяном месторождении. Взрывы были выполнены непосредственно в нефтедобывающих скважинах на глубине около 2500 м. Общая мощность взрывов составила около 15 килотонн. По официальным данным это позволило дополнительно извлечь 5 млн. тонн нефти и получить прибыль около 20 млн. рублей (в ценах 1988 г.). Съемки, проведенные в 1997 - 1998 гг., показали, что, несмотря на относительно благополучную радиационную обстановку на поверхности почвы (МЭД в районе взрывов составляет 0,2 - 0,25 мкЗв/ч), наблюдаются устойчивые выбросы радиоактивных газов из нефтеразведочных скважин [1, 3, 12].

Гежское месторождение нефти расположено в 25 километрах юго-восточнее города Красновишерска. В геолого-географическом отношении участок исследований расположен в Западно-Уральской внешней зоне складчатости, на севере Пермской области Красновишерского района и сложен карбонатными породами, доломитами, известняками. Вытянутость хребтов в меридиональном направлении оказывает большое влияние на распределение осадков. Растительность представлена среднетаёжными лесами из ели, пихты, берёзы и кедра на слабо подзолистых почвах.

Продуктивные пласты месторождения приурочены к мощной толще карбонатных пород, коллекторы относятся к порово-трещинному типу со сложным характером нефтенасыщенности, близким к линзовидному. Куполообразное поднятие характеризуется значительным количеством тектонических разломов, то есть, вся структура представляется в виде микрограбенов (рисунок 5).



Тектонические блоки: 1 – Западный; 2 – Северный; 3 – Центральный; 4 – Южный; 5 – Северно-Восточный; 6 – Юго-Восточный; 10 – Восточный склоновый. Звездочка - зарядная скважина подземного ядерного взрыва

Рисунок 5. Гежское месторождение нефти. Схема геологического строения куполообразной структуры (положение дизъюнктивных нарушений и микрограбенов приведены по данным бурения)

Характер геологической структуры позволяет предположить, что после проведения подземных ядерных взрывов в результате разрушения пород в зоне взрыва, в частности, дробления породы и образования системы трещин, могли возникнуть каналы,

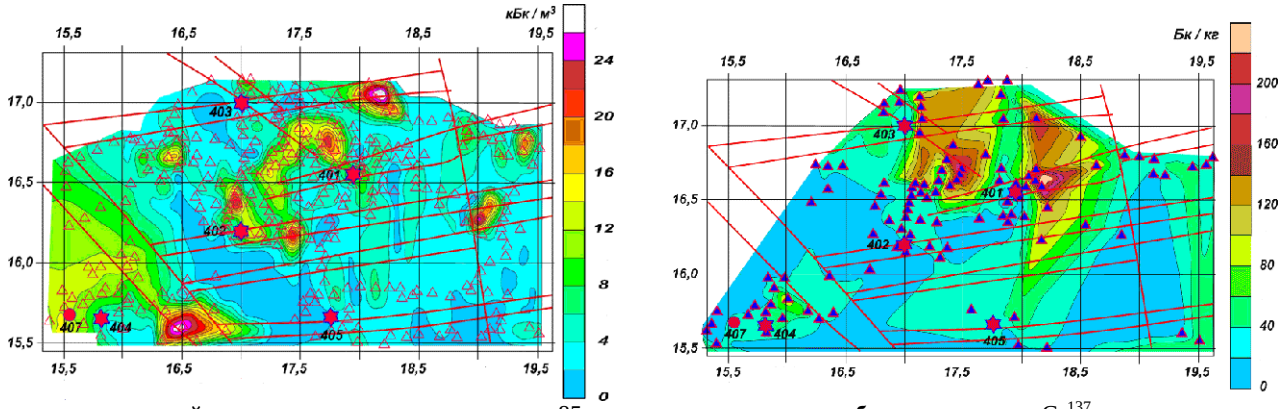
соединяющие котловую полость взрыва с атмосферой. По этим каналам вследствие избыточного давления в котловой полости непосредственно после взрывов и потом, вследствие диффузии радиоактивные продукты взрыва, могли быть вынесены на поверхность купола и в атмосферу.

В 2000 – 2003 гг. лабораторией ядерной геофизики Института геофизики УрО РАН на месторождении были проведены γ-спектрометрические исследования проб почвы, растительности (стволов деревьев), нефти, исследована радиоактивность почвенного воздуха и были выявлены пути миграции радионуклидов [6, 7]. В процессе радоновой съемки было обнаружено, что в пробах почвенного воздуха, кроме радона, присутствует некий радиоактивный газ с большим периодом полураспада. Анализ данных по накоплению дочерних продуктов распада, по оптической спектроскопии показал, что этим газом является криптон-85, имеющий период полураспада 10,6 г., который составляет около 50% в составе «котловых» газов, образующихся в процессе ядерного взрыва [9 - 11,14].

По результатам газовой съемки было установлено, что, содержание радона в почвенном воздухе достигает 28 кБк/м^3. Кроме того, в почвенном воздухе наблюдаются очень высокие концентрации криптона-85 (до 40 кБк/м^3). Детальные исследования показали, что на изучаемой площади в результате воздействия ударных волн ядерных взрывов образовалось несколько проницаемых зон, через которые интенсивно выделяются радон и криптон-85 (рисунок 6 а).

Интересно, что проницаемые зоны только в одном случае приурочены непосредственно к зарядной скважине (скважина № 402), во всех других случаях - к разломной тектонике месторождения. Это свидетельствует о непредсказуемости существенных разрушений в массиве, которые произошли как непосредственно после взрыва, так и спустя значительное время. До сих пор нефть из некоторых добывающих скважин выходит с водой, обогащенной цезием-137, что вызывает загрязнение водной среды (рисунок 6б).

20-летний период, прошедший со времени проведения подземных ядерных взрывов на Гежском месторождении, несомненно сгладил радиационную обстановку на земной поверхности, связанную с выносом основных долгоживущих продуктов взрыва: цезия-137, стронция-90, кобальта-60. Тем не менее, современные измерения содержания техногенных радионуклидов в почве и растительности могут дать информацию о первоначальном распределении их непосредственно после взрыва. Кроме того, можно ожидать более контрастных аномалий содержания цезия-137 в золе деревьев, поскольку растительность аккумулирует радионуклиды в течение всей жизни. Проведенные в последние годы измерения на Гежском месторождении показали следующее. Практически во всех пробах почвы и золы деревьев в северной части полигона имеются следы кобальта-60, что свидетельствует о проведенных ядерных взрывах. Однако более надежные данные получены при изучении распространения цезия-137, как более подвижного радионуклида. Из рисунков 6б и 7 видно, что зоны повышенных концентраций радионуклида по опробованию почвы и золы деревьев локализованы пространственно чётко и расположены в северной части, в районе тектонического куполообразного поднятия структуры Гежского месторождения.

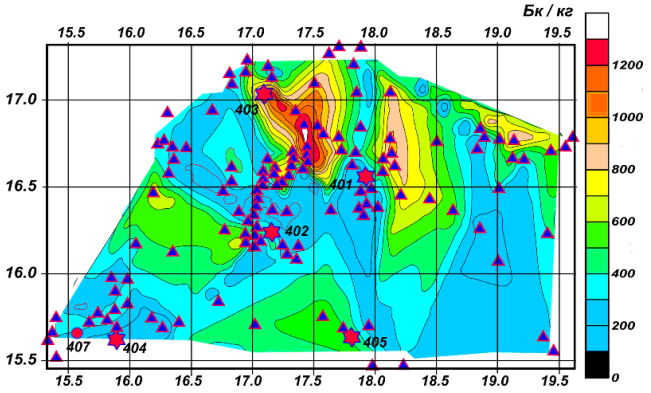


а – в суммарной концентрации радона и криптона-85

б – концентрации Cs^{137}

1 – технологическая (зарядная) скважина; 2 – контрольная скважина; 3 – точка отбора проб; 4 – тектонические нарушения

Рисунок 6. Гежское месторождение нефти. Распределение в почвах



Обозначения на рисунке 6

Рисунок 7. Гежское месторождение нефти. Содержание цезия-137 в золе деревьев в зоне действия подземных ядерных взрывов

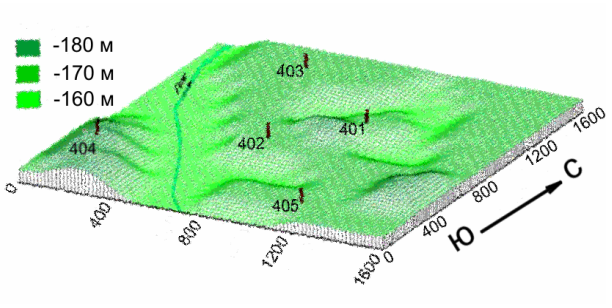


Рисунок 8. Морфология дневной поверхности на Гежском месторождении

Кроме того, можно утверждать, что зоны тектонических нарушений, как более проницаемые участки массива, являются каналами, по которым радиоактивные продукты ядерных взрывов поднимаются на поверхность. Очевидно, что первоначально продукты взрыва мигрировали в верхнюю часть купольной тектонической структуры, оттуда затем мигрировали на земную поверхность. Следует отметить еще одну особенностью распределения цезия-137, относящуюся к южной части исследуемого района. Повышенные концентрации радионуклида здесь наблюдаются практически только вблизи взрывных скважин. Интересно также, что повышенные содержания цезия-137 наблюдаются в северо-восточной части полигона, достаточно далеко от взрывных скважин. Можно предположить, что эти две особенности распределения цезия-137 связаны с морфологией земной поверхности на Гежском месторождении (рисунок 8). Взрывные скважины 404 и 407 расположены на достаточно крутом склоне, и этот район должен хорошо промываться дождевыми осадками. В северо-восточной части полигона, наоборот, наблюдается понижение рельефа, куда продукты взрыва могли быть снесены дождевыми и талыми водами. Таким образом, учет геотектонических и геоморфологических особенностей района проведения подземных ядерных взрывов необходим для оценки последующего распределения продуктов взрыва и прогноза радиоактивного заражения местности.

Выводы

1. Проведенные измерения радиоактивности почвенного воздуха по методике раздельного определения радиоактивности смеси газов показали, что в районе подземных взрывов почвенный воздух почти целиком состоит из криптона-85. Его концентрация достигает 40 кБк/м^3. Зоны пересечения разломов характеризуются повышенными значениями как радона, так и криптона-85.

2. Применение специальной радиометрической аппаратуры для регистрации малых удельных активностей природных сред позволило провести исследования по радиоактивному загрязнению почвы и растительности месторождения. Максимальные концентрации Cs-137 достигают в почве до 220 Бк/кг (измерения на вес почвы до озоления), в золе деревьев – до 1300 Бк/кг (измерения на вес золы дерева). Повышенная концентрация ра-дионуклидов в почве и золе деревьев определяется морфологией поверхности.

3. Последствием подземных ядерных взрывов явилось увеличение трещиноватости уже имеющихся тектонических разломов и образование новых локальных зон с повышенной проницаемостью. Эти зоны и составляют основной путь поступления Cs-137 вместе с флюидами на поверхность, также как и для инертных газов. Результаты радиоэкологического исследования позволили оконтурить участки с повышенным содержанием радионуклидов.

Литература

1. Атомные взрывы в мирных целях: сборник статей / Под ред. И.Д. Морохова // М.: Атомиздат, 1970. – 124 с.
2. Булатов, В.И. 200 ядерных полигонов СССР: География радиационных катастроф и загрязнений / В.И. Булатов // Новосибирск: ЦЭРИС, 1993. – 88 с.
3. Голубов, Б.И. Мирный взрыв или камуфлет с подвохом / Б.И. Голубов // Энергия, 1993. – № 6, – С. 51–55.
4. Лучинин, И.Л. Объяснительная записка к карте районирования Среднего и Южного Урала по степени потенциальной радоноопасности: Отчет за 1993 – 1995 гг. по программе «Радиоэкология Свердловской области» / И.Л. Лучинин [и др.] // Екатеринбург: ГГП "Зеленогорскгеология", 1995.
5. Радиоактивные беды Урала / В.И. Уткин [и др.] // Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 100 с.

6. Рыбаков, Е.Н. Низкофоновая камера с высокой эффективностью регистрации для изучения малых уровней радиоактивностей / Е.Н. Рыбаков // Кн. Радиационная безопасность Урала и Сибири: (Материалы Всероссийской научно-практической конференции, 18-20 сентября 1997 г., г. Екатеринбург). – Екатеринбург: НТО "Горное", 1997. – С. 69 - 70.
7. Рыбаков, Е.Н. Исследование последствий подземных ядерных взрывов на Гежском месторождении нефти / Е.Н. Рыбаков // Кн. Проблемы геофизики. Материалы III Уральской молодежной школы по геофизике – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – С. 93 - 96.
8. Рыбаков, Е.Н. Влияние подземных ядерных взрывов на геологическую среду / Е.Н. Рыбаков // Кн. Ядерная геофизика. Геофизические исследования литосферы. Геотермия. Материалы II науч-ных чтений памяти Ю.П. Булашевича. – Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2003. – С. 90.
9. Рыбаков, Е.Н. Определение отношения концентрации радона и криптона-85 в почвенном воздухе, как остаточное явление подземных ядерных взрывов / Е.Н. Рыбаков // Кн. Современ-ные проблемы геофизики. Материалы V Уральской молодежной научной школы по геофизике. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – С. 132 - 134.
10. Рыбаков, Е.Н. Оценка точности при измерении малых активностей / Е.Н. Рыбаков // Кн. Глубинное строение. Геодинамика. Мониторинг. Тепловое поле земли. Интерпретация геофизиче-ских полей. Материалы III научных чтений памяти Ю.П.Булашевича. – Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2005. – С. 49 - 50.
11. Рыбаков, Е.Н. О погрешностях раздельного определения активности радона и коип-тона-85 в районе подземных ядерных взрывов. / Е.Н. Рыбаков // Кн. Современные проблемы геофизики. Мат-лы VII Уральской молодеж.научн.школы по геофизике. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – С. 125 – 127.
12. Уткин, В.И., Особенности радиационной обстановки по-сле подземных ядерных взрывов на Гежском месторождении нефти / В.И. Уткин, Е.Н. Рыбаков, В.А. Щапов В.А // IX Международный экологический симпозиум "Урал атомный, Урал промышленный". Материалы. ИПЭ УрО РАН. Екатеринбург, 2001. – С. 131 - 132.
13. Уткин, В.И. Особенности радиационной обстановки на Урале / В.И. Уткин // Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 150 с.
14. Уткин, В.И., Оценка погрешностей временного разделения криптона-85 и радона-222 при изучении последствий подземных ядерных взрывов / В.И. Уткин, Е.Н. Рыбаков // Кн. Глубинное строение. Геодинамика. Мониторинг. Тепловое поле земли. Интерпретация геофизических полей: Материалы III научных чтений памяти Ю.П.Булашевича. – Екатеринбург: ИГф УрО РАН, 2005. – С. 66 - 67.

ПЕРМЬ ОБЛЫСЫНЫҢ МУНАЙ КЕНОРНЫЛАРЫНДА ЖЕРАСТЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЗАРДАПТАРЫ

Уткин В.И., Рыбаков Е.,Н., Щапов В.А

РҒА Орал бөлімінің Геофизика институты, Екатеринбург, Ресей

Мұнай өндірісін көбейту және солтүстік өзендер суларын жіберу жобасы үшін арна құрылысы мақсатында Пермь облысында (Батыс Орал) жүргізілген жерастындағы технологиялық ядролық жарылыстардан кейінгі экологиялық жағдайын зерттеулерінің кейбір нәтижелері келтірілген [1 - 3]. Жарылыстың ұзақ болатын өнімдерімен – цезий-137, стронцией-90 және кобальт-60 – қоршаған ортасы ластануын әдетте зерделеуінен айырмасында негізгі акценті, жерастындағы жарылыстардың геологиялық ортасына тікелей ықпалын және, керісінше, радиоактивтік ластануының таралуы мен қайта түзілуіне геологиялық ортаның ықпалын зерттеуіне аударылған.

ECOLOGICAL CONSEQUENCES OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS ON PETROLEUM DEPOSITS OF THE PERM AREA

V.I. Outkin, Ye.N. Rybakov, V.A. Shchapov

Institute of Geophysics of Ural Branch RAS, Ekaterinburg, Russia

This paper presents some investigation results of environmental situation after the underground nuclear explosions with the industrial purposes carried out in the Perm area (the western Ural) in order to increase oil production and canal laying for the project of the northern rivers water transfer [1 - 3]. Unlike the usual studied environmental pollution the more long-living products of the explosion are cesium-137, strontium-90 and cobalt-60, the focus was made on the investigation of powerful underground explosion directly on the geological environment, and vise versa, the influence of geological environment on the distribution and redeposition of the radioactive contamination.

УДК 539.21:621.039.9

МЕТОДЫ ВЫСОКОТОЧНОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ ИНСПЕКТИРОВАНИИ МЕСТ ПОДЗЕМНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Каримов Ф.Х.

Институт сейсмостойкого строительства и сейсмологии Академии наук Республики Таджикистан, Душанбе

Методы высокоточной магниторазведки, применяемые при тектономагнитных исследованиях для идентификации аномалий в вариациях локального геомагнитного поля сейсмотектонической природы, имеют принципиальную возможность для применения в мониторинге состояния геосреды при проведении Инспекции на месте, когда на дневной поверхности отсутствуют явные признаки проведённых технических испытаний и экспериментов.

ВВЕДЕНИЕ

Методы высокоточной магниторазведки нашли активное применение при исследованиях вариаций тонкой структуры магнитного поля Земли, вызванных сейсмотектоническими процессами, и получивших название тектономагнитных эффектов [1 - 3]. С появлением протонных и квантовых магнитометров с 50-х годов прошлого столетия уровень идентификации аномалий в вариациях локального геомагнитного поля возрос существенно, и во многих сейсмически активных районах мира - Центральной Азии, Дальнего Востока России, Кавказа, Китая, США, Турции, Японии, - были получены надёжные данные о величине и свойствах тектономагнитных эффектов. В [1] приведены непосредственные данные о вариациях локального геомагнитного поля, вызванных промышленными взрывами. В этом случае, в частности, был зафиксирован ступенчатый скачок вариаций, запаздывающий относительно момента взрыва из-за конечной скорости распространения деформаций, вызванных взрывом, и постепенное их возвращение к исходному уровню по мере релаксации механических напряжений в земной коре. В настоящей статье рассмотрена принципиальная возможность применения методов высокоточной магниторазведки для идентификации места проведения подземных технических экспериментов и испытаний в случаях, когда их явные признаки на внешней земной поверхности отсутствуют.

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АНОМАЛИЙ ЛОКАЛЬНОГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Технические приспособления и оборудование, расположенные на дневной поверхности, обладают собственными магнитными свойствами, - остаточной намагниченностью и магнитной восприимчивостью, - и они создают локальные аномалии геомагнитного поля. Опыт измерения аномалий локального геомагнитного поля от различных объектов искусственного происхождения, таких, например, как буровые вышки, обсадные трубы, газопроводы, нефтепроводы, железные дороги, рудники, показывает следующие характерные значения магнитных аномалий [4]. Аномалии от газопроводов, нефтепроводов и железных дорог составляют до 1000 нТ, от обсадных труб и буровых вышек – до 10 - 100 нТ. Это - постоянно действующие, не изменяющиеся во времени аномалии, которые с удалением от них на расстояние порядка 100 м уменьшаются до фоновых значений. Помехи от линий электропередач - переменного типа, аномалии от них достигают 10 нТ. При аналогичности условий размещения на дневной поверхности указанных искусственных объектов и объектов технических испытаний и экспериментов можно ожидать подобие величин этих групп магнитных аномалий. С увеличением глубины залегания аномалиеобразующих объектов величина аномалии локального геомагнитного поля, наблюдаемого на дневной поверхности, при всех прочих условиях уменьшится, либо увеличится при расстоянии, соизмеримом с линейными размерами объекта и глубиной его залегания (по аналогии с изменением аномалии в зависимости от увеличения высоты наблюдения над дневной поверхностью [4]). Для объектов, залегающих на больших глубинах, превалирует дипольный характер зависимости локального геомагнитного поля.

Согласно современным представлениям тектономагнетизма в основе возникновения аномалий в вариациях локального геомагнитного поля лежат два основных физических механизма: геопьезомагнитный и электрокинетический, и поэтому оба эти механизма могут внести вклад в вариации аномалий локального геомагнитного поля. В результате изменений геосреды, вызванных подземными техническими испытаниями и экспериментами, в очаговой области происходит изменение плотности горных пород, а, значит, остаточной намагниченности и магнитной восприимчивости горных пород. Если в области очага имеются подземные воды, то из-за их фильтрации возникают электрокинетические явления. Очевидно, вклад геопьезомагнитного будет существенным, если остаточная намагниченность и магнитная восприимчивость горных пород очаговой области достаточно велики. Вклад электрокинетического механизма будет существенным, если будут достаточно велики дзита-потенциал двойного электрического слоя на границе пород с флюидами, пористость пород, коэффициент вязкости подземных флюидов, а также собственно механические напря-

жения в очаговой области. Кроме того, в некоторых случаях может проявиться геотермический механизм возникновения вариаций локального геомагнитного поля, в основе которого лежат температурные изменения физических свойств горных пород и ряд явлений теплопереноса.

Методы высокоточной магниторазведки оказались приемлемыми для обнаружения трещиноватости и раздробленности горных пород [5]. Профильные геомагнитные съёмки с использованием двух протонных магнитометров типа ММП-203 (Рудгеофизика, Российская Федерация) способом сравнения синхронно полученных данных позволили обнаружить, что намагниченность изученных горных пород коррелирует с их плотностью. Максимумам аномалий локального геомагнитного поля, зарегистрированным вдоль профиля, отвечают места залегания пород с ненарушенной структурой, а минимумам аномалий - раздробленные и перетертые породы. То-есть, плотность трещин и величина магнитной аномалии находятся в обратной зависимости.

Поскольку часть геомагнитного поля, которая генерируется электрическими токами ионосферы, существенно переменная, в отличие от слабо меняющихся полей, создаваемых земным ядром и мантией, то явления естественной электромагнитной индукции в земных недрах могут также быть причиной переменных во времени и пространстве локальных аномалий геомагнитного поля. Например, это могут быть геомагнитные поля теллурических токов. Компоненты первичного электромагнитного поля ионосферы различной амплитуды и частоты создают вторичное электромагнитное поле индукционной природы. Следовательно, переменные компоненты регистрируемого на дневной поверхности естественного геомагнитного поля, представляет собой сумму индуцирующего и индукционного полей. Соотношение этих полей, как следует из общих положений электродинамики, зависит от частоты полей и электропроводности земной коры. В самой верхней части разреза, сложенной осадочными породами, обычно электрически крайне неоднородными по площади и глубине, удельная электропроводность составляет 1 - 10 Ом·м, постепенно возрастает с глубиной в пределах земной коры до 10^3 - 10^8 Ом·м (см., например, [6]). Если принять, что технические испытания и эксперименты проведены в породах с электропроводностью 1 - 10 Ом·м, то значения толщины скин-слоя в модели однородного горизонтального полупространства для разных частот составят величины, приведенные в нижеследующей таблице ($\delta = c \cdot (2\pi\mu\sigma\omega)^{-0,5}$, где δ - толщина скин-слоя, μ - магнитная проницаемость пород (как правило, $\mu \approx 1$), σ - удельная электрическая проводимость пород, ω - частота колебаний рассматриваемой составляющей геомагнитного поля, c - постоянная скорости света в вакууме). Значения, приведённые в таблице, определяют пространственно-временной масштаб и диапазон изменения полей.

Таблица. Соответствие толщины скин-слоя и частоты поля

δ, км	ω, Гц	δ, км	ω, Гц	δ, км	ω, Гц
0,001	10^8	0,100	10^2	10,00	10^{-2}
0,010	10^4	1,000	10^1	100,0	10^{-3}

МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЛАБЫХ КВАЗИПОСТОЯННЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ

Для регистрации поля могут быть использованы как компонентные, так и модульные магнитометры. Учитывая опыт выявления тектономагнитных аномалий, можно предположить, что современная магнитометрическая аппаратура даёт возможность выделять на фоне помех минимальные полезные сигналы магнитных аномалий величиной порядка 0,001 – 0,100 нТ. Эффективное исключение фоновых составляющих главного магнитного поля Земли и солнечно-суточных геомагнитных вариаций возможно путем использования метода сравнения синхронных геомагнитных данных, получаемых при измерениях в предполагаемой эпицентральной области взрыва и в удалённой, опорной, точке.

Опыт тектономагнитных исследований, накопленный в сейсмически активных районах Таджикистана, показал, что протонные прецизионные магнитометры дают возможность регистрировать модуль геомагнитного поля, для идентификации аномалии локального геомагнитного поля величиной порядка 0,1 - 1,0 нТ [1, 7, 8]. Лучшие современные модульные магнитометры, например, такие как G-882, G-877 (Geometrix, США), обладают чувствительностью около 0,1 нТ. Дискретность регистрации модуля полного вектора геомагнитного поля составляет обычно от 1 до 20 мин. Усреднение разностных данных за суточный интервал и применение способа скользящего среднего дают принципиальную возможность идентифицировать слабые аномалии порядка 0,1 – 1,0 нТ. Для обеспечения наибольшей точности может быть выбрана наименьшая дискретность регистрации поля. Использование стандартного отклонения (SD) вариаций и зарегистрированных в ночное время наименее возмущённых полей также приводит к росту точности измерения вариаций локального геомагнитного поля. При этом необходимо учитывать, что с ростом расстояния между пунктами регистрации возрастают погрешности выделения аномалий из-за различий в индукционных эффектах естественного электромагнитного поля в этих пунктах. Однако в пределах нескольких десятков километров изменение обычно не более чем 1,0 нТ. Необходимо принимать во внимание также возможную разнонаправленность вектора полного магнитного поля в данной точке и вектора приращения магнитного поля, обусловленного собственно тектономагнитным эффектом. В последнем случае тектономагнитный эффект будет наибольшим, если вектор тектономагнитного эффекта $\delta\vec{T}$ коллинеарен вектору локального геомагнитного поля $\vec{T}$. Наименьший эффект имеет место при взаимной перпендикулярности этих векторов. Если величина наибольшего эф-

фекта при этом - $\delta\vec{T}$, то величина наименьшего будет в $(\delta\vec{T}/\vec{T})$ раз меньше.

Применении компонентных магнитометров обеспечивает дополнительную возможность анализировать угловые координаты отклонения векторов локального геомагнитного поля, вариации его отдельных компонент. Поэтому применение компонентных магнитометров даёт возможность полнее, чем с помощью протонных, представить пространственную картину локального геомагнитного поля и, следовательно, более полно решить обратную задачу магниторазведки. При этом обработка и анализ данных компонентных съёмок занимают гораздо больше времени, чем данных модульных съёмок, особенно, если не применяются современные компьютерные программы.

Альтернативные методики

Подземные объекты создают, очевидно, не только аномалии локального геомагнитного поля, квазипостоянные во времени, но и переменные. Успех идентификации этих аномалий зависит от того, какие особенности геомагнитного поля выбраны для обнаружения объекта, насколько правильно подобрана регистрирующая аппаратура, особенно по чувствительности, какова сеть наблюдений на изучаемой площади и каков способ регистрации данных.

Известные разнообразные магнитотеллурические методики [9] дают основу для их применения при решении задач идентификации подземных аномалиеобразующих объектов. Может быть применена альтернативная методика, основанная на различиях солнечно-суточных геомагнитных вариаций в пунктах регистрации. Эти различия будут обусловлены вариациями локальной электропроводности земной коры в местах испытаний. В такой схеме наблюдений солнечно-суточные геомагнитные вариации будут представлять «полезный» сигнал. Сравнение амплитуд солнечно-суточных вариаций за суточный интервал времени после вычитания синхронных геомагнитных значений в пунктах регистрации (либо их отношения) даст картину распределения аномальных значений по площади, отражающую изменения физического состояния геосреды в очаговой зоне. Из-за скин-эффекта естественного электромагнитного поля в земной коре в местах с меньшей электропроводностью амплитуда вариаций будет больше, чем в местах с повышенной локальной электропроводностью. В очаговой области подземного ядерного взрыва можно ожидать как приращение амплитуды локальных геомагнитных вариаций, так и их убывание, в зависимости от превалирования тех или иных действующих факторов. Например, в случае преобладания явления «мокрой» дилатации и инфильтрации подземных вод в очаговую область может отмечаться рост электропроводности и уменьшение амплитуды геомагнитных вариаций. Если дилатация «сухая», процессы инфильтрации отсутствуют, то в результате уменьшения локальной электропроводности земной коры в очаговой области амплитуда геомагнитных вариаций возрастет.

Одной из модификаций, которая может быть использована для обнаружения аномалиеобразующих объектов, является сравнение так называемых "плеч" - отношений разностей амплитуд солнечно-суточных геомагнитных вариаций в сравниваемых точках на дневной поверхности [10]. Из-за различий локальной электропроводности и добротности горных пород геосреды должен наблюдаться контраст отношений в по измерениям в этих "плечах", отражающий наличие аномалиеобразующей неоднородности на глубине. В состав солнечно-суточных геомагнитных вариаций могут входить бухтообразные вариации различной длительности. Глубина эффективного зондирования глубин земной коры при этом определяется значениями периодов геомагнитных вариаций, приведёнными в таблице.

Спектральный анализ естественного геомагнитного поля в различных точках на дневной поверхности также даёт основу для идентификации аномалиеобразующих подземных объектов из-за различий эффекта электромагнитной индукции. С использованием результатов площадных или профильных магнитных съёмок можно построить карту аномалий локального геомагнитного поля и, решая обратную геофизическую задачу, определить параметры аномалиеобразующего объекта. Очевидно, пространственные масштабы аномалий в этом случае должны быть соразмерны объёму и глубине положения объекта.

Наряду с прецизионными магнитометрами для решения задач идентификации аномалий в вариациях локального геомагнитного поля могут быть также применены магнитные градиентометры и вариометры. В этом случае анализу будут подлежать градиенты и временные изменения геомагнитного поля.

Форма очага, его размеры и положение по глубине залегания могут определяться с помощью решения обратной геофизической задачи по результатам площадной магнитной съёмки. Эффекты последействия и релаксации механических напряжений в области очага приводят к дополнительным пространственно-временным изменениям аномалий в вариациях локального геомагнитного поля. Применение метода повторных магнитных съёмок может дать принципиальную возможность наблюдать динамику локальных геомагнитных аномалий и, тем самым, обнаружить аномалиеобразующий объект. Убывание во времени интенсивности аномалий может быть использовано как дополнительное свидетельство протекания посточаговых процессов в результате проведённых технических испытаний или экспериментов. Для обнаружения слабых аномалий могут применяться способы накопления геомагнитных рядов, в результате чего случайные помехи исключаются, а полезные сигналы, складываясь, усиливаются.

Как и в традиционной геофизической разведке, весьма полезно комплексирование двух и более методов и проведение сопоставительной интерпретации данных с применением системного подхода.

Как известно, такое комплексирование существенно повышает надёжность и представительность интерпретации результатов наблюдений. При этом, преимущества мобильности разведочных магнитометрических съёмок и простота получения данных придают им дополнительную высокую эффективность. Применение современного программного обеспечения даёт возможность существенно сократить время на обработку результатов измерений и ускорить инспекционные проверки на местах проведения технических испытаний и экспериментов.

Заключение

Методы высокоточной магниторазведки дают принципиальную возможность обнаруживать локальные неоднородности в земной коре, обусловленные проведенными подземными техническими испытаниями и экспериментами. Применение этих методов целесообразно в тех случаях, когда явных признаков проведённых технических испытаний и экспериментов на земной поверхности нет. Преимущество методов высокоточной магниторазведки состоит в их высокой динамичности и мобильности.

Литература

1. Сковордкин, Ю.П. Изучение тектонических процессов методами высокоточной магнитометрии. / Ю.П. Сковордкин // М.: ИФЗ АН СССР, 1985. – 197 с.
2. Rikitake, T. Solid Earth Geomagnetism / T. Rikitake, Y. Honkura // Terra Sci. Publ., 1985. - Tokyo – P. 171 - 191.
3. Johnston, M.J.S. Review of electric and magnetic fields accompanying seismic and volcanic activity / M.J.S. Johnston // Surveys in Geophysics, 1997. - V. 18. – P. 441 - 475.
4. Ревякин, П.С. Высокоточная магниторазведка. / П.С. Ревякин, В.В. Бродовой, Э.А. Ревякина // М.: Наука, 1986. – 272 с.
5. Калинин, А.И. Возможности высокоточной магниторазведки для оценки степени трещиноватости пород / А.И. Калинин, И.В. Буйдылло // Современные вопросы геологии. – М.: Научный мир, 2002. - 440 с.
6. Электромагнитные предвестники землетрясений (Отв. ред. М.А.Садовский) // М.: Наука, 1982. – 88 с.
7. Каримов, Ф.Х. Опыт тектономагнитных исследований в Таджикистане / Ф.Х. Каримов // Труды Технологического университета Таджикистана. - Душанбе: ТУТ, 2001. – Вып. 7. - С. 118 - 133.
8. Karimov, F.H. The nature of tectonomagnetic effects in the Tajikistan seismic regions / F.H. Karimov // IWSE-2005: Program and Extended Abstracts. - Japan, Tokyo, Chofu: UEC, 2005. – P. 44 - 47.
9. Хмелевской, В.К. Геофизические методы исследований земной коры / В.К. Хмелевской // Кн.1: Методы прикладной и скважинной геофизики. - Дубна: «Дубна», 1997. – 276 с.
10. Сейсмический мониторинг земной коры. Отв. ред. А.В.Николаев. // М.: ИФЗ АН СССР, 1986. – 291 с.

ЖЕР АСТЫНДАҒЫ ТЕХНИКАЛЫҚ СЫНАУЛАР МЕН ӘКСПЕРИМЕНТТЕР ОРЫНДАРЫН ИНСПЕКИЯЛАУЫНДА ЖОҒАРЫ ДӘЛДІ МАГНИТБАРЛАУЫНЫҢ ӘДІСТЕРІ

Каримов Ф.Х.

Тәжікстан Республикасы Ғылыми академиясының Сейсмоберікті құрылыс институты, Тәжікстан, Душанбе

Сейсмотектоникалық табиғатындағы оқшаулап шектелген геомагниттік өрісі вриацияларындағы аномалияларын сәйкестендіру үшін, техникалық сынаулары жүргізілгені туралы жер бетінде анық нышандары жоқ болуында, Орнындағы инспекциясын жүргізуінде геоорта күйінің мониторингінде пайдалану үшін қолданылатын жоғары дәлді магнитбарлау әдістерінің принципті мүмкінділігі бар.

HIGH-ACCURATE MAGNETIC PROSPECTING AT ON-SITE INSPECTION OF UNDERGROUND TECHNICAL TESTS AND EXPERIMENTS

F.Kh. Karimov

Institute of Seismic Building and Seismology, Dushanbe, Tajikistan

This paper presents high accurate magnetoprospecting methods, applying to tectomagnetic researches for identification of local geomagnetic field variation anomalies of seismotectonic origin, provide principle grounds for detection of abnormal rock magnetic properties in situ and are suggesting for applications in geo medium state monitoring in time of on-site inspection. These methods are expedient to be used when there are no clear evidences for the underground technical testing and experiments on the external earth surface.

УДК 550.34:621.039.9

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ: КВАЗИГРАДИЕНТНАЯ ГРАВИМЕТРИЯ

Гвоздарев Ю.К.

Российский Федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академика Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия

Описана методика обработки гравиметрических измерений - квазиградиентная гравиметрия (КГГ), разработанная для выявления относительно слабых гравитационных аномалий, обусловленных воздействием подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на горные породы. Экспериментально по гравиметрическим измерениям, полученным автоматизированным микрогальным гравиметром CG-3M "Autograv", подтверждено уверенное обнаружение зоны горных пород, разрушенных в результате ПЯВ, проведенных на глубинах 490 и 680 м. Стандартные методики обработки гравиметрических данных не приводили к таким результатам.

Аномальное гравитационное поле, аномалии Буге, в практике гравиразведки вычисляют по формуле:

$$g_{a\,i} = g_i + W_{zz} \times h_i - (2\pi \times G) \times \rho_{ср.} \times h_i, \qquad (1)$$

где *gi* – измеренное на i-м пункте наблюдения значение ускорения силы тяжести, мгал (1 гал = см·с$^{-2}$); *Wzz* – нормальный вертикальный градиент гравитационного поля в свободном воздухе, 0,3086 мгал /м; *hi* – высота *i*-го пункта наблюдения, отсчитываемая от некоторого условного уровня; $2\pi \times G$ = 0,0419 – коэффициент поправки за промежуточный слой; *G* – гравитационная постоянная, см^3·г$^{-1}$·с$^{-2}$; $\rho_{ср.}$ – средняя плотность промежуточного слоя, г·см$^{-3}$.

Реально значение вертикального градиента гравитационного поля *Wzz* на каждом пункте наблюдения различается. Использование нормального вертикального градиента *Wzz*, вычисленного с использованием усредненных теоретических параметров для планеты в целом, не может дать достаточно приемлемые результаты при поиске малоконтрастных гравитационных аномалий в пределах относительно небольших участков, таких как, например, приустьевые участки скважин, в которых производились подземные ядерные взрывы (ПЯВ). Можно измерить на пункте наблюдения конкретное значение вертикального градиента гравитационного поля, но эти измерения трудоемки и требуют применения прецизионных гравиметров. На рисунке 1 изображены результаты обработки гравиметрических измерений на месте проведения ПЯВ по стандартной методике.

Несмотря на то, что в приведенном примере для измерений применялся прецизионный гравиметр, сделать какие либо определенные выводы о воздействии произведенного ПЯВ на горные породы по характеру гравитациионного поля весьма затруднительно. Для выявления гравитационных аномалий, обусловленных воздействием подземного ядерного взрыва на горные породы, разработана специальная методика обработки гравиметрических измерений - квазиградиентная гравиметрия (КГГ). Методика КГГ основана на статистической обработке результатов гравиметрических измерений.

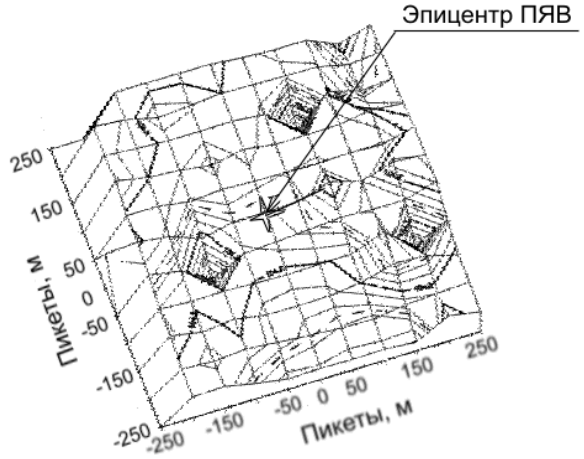
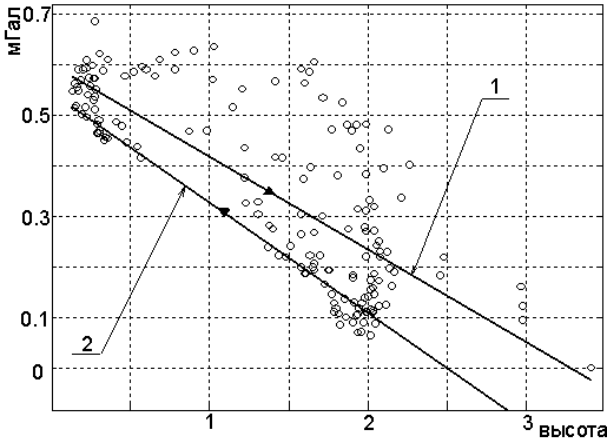


Рисунок 1. Аномалии Буге в районе проведения ПЯВ

Каждое измеренное значение силы тяжести рассматривается как отклонение от среднего. Для вычисления средних значений силы тяжести по измерениям на исследуемом участке, используется метод наименьших квадратов. Тангенс угла наклона линии регрессии, отображающей средние значения силы тяжести на облаке точек поля, построенном как зависимость силы тяжести от толщины промежуточного слоя, является значением вертикального градиента гравитационного поля для исследуемого участка. Поскольку исследуемый горный массив неоднороден, необходимо исключить влияние неоднородностей в полученном значении вертикального градиента. Для этого используются два значения силы тяжести на каждом пункте наблюдения – измеренное и вычисленное среднее. Измеренные значения в разной степени отличаются от средних. Эти разности и есть аномалии гравитационного поля. Из всех пар значений выбирается наибольшая по модулю разность как несомненно аномальная и исключается из массива рассматриваемых значений. Поле значений зависимости сил тяжести от толщины промежуточного слоя изменится, следовательно, изменятся среднее значение силы тяжести и угол наклона линии регрессии. Для оставшихся значений силы тя-

жести вычисляется тангенс угла наклона линии регрессии. Процесс усреднения с отбраковкой измерений продолжается до тех пор, пока не останется 10% значений от исходного количества. В результате усреднения с отбраковкой аномальные значения измеренных сил тяжести будут отброшены, а оставшиеся будут характеризовать гравитационное поле с наименьшими отклонениями от средних значений. Следовательно, значение вертикального градиента $W_{zz\,cp}$, полученное в конце процесса усреднения с отбраковкой, будет характеризовать среднее изменение силы тяжести в зависимости от толщины промежуточного слоя для условно однородного исследуемого массива. Значение вычисленного вертикального градиента может быть как отрицательным, так и положительным. На рисунке 2 показано поле зависимости значений гравиметрических измерений от толщины промежуточного слоя и положение линий регрессии в начале и в конце процесса усреднения.



○ – значения *gi*(*hi*); 1 – первая прямая регрессии, 2 – последняя прямая регрессии; ▲ – первое среднее значение силы тяжести; ▼ – последнее среднее значение силы тяжести

Рисунок 2. Положение линий регрессии в начале и в конце процесса статистического усреднения с отбраковкой

В процессе усреднения с отбраковкой, кроме $W_{zz\,cp}$, определяется коэффициент парной корреляции измеренных значений силы тяжести и высоты пунктов наблюдения, средняя сила тяжести и средняя высота. Зная значения разностей измеренной силы тяжести и вычисленной средней, можно вычислить значения вертикального градиента для каждого пункта наблюдения как отношение этих разностей к толщине промежуточного слоя:

$$W_{zzчi} = \frac{g_i - g_{cpi}}{h_i} * -1. \qquad (2)$$

где: g_i – измеренное значение гравиметрического измерения на пункте наблюдения; g_{cpi} – среднее значение ускорений свободного падения, вычисленное с использованием $W_{zz\,н}$; h_i – высота пункта наблюдения над уровнем приведения.

С использованием непосредственных экспериментальных измерений вертикального градиента гравитационного поля в исследуемых местах проведения ПЯВ найдена эмпирическая зависимость приращения плотности горной породы от вертикального градиента для каждого пункта наблюдения:

$$\Delta\rho_i = \sqrt{\frac{|W_{zzi}|}{0,0419}} \qquad (3)$$

$W_{zz\,cp}$ и $W_{zz\,ч}$ не являются характеристикой изменения ускорения свободного падения в свободном воздухе, как W_{zz}, и поэтому их нельзя просто подставлять в формулу (1) для вычисления аномального значения гравитационного поля как разности измеренных значений и модели однородного поля. По методике КГГ аномальное значение гравитационного поля вычисляется с использованием выражения:

$$ghi=g0+(Wzz_{ср}+Wzz_{ч})hi+(\rho_{ср}+\Delta\rho_i)\cdot 0,0419hi \qquad (4)$$

где: *g0* – значение силы тяжести на нулевом уровне; $(Wzz_{cp}+Wzz_{ч})hi$ – изменение силы тяжести в зависимости от толщины промежуточного слоя; $(\rho_{cp}+\Delta\rho_i)\cdot 0,0419hi$ – поправка за плотность промежуточного слоя.

После определения среднего вертикального градиента для всего исследуемого участка и частных вертикальных градиентов для каждого пункта наблюдения появляется возможность вычислить приращение плотности горной породы и аномальные значения гравитационного поля для каждого пункта наблюдения. Однако остается неопределенным значение средней плотности горной породы ρ_{cp}. Попытка использовать для определения средней плотности метод Неттлетона не приводит к положительному результату, так как корреляция аномальных значений вычисленного гравитационного поля с рельефом, используемая в этом методе, при функциональной связи вертикального градиента и плотности постоянна.

Для определения средней плотности горной породы исследуемого участка зададим некоторый диапазон значений плотности горных пород, и проведем вычисление аномальных значений гравитационного поля и приращения плотностей с определенным шагом изменения плотности. Значения плотности, вычисленные на каждом шаге, подвергнем усреднению с отбраковкой аналогично процедуре, описанной для измеренных значений силы тяжести, и получим коэффициент парной корреляции приращений плотности с толщиной промежуточного слоя. Таким же образом можно вычислить коэффициенты парной корреляции приращений плотности со значениями измерений гравитационного поля и с вычисленными полными и частными аномальными значениями гравитационного поля. Результатом вычислений со всеми заданными значениями плотности горных пород является ряд коэффициентов парной корреляции приращений плотностей с измеренными и вычисленными параметрами. На рисунке 3 приведены графики коэффициентов парной корреляции вычисленных средних значений плотности горных пород с высотами пунк-

тов наблюдения, измеренными значениями сил тяжести, с вычисленными частными и полными аномальными значениями гравитационного поля.

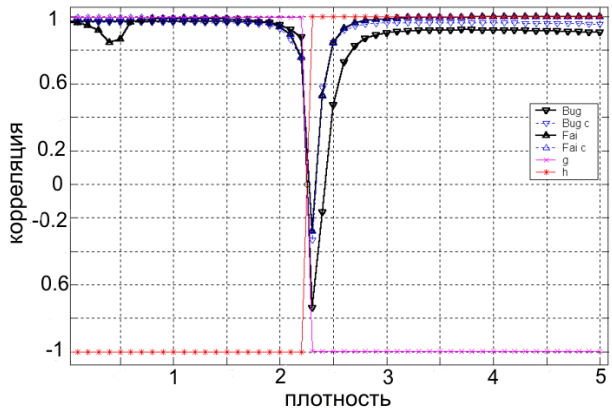


Рисунок 3. Графики коэффициентов парной корреляции вычисленных плотностей промежуточного слоя с измеренными и вычисленными параметрами

На всех графиках коэффициентов парной корреляции обнаруживается общая точка разрыва при некотором значении плотности горных пород, после которой изменения значений коэффициентов корреляций меняют знак. Если до точки разрыва значения коэффициента корреляции уменьшались, то после нее они увеличиваются. При наличии неоднородностей в горной породе (в частности, зон разуплотнения, образовавшихся в результате воздействия ПЯВ) вычисления с более коротким шагом изменения средней плотности горных пород (в данном случае 0,01 г/см^3) обнаруживают несколько таких точек разрыва. Это дает возможность не только определить среднюю плотность горной породы для исследуемого участка, но и обнаружить и определить степень плотностных нарушений. Анализ графиков корреляции средних значений плотности с вычисленными аномальными значениями гравитационного поля указывает на некие подробности изменения гравитационного поля в зависимости от изменения средней плотности горной породы. Вид графиков, значения и количество точек разрыва меняются в зависимости от выбранной толщины промежуточного слоя. При выборе малой толщины промежуточного слоя вблизи значения средней плотности горной породы исследуемого участка наблюдалось до 11 точек разрыва.

Наиболее контрастные планы аномалий гравитационного поля, вызванных воздействием ПЯВ, получены при выборе значения точки разрыва, наиболее удаленной от средней для всего исследуемого района плотности горной породы. При выборе значений средней плотности, соответствующим особым точкам графика корреляции средней плотности с аномалией гравитационного поля, представляющей интерес (локальный максимум, минимум, нулевое значение), на планах этих аномалий выявлялись некие характерные подробности поля.

В методике КГГ предусмотрена возможность обнаружения мелких неоднородностей гравитационного поля методом "скользящее окно" – расчета в рамках квадратного фрагмента сети, последовательно смещающегося по основной сети на один пункт наблюдения по "строкам" и "колонкам" сети. Накапливаемые при этом на каждом пункте наблюдения результаты расчетов усредняются. Размер скользящего окна может выбираться от 4×4 до наименьшей стороны основной сети.

При проведении гравиметрических измерений в сильно градиентном поле, когда вычисляемый вертикальный градиент получается с положительным знаком, а подробности гравитационных аномалий неразличимы, в методике КГГ предусмотрена модификация гравитационного поля по назначаемой оператором средней плотности горной породы. В этом случае в роли исходного гравитационного поля выступают отклонения от среднего значения силы тяжести, вычисляемых по назначенному вертикальному градиенту, определяемому назначенной средней плотностью горных пород. Эта модификация может быть использована для детального исследования аномалий гравитационного поля. При этом как параметр модификации поля могут быть выбраны наиболее заинтересовавшие значения плотности горных пород (рисунок 4).

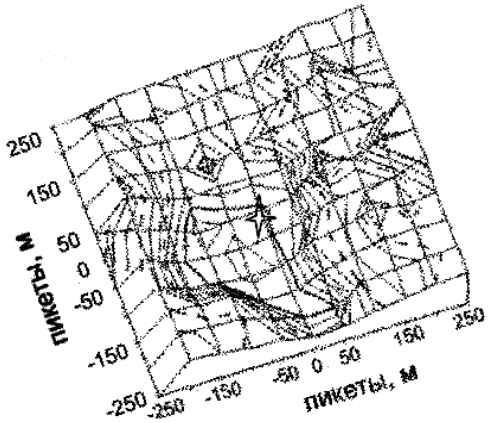


Рисунок 4. План разностей расчетных сил тяжести на месте проведения ПЯВ (средняя плотность 2,32 и 2,3 г/см^3)

В ходе опробования методики на материалах экспериментальных исследований уверенно обнаружены зоны горных пород, разрушенных в результате воздействия ПЯВ малой мощности при глубине заложения заряда 490 и 680 м, что не удавалось сделать при стандартной методике обработки гравиметрических измерений. Исходными данными для вычислений по методике КГГ являлись результаты обычных гравиметрических измерений автоматизированным микрогальным гравиметром CG-3M "Autograv". Никаких дополнительных полевых работ, приборов или приспособлений не потребовалось.

ГРАВИМЕТРИЯЛЫҚ БАЙҚАУЛАРЫН ӨҢДЕУ ӘДІСТЕМЕСІ: КВАЗИГРАДИЕНТТІК ГРАВИМЕТРИЯ

Гвоздарев Ю.К.

Ресей Федерал ядролық орталығы - академик Е.И. Забабахин атындағы Бүкілресейлік ғылыми-зертеулік техникалық физика институты, Снежинск, Ресей

Гравиметрлік өлшеулерін өңдеу әдісемесі сипатталған – тау жыныстарына жерастындағы ядролық жарылыстардың әсерінен пайда болған әлсіз гравитациялық аномалияларын анықтауына әзірленген квазиградиенттік гравиметрия (КГГ). Автоматталған микрогальдік CG-3M "Autograv" гравиметр арқылы алынған гравиметрлік өлшеулер бойынша, 490 және 680 м, терендіктерінде ЖЯЖ нәтижесінде бұзылған тау жыныстардың белдемі сенімді түрінде табылуы эксперименталды расталған. Гравиметрлік деректерін өңдеуінің стандартты әдістемелері осындай нәтижелеріне жеткізбеген.

A GRAVITY MEASUREMENT PROCESSING TECHNIQUE: QUASIGRADIENT GRAVIMETRY

Yu.K. Gvozdarev

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Scientific-Research Institute of Technical Physics named after Ye.I. Zababakhin, Snezhinsk, Russia

A technique to process gravimetric changes – quasigradient gravimetry, which was designed to reveal relatively faint gravitational anomalies, subject to underground nuclear explosions (UNE) influence on rocks was described. Certain rock collapse areas under UNE influence at 490 and 680 m depth was experimentally confirmed based on gravimetric measurements, obtained by means of automatic microgal gravimeter CG-3M “Autograv”. Standard processing methods of gravimetric data did not lead to such results.

УДК 528.8 (15):574.4

К ВОПРОСУ О РАДИОАКТИВНОЙ И ГАЗООБРАЗНОЙ СУЩНОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКИ ПОЯВЛЯЮЩЕЙСЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ АНОМАЛИИ В РАЙОНЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Великанов А.Е.

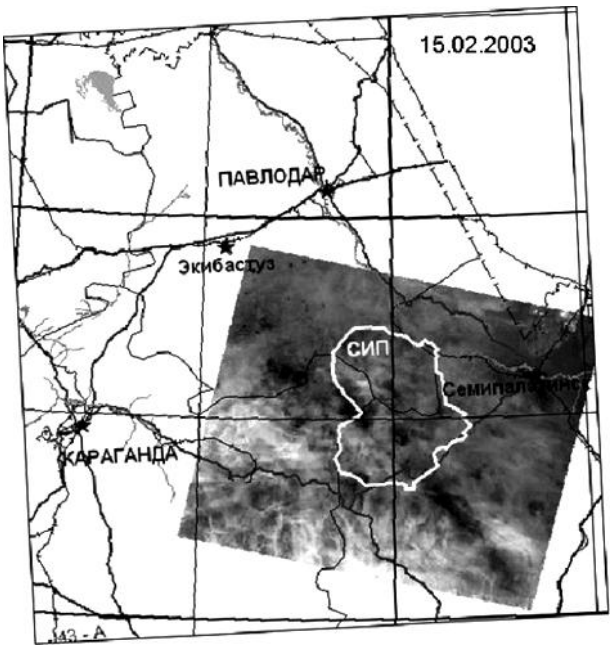
Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов

Приведёны ряд фактов и материалов дистанционного космического зондирования, подтверждающих радиоактивную и газообразную сущность периодически появляющейся и динамично изменяющейся региональной тепловой аномалии в районе Семипалатинского испытательного полигона.

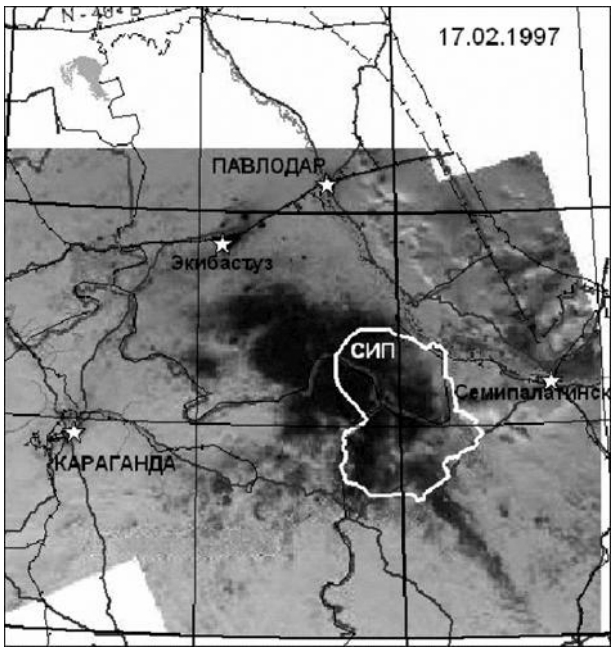
ФАКТЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ РАДИОАКТИВНУЮ ПРИРОДУ И ГАЗООБРАЗНУЮ СУЩНОСТЬ ТЕПЛОВОЙ АНОМАЛИИ

Согласно архивным метеорологическим данным появление тепловой аномалии наблюдалось еще до открытия Семипалатинского испытательного полигона (СИП) [1]. После проведения многочисленных ядерных взрывов, особенно наземных и воздушных, создавших на поверхности протяжённые юго-восточный и южный радиоактивные следы, размеры и интенсивность тепловой аномалии увеличились. По данным ИКИ МОН РК в периоды максимального развития этой аномалии перепад температуры в эпицентре относительно фона достигает 10 – 12 и более градусов [2], а размеры охватывают площадь до 250×500 км.

Региональная тепловая аномалия в районе СИП наблюдается ежегодно в отдельные дни преимущественно зимне-весеннего сезона (реже поздней осенью), когда территория покрыта устойчивым снежным покровом. Зарождение и рост тепловой аномалии чаще всего совпадает с днями интенсивного выпадения осадков, возможного таяния снежного покрова и сопровождается понижением концентрации озона в атмосфере [3]. Конфигурация тепловой аномалии по мере ее роста и развития динамично меняется. Наблюдается значительное расширение аномалии, а затем, в зависимости от метеорологических условий, её разделение на полосы, рассеивание в различных направлениях, или общий снос в одном направлении, как правило, северо-западном, в сторону России, которое является преобладающим для атмосферных потоков в зимний период (рисунок 1).

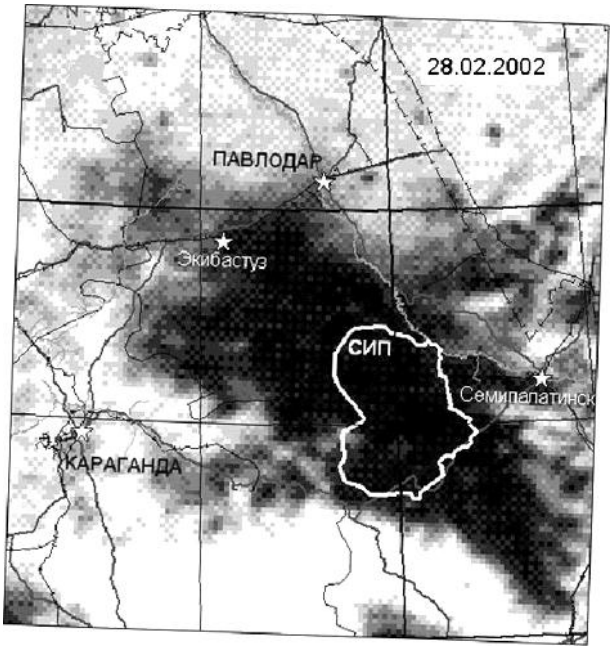


а – 15.02.2003

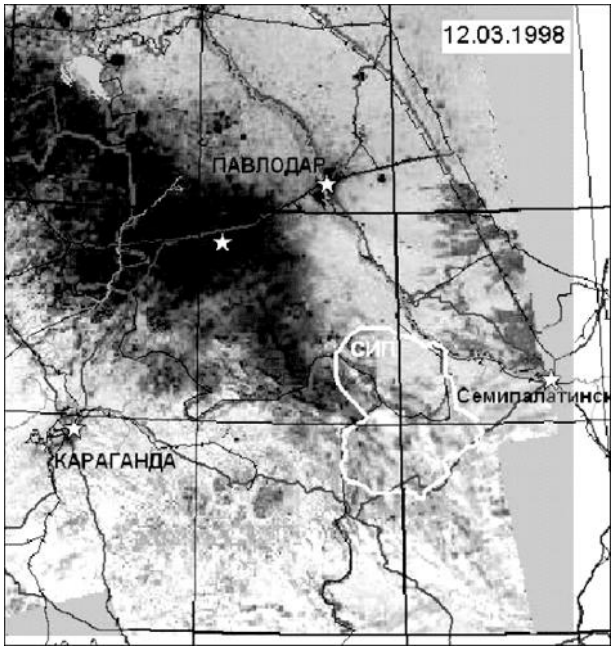


б – 17.02.1997

Рисунок 1. Этапы зарождения, роста и смещения региональной тепловой аномалии в районе СИП на космических снимках разных лет метеорологических спутников NOAA и Terra/MODIS



в – 28.02.2002



г – 12.03.1998

Рисунок 1. Этапы зарождения, роста и смещения региональной тепловой аномалии в районе СИП на космических снимках разных лет метеорологических спутников NOAA и Terra/MODIS

При этом под местом сноса или рассеяния скоплений тепловых газов (рисунок 2, красный цвет) снова просматривается снежный покров. В приведенном примере на рисунке 2, охватывающем площадь 180×170 км, в нижней части снимка после полосового рассеяния виден горный массив Дегелен. Все вышеприведенное может говорить о газообразной сущности тепловой аномалии.

Максимумы зарождающейся и расширяющейся тепловой аномалии расположены как на территории полигона, так и за его пределами. Они сохраняются также в период наибольшего развития тепловой аномалии и имеют неизменную локальную приуроченность к определённым участкам земной поверхности. Такими участками являются как природные геологические образования с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия), так и участки земной поверхности с высокой плотностью техногенного загрязнения радиоактивными элементами, связанного с проведенными ядерными взрывами. На рисунке 3 видно, что в пределах СИП такие участки с высоким содержанием техногенных радионуклидов (или следы радиоактивного загрязнения) отмечаются протяжёнными ореолами Cs137 юго-восточного и южного направлений.

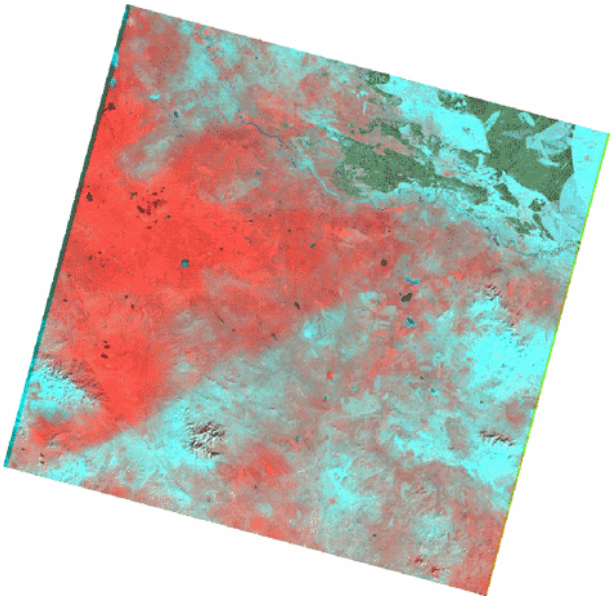
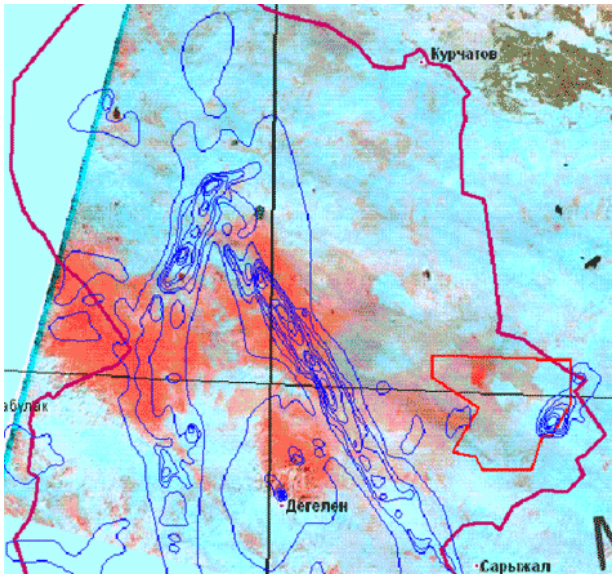
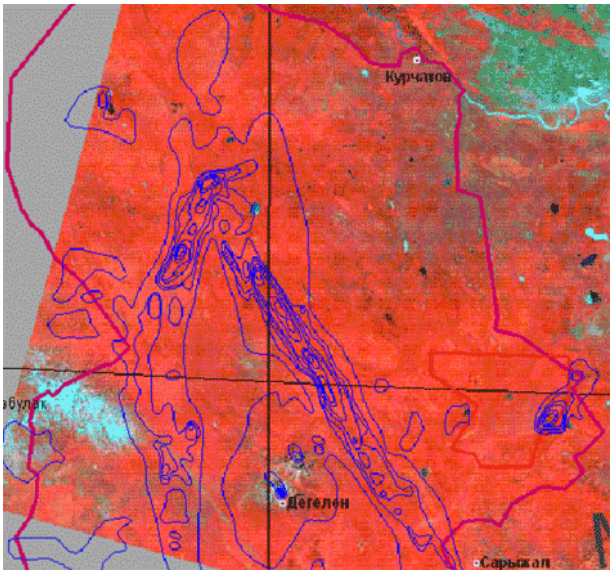


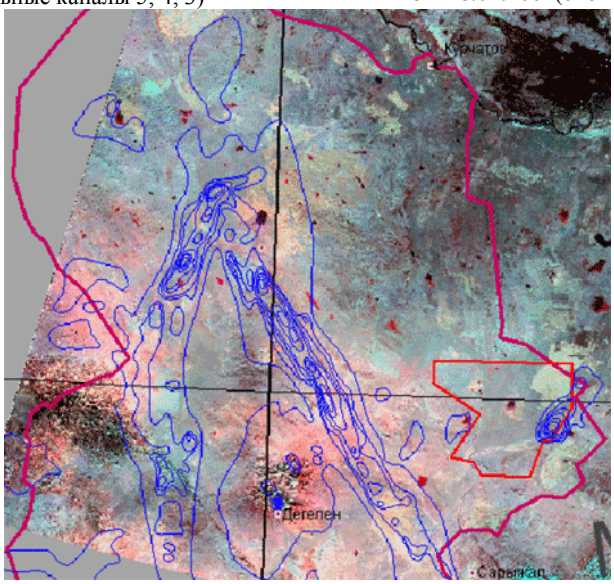
Рисунок 2. Пример частичного полосового сноса и рассеивания газов региональной тепловой аномалии (красный цвет) в районе СИП. Снимок LANDSAT за 27.01.2002. (RGB-комбинация спектральных каналов 5, 4, 3



а – 15.02.2003 (спектральные каналы 5, 4, 3)



б – 28.02.2002(спектральные каналы 5, 4, 3)



в – 28.02.2002 (комбинация инфракрасных каналов 6, 7, 5)

1 2 3

1 - контур участка Балапан; 2 - граница СИП; 3 - ореолы Cs^{137}

Рисунок 3. Территория СИП. Сопоставление участков зарождения тепловых газов (красный цвет) в начальный период и источников, излучения тепла на земной поверхности (красновато-розоватый цвет) в период максимального развития газообразной тепловой аномалии со следами радиоактивного загрязнения. Снимки LANDSAT

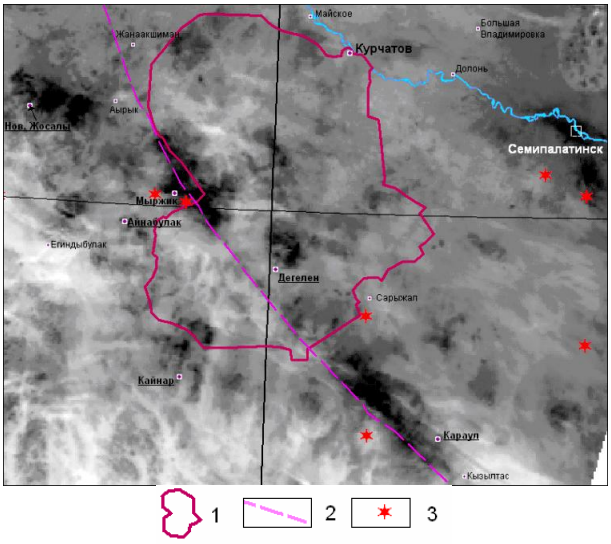
С северо-восточной и с восточной сторон гор Муржик, в районе участка Сарыузень, на котором проводились подземные ядерные взрывы в боевых скважинах большого диаметра, Институтом радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК выявлены довольно интенсивные ореолы Pu239. Источником появления этих ореолов на протяжении южного следа, по всей видимости, всё же являются воздушные ядерные взрывы, производившиеся на участке Опытное поле. При увеличении снимка LANDSAT, полученного в период максимального развития региональной тепловой аномалии, на участке Балапан у реки Чаган в инфракрасных каналах хорошо виден локальный источник излучения тепла в виде теплового ореола вокруг Атомного озера, находящийся внутри интенсивного ореола радиоактивного загрязнения Cs137 (рисунок 4). Рядом в угольном карьере Каражыра также наблюдается локальный источник тепла, связанный с дегазацией угольных пластов.

Красный цвет – источники излучения тепла на земной поверхности; розовый цвет – влажные незамеризающие солончаки

Рисунок 4. Локальные источники излучения тепла вокруг атомного озера внутри ореола Cs137 и в районе угольного карьера Каражыра в период максимального развития газообразной тепловой аномалии. Снимок LANDSAT за 28.02.2002. (RGB-комбинация инфракрасных каналов 6, 7, 5)

Участки природных геологических образований с высоким содержанием естественных радиоактивных элементов в районе СИП представляют собой чаще всего горы с выходами эффузивных пород средне-кислого состава повышенной щёлочности, реже - речные долины с аллювиальным сносом обломков тех же коренных пород (палеозойские туфы трахилипаритового и трахиандезитового состава с телами субвулканических интрузий трахилипаритового и сиенитового состава). Содержание урана (по радию) в этих породах превышает 10-15 · 10^{-4}%, тория – 20-40 · 10^{-4}% (больше фоновых в 5-10 и более раз). Кроме того, в них наблюдаются повышенные содержания ниобия, бериллия, иттрия, молибдена и свинца [4]. Наиболее интенсивное проявление высоких содержаний естественных радиоактивных элементов в геологических образованиях, совпадающее с участками зарождения тепловых газов, наблюдается (рисунок 5) в восточной части гор Кызылтау вблизи пос. Новый Жосалы; в сближенных горах Дос и Иргиз вблизи пос. Айнабулак (Абай); в горах Абрайлы, вблизи пос. Кайнар; в восточной части гор Дегелен и в северо-восточной части хребта Канчингиз, вблизи пос. Караул.

В целом тепловая аномалия вытянута в СЗ направлении. Такую же направленность в пределах аномалии имеют основной Главный Чингизский и ряд второстепенных тектонических разломов. На стадии зарождения наблюдается приуроченность вытянутых участков тепловой аномалии к местоположению Главного Чингизского разлома, являющегося по данным ИГИ НЯЦ РК сейсмоактивным [5].

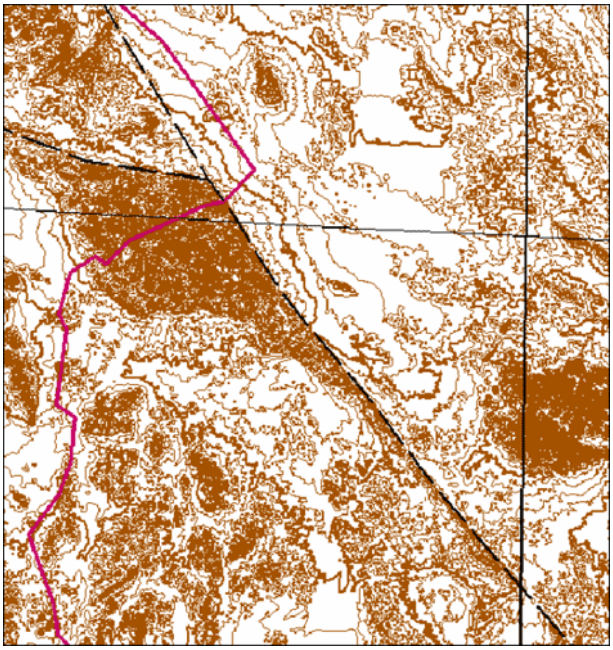


1 – контур СИП; 2 – Главный Чингизский разлом; 3 – эпицентры сейсмических событий. Чёрный цвет - смог в районе г. Семипалатинска и участки зарождения тепловых газов на земной поверхности в начальный период развития газообразной тепловой аномалии

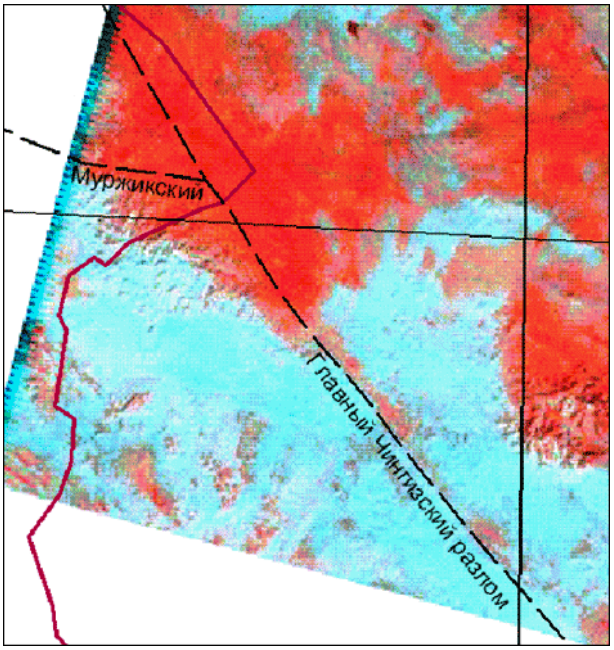
Рисунок 5. Инверсионное изображение температурных данных LST (Land Surfase Temperature) метеорологического спутника Terra/MODIS за 15 февраля 2003 г.

В зоне действия Главного Чингизского разлома - в районе гор Муржик, хребта Канчингиз, - в разные годы зафиксированы землетрясения с магнитудой mb до 5.1 (рисунок 5). Здесь по активным тектоническим разломам глубинные флюиды могут выносить газы - водород, метан, сероводород, углекислый газ, гелий и радиоактивный газ радон [6, 7, 8]. По данным ОАО «Волковгеология» район расположения Главного Чингизского разлома (район хребта Канчингиз вблизи пос. Караул) относится к основным линейным тектоническим зонам с высокими концентрациями радона в подземных водах [9].

В период зарождения тепловой аномалии, образующиеся тепловые газы имеют повышенную плотность относительно воздуха. На космических снимках LANDSAT можно наблюдать, как отдельные скопления тепловых газов задерживаются с СВ стороны возвышенных форм рельефа, особенно около рельефного уступа Главного Чингизского разлома, возвышающегося над окружающей местностью на высоту от 50-100 до 200 м в районе гор Муржик (рисунок 6).



а – на карте топографического рельефа



б – на космическом снимке LANDSAT за 15.02.2003 (спектральные каналы 5, 4, 3) в период зарождения тепловой аномалии

Рисунок 6. Отображение сейсмоактивных тектонических разломов - Главного Чингизского и примыкающего к нему Муржикского

По мере расширения и рассеивания в атмосфере плотность тепловых газов понижается, их отдельные скопления объединяются, и они поднимаются на высоту от 500 м до 4 км и более. Снизу могут наблюдаться небольшие кучевые облака с близкой тенью от них на поверхности земли, а сверху могут распространяться слоисто-перистые и перистые облака. На рисунке 7 приведен снимок LANDSAT за 12.02.2002 (RGB-комбинация спектральных каналов 5, 4, 3), охватывающий площадь 170 × 100 км с изображением юго-западной части газообразной тепловой аномалии в районе Главного Чингизского разлома, на юг от массива Дегелен.

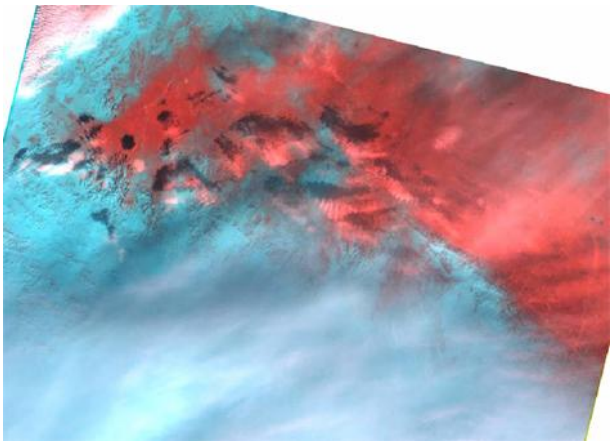


Рисунок 7. Расположение тепловых газов в атмосферной толще между кучевыми и перистыми облаками. Снимок LANDSAT за 12.02.2002 (RGB-комбинация спектральных каналов 5, 4, 3).

В тепловых инфракрасных каналах контуры газообразных скоплений и эпицентры их зарождения у поверхности земли отображаются более ярким спектром, что говорит об их тепловом излучении. Похожими цветовыми спектрами на космических снимках отмечаются угольные карьеры Каражыра, Экибастуз и г. Семипалатинск. Давно замечено, что зимой температура в крупном городе примерно на 10 градусов выше, чем в окружающей местности. Для карьеров и крупных городов источником тепловых газов, в состав которых входят преимущественно двуокись азота NO2, углекислый газ CO2 и, в меньшей степени, метан CH4, могут быть выхлопы крупногабаритных самосвалов, городского транспорта, дымовые выбросы отопительных печей, котельных и ТЭЦ, а также дегазация углей.

Источники и возможные процессы образования тепловых газов

Одним из источников появления тепловых газов в районе СИП может быть глубинная дегазация вдоль тектонических разломов, связанная с сейсмической активизацией и поступлением глубинных газообразных флюидов. Возможным источником может являться дегазация углистых пород, довольно широко распространённых на территории, особенно при радиолитическом воздействии на них радиоактивных продуктов ядерных взрывов, как в приповерхностных условиях, так и в подземных скважинах. В состав тепловых газов могут входить водород, метан, сероводород, углекислый газ. Довольно ощутимым проявлением дегазации углистых пород

было взрывное возгорание газов с образованием провальной воронки на участке Балапан в боевой скважине «Глубокая» 16 апреля 1992 (через 15 лет после подземного ядерного взрыва в 1977 г. мощностью 70 кт). На участке Балапан имеется десять боевых скважин, отнесенных к газующим. При полевых исследованиях в 2006 г. в части этих скважин в составе газов установлены углекислый газ и метан. Более половины всех боевых скважин на участке Балапан, в которых были осуществлены подземные ядерные взрывы, находятся в углефицированных породах. Кроме того, на территории СИП ранее проведенными геологическими исследованиями установлено более двух десятков угольных проявлений (включая и месторождения).

Локальная приуроченность участков с зарождающейся и расширяющейся тепловой аномалией к природным геологическим образованиям с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия), а также к участкам земной поверхности с высокой плотностью техногенного загрязнения радионуклидами (кобальт, стронций, цезий, европий, уран, плутоний и др.) определяет следующие возможные процессы образования тепловых газов в дни интенсивного выпадения осадков и таяния снежного покрова:

- радиолиз в сильно увлажнённых приповерхностном и почвенном слоях на участках с высоким содержанием естественных и техногенных радиоактивных элементов (радионуклидов);
- «тлеющие» реакции деления ядер естественных и техногенных радиоактивных элементов в увлажнённом приповерхностном или почвенном слое при радиолизе, который способствует образованию определенного количества тепловых нейтронов.

К газообразным продуктам радиолиза в приповерхностных и почвенных растворах можно отнести метан CH_4, четырёххлористый углерод CCl4, хлорфторуглероды (фреоны) и другие газы, которые образуются из элементов, характерных для геологической среды земной поверхности района территории СИП с повышенным содержанием хлористых, фтористых и углеродистых минералов (натриевая или поваренная соль, флюорит, углефицированное вещество). На территории СИП в районе двух эпицентров образования тепловых газов ведётся промышленная добыча поваренной соли (озеро Жаксытуз) и флюорита (месторождение Каражал). Здесь же, кроме флюорита, отмечаются высокие содержания бериллия, вольфрама, молибдена, олова и других элементов. Как было отмечено выше и другие участки природных геологических образований с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов имеют повышенные содержания ниобия, бериллия, иттрия, молибдена и свинца, которые сопровождают редкометальное оруденение.

Интересно, что по данным ОАО «Волковгеология», исследовавшим экологическую ситуацию на редкометальном месторождении Акчатау в Центральном Казахстане, установлена важная для обсуждаемого вопроса особенность этого типа месторождений. В их рудах обычно содержатся достаточно большие количества урана, тория, продуктов их распада, а также бериллия и флюорита (CaF2). Под действием альфа-излучения природных радионуклидов на бериллии и фторе происходят ядерные реакции с образованием нейтронов средней энергии порядка 4 МэВ. Если обычный нейтронный поток в гранитах составляет 13 - 15 нейтр./см^2 сут, в бериллиевых рудах Акчатау он достигает значений 15000 нейтр./см^2 сут. [9].

К газообразным продуктам «тлеющих» реакций деления ядер радиоактивных элементов и техногенных радионуклидов («горячих» частиц) можно отнести криптон Kr85, иод I131, ксенон Xe133 и другие газообразные изотопы. Особую роль может играть озон O3, образующийся при радиолизе как в почвенных растворах с перекисью водорода H2O2, так и в приземной атмосфере при гамма-излучении в местах высоких концентраций естественных и техногенных радиоактивных элементов. В почве озон с перекисью водорода способствует разрушению углеродсодержащей органики и углефицированных веществ с образованием углекислого газа CO2 и метана CH_4. В приземной атмосфере образование озона из кислорода воздуха сопровождается образованием двуокиси азота NO2 бурого цвета, хорошо поглощающей солнечные лучи.

Отдельно необходимо обсудить роль радиоактивного газа радон (Rn222 – собственно радон и Rn220 – торон) как продукта радиоактивного распада природного урана (радия) и тория. В значительных количествах он образуется в местах локализации природных геологических образований с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия). Если эти образования находятся на больших глубинах, радиоактивный газ радон поступает на поверхность по сейсмоактивным тектоническим разломам. Радон является излучателем альфа-частиц, очень хорошо растворяется в воде, поэтому в сильно увлажнённом приповерхностном или почвенном слое он, включаясь в процесс радиолиза в жидкой среде, способствует образованию дополнительного количества замедленных нейтронов и протеканию «тлеющих» реакций деления ядер природных радиоактивных элементов урана и тория. При поглощении нейтронов ядрами U^{238} и Th^{232} образуются долгоживущие альфа-радиоактивные изотопы плутония Pu^{239} и урана U^{233}, обладающие способностью, подобно природному изотопу урана U^{235}, делиться медленными нейтронами. В приповерхностном слое, в пределах участков природных геологических образований с высокими содержаниями естественных радиоактивных элемен-

тов (урана, тория, калия), также должны фиксироваться ореолы Pu^{239}.

С учётом перечисленных выше предполагаемых источников образования тепловых газов составлена обобщающая таблица возможных процессов и состава газов, образующих региональную тепловую аномалию в районе СИП. В таблице (крестиками) отмечено присутствие газов в том или ином процессе, а количество крестиков – степень преобладания того или иного газа в данном процессе.

Таблица. Возможные причины и состав газов, образующих региональную тепловую аномалию в районе СИП

№ п/п	Возможный состав газов	Глубинная дегазация		Радиолиз в увлажненном приповерхностном слое *	«Тлеющие» реакции деления ядер радионуклидов при радиолизе
		по тектоническим разломам	углистых пород		
1	Водород H_2	++		++	
2	Гелий He	+			
3	Метан CH_4	++	++	++	
4	Перекись водорода H_2O_2			+	
5	Сероводород H_2S	+	+		
6	Углекислый газ CO_2	+	++	+	
7	Двуокись азота NO_2			+++	
8	Озон O_3			++	
9	Четыреххлористый углерод CCl_4			+	
10	Хлорфторуглероды (фреоны)			+	
11	Гексафторид урана $U^{235}F_6$			+	
12	Фториды плутония $Pu^{239}F_3$, PuF_4, $PuBeF_4$			+	
13	Криптон Kr^{85}				+
14	Йод J^{131}				+
15	Ксенон Xe^{133}				+
16	Радон Rn^{222}, Rn^{220}	+			
Примечание* - с естественными или техногенными радионуклидами					

Заключение

Радиоактивная природа тепловой аномалии вытекает из приуроченности эпицентров зарождающейся и расширяющейся тепловой аномалии к участкам природных геологических образований с высокими содержаниями естественных радиоактивных элементов (урана, тория, калия), а также к участкам земной поверхности с высокой плотностью техногенного загрязнения радионуклидами. При определённых метеорологических и радиогеохимических условиях в этих местах периодически запускается процесс протекания «тлеющих» реакций деления ядер, который в свою очередь вызывается процессом радиолиза в сильно увлажнённых приповерхностном и почвенном слоях с высоким содержанием естественных и техногенных радиоактивных элементов (радионуклидов). Газообразную сущность тепловой аномалии определяют газообразные продукты радиолиза и «тлеющих» реакций деления ядер. Одним из источников появления тепловых газов в районе СИП может быть глубинная дегазация по тектоническим разломам, связанная с сейсмической активизацией и поступлением газообразных флюидов. Сюда же можно отнести также дегазацию довольно широко распространённых углистых пород, особенно при радиолитическом воздействии на них радиоактивных продуктов ядерных взрывов.

Более легкие разогретые газообразные продукты радиолиза и «тлеющих» реакций деления ядер - водород, метан, четырёххлористый углерод, хлорфторуглероды (фреоны), криптон и ксенон, - быстро поднимаясь в верхние слои атмосферы, способствуют разрушению озонового слоя. В приземной атмосфере озон, постоянно образующийся при радиолизе из воздуха за счет гамма-излучения, как более тяжёлый газ, не может подняться в верхние слои атмосферы. Здесь он является мощным окислителем и губительно действует на растительный мир. Но, благодаря наличию процесса запускания тлеющих реакций деления ядер при периодическом воздействии водной среды, появляется возможность природе самой производить чистку геологической среды от высоких концентраций техногенных радионуклидов. Можно предположить, что в обозримом будущем концентрация техногенных радионуклидов на территории СИП может снизиться до безопасных уровней.

Литература

1. Космический мониторинг температурного режима района Семипалатинского испытательного полигона: 10 лет наблюдений / Л.Ф. Спивак [и др.] // Вестник НЯЦ РК, 2006. – Вып. 2. – С. 97 – 103.
2. Дистанционное зондирование температурных аномалий в районе Семипалатинского ядерного полигона / У.М. Султангазин [и др.] // Доклады Министерства науки - Академии наук Республики Казахстан, 1997. – № 2, – С. 51 – 54.
3. Мелентьев, М.И. О природе региональной тепловой аномалии в районе Семипалатинского испытательного полигона, выявленной по данным дистанционного космического зондирования // М.И. Мелентьев, А.Е. Великанов // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2003. – Вып. 2, - С. 89 – 93.

4. Куликов, Е. И. Отчёт Карагандинской аэропартии о результатах комплексной аэрогеофизической съёмки м-ба 1:25000 в Каркаралинском районе за 1982 - 1986 гг. / Е.И. Куликов, А. Е. Великанов и др. // № 782 Фонды АГФЭ, 1986.
5. Исследование сейсмичности территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона и его окрестностей / Н.Н. Михайлова [и др.] // Геофизика XXI столетия: 2006 г.: Сб. трудов Восьмых геофизических чтений имени В.В. Федынского (2 - 4 марта 2006 г., Москва). - Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2007. – С. 179 – 190.
6. Сывороткин, В.Л. Глубинная дегазация и глобальные катастрофы / В.Л. Сывороткин. - М.: ЗАО "Геоинформмарк", 2002. – 250 с.
7. Копничев, Ю.Ф. Подъем мантийных флюидов в районах очагов сильных землетрясений и крупных разломных зон: геохимические свидетельства / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2005. – Вып. 2, – С. 147 – 155.
8. Копничев, Ю.Ф. Новые данные о структуре поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2001. – Вып. 2, – С. 106 – 114.
9. Учебно-методическое руководство по радиоэкологии и обращению с радиоактивными отходами для условий Казахстана // МНТЦ, Проект К-112. ОАО «Волковгеология», Алматы, 2002. – 304 с.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНЫҢ АУДАНЫДА МЕЗГІЛ-МЕЗГІЛ ПАЙДА БОЛАТЫН АУМАҚТЫҚ ЖЫЛУ АНОМАЛИЯНЫҢ РАДИОАКТИВТІ ЖӘНЕ ГАЗТӘРІЗДІ МӘНІ ТУРАЛЫ МӘСЕЛЕСІНЕ

Великанов А.Е.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Семей сынау полигонының ауданында мезгіл-мезгіл пайда болатын және динамикалық өзгеретін аумақтық жылу аномалияның радиоактивті және газтәрізді мәнін растайтын ғарыштық зондтауының бір қатар материалдары мен фактілері келтірілген.

ABOUT GASEOUS ESSENCE OF PERIODICALLY OCCURING REGIONAL THERMAL ANOMALY WITHIN SEMIPALATINSK TEST SITE

A.Ye.Velikanov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The report presents a number of data and materials obtained by means of space shots that confirm radioactive gaseous nature of periodically occurring and dynamically changing regional thermal anomalies within Semipalatinsk Test Site (STS).

УДК 550.343

РАДОН КАК ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ИНДИКАТОР ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Уткин В.И., Юрков А.К., Косякин И.И.

Институт геофизики Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

Приведен обзор исследований по мониторингу радона как предвестника сейсмических событий: тектонических землетрясений и горных ударов в глубоких шахтах. Представлены схематическая модель среды и изменение объемной активности радона (ОАР) при воздействии нагрузки. На основании исследований в шахтах показано, что поведение ОАР перед событием зависит от расположения пункта измерений. Аналогичные результаты получены при интерпретации результатов мониторинга радона в США и в Северном Тянь-Шане. Показана нелинейность выхода радона в зависимости от изменения напряженного состояния среды и особенности регистрации поля радона. Представлена геодинамическая модель и рассмотрены ожидаемые эффекты в поле радона. Приведены результаты изменения поля радона перед землетрясениями. Показано, что заметные изменения в поле радона наблюдаются за 90 - 100 дней до сейсмического события, а характерные - за 3 - 5 дней. Показана реакция поля радона на прохождение волн удаленных землетрясений в пределах комплекса осадочных пород. Полученные данные свидетельствуют о высокой однозначности показаний мониторинга радона при подготовке землетрясений.

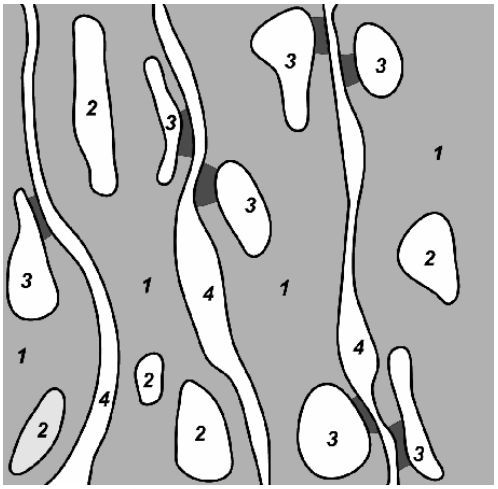
Введение

На фоне многочисленных предвестников землетрясений и горных ударов в глубоких шахтах роль радона всегда, начиная с первых исследований этого предвестника [6], определяется как постоянный, но неоднозначный признак. Исследования последних лет показали, что проблема неоднозначности поведения радона перед сейсмическим событием связана с проблемой построения геодинамической модели подготовки события. При корректно построенной модели поведение радона однозначно, или детерминировано, отражает изменение напряженно-деформированное состояние среды перед сейсмическим событием. Обзор результатов, полученных за последнее десятилетие в Институте геофизики УрО РАН, подтверждающих этот тезис, рассматривается в данной статье.

Модель среды

Модель горных пород можно представить в виде некоторой трещиновато-пористой среды, которая состоит из основного скелета и хаотически расположенных открытых и проницаемых трещин, а также закрытых пор [2]. Радон, выделяющийся из массива (скелета), находится в нем в трех состояниях: частично в пространстве закрытых пор, частично в трещинах, частично сорбированным свободной внутренней поверхностью (рисунок 1).

При изменении нагрузки P на такую среду выделение радона имеет весьма специфическое поведение (рисунок 2). При начальной нагрузке P_o объемной активности радона в породе соответствует концентрация C_o. В процессе сжатия, когда P увеличивается и становится больше P_o, в первый момент за счет уменьшения трещин выход радона увеличивается. Затем трещины перекрываются, выход радона уменьшается.



1- скелет (основа) горной породы; 2- изолированные поры; 3- поры, разрушающиеся под давлением; 4 – трещины

Рисунок 1. Принятая модель трещиновато-пористой среды

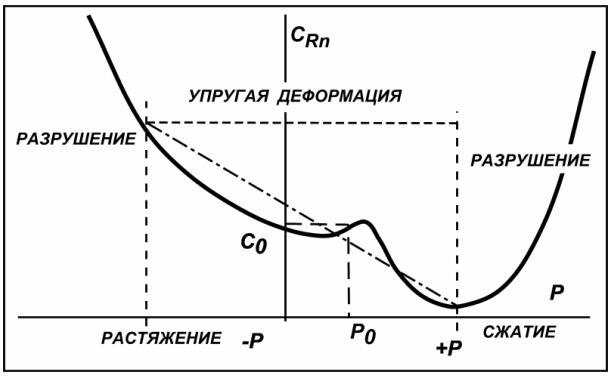


Рисунок 2. Качественная характеристика изменения концентрации радона в горной породе при изменении нагрузки

Далее при увеличении нагрузки происходит разрушение массива, ломаются слабые перемычки между порами и выделение радона существенно увеличивается. При растяжении массива, когда P уменьшается и становится меньше P_o, сначала происходит уменьшение выхода радона за счет увеличения объема трещин. Затем расширение трещин и раскрытие пор приводит к существенному увеличению выхода радона. Таким образом, существует некоторая область квазиупругих деформаций, при которых сжатие вызывает уменьшение выхода радона, а растяжение – увеличение [10].

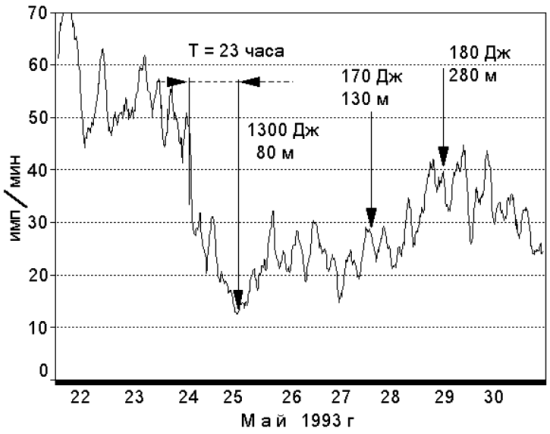
Рассмотренная модель была положена в основу разработки методов прогноза тектонических событий - землетрясений и горных ударов в глубоких шахтах.

Горные удары в глубоких шахтах

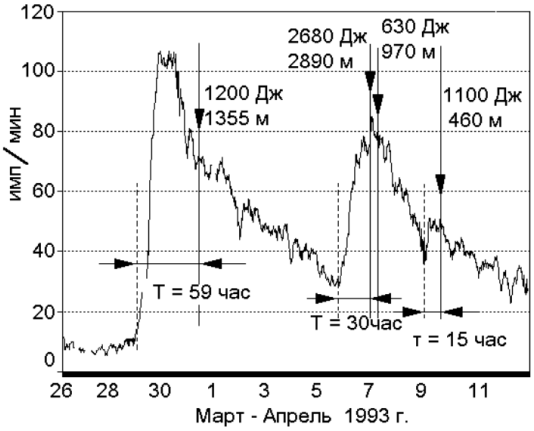
Первые опыты проведены в глубоких (500 – 700 м) шахтах Североуральского бокситового рудника (СУБР). В процессе экспериментов регистрировалась объемная активность радона в стенках шахты [2, 3]. Итоговые результаты экспериментов показали следующее. На расстояниях до 150 м от эпицентра будущего горного удара (небольшие расстояния) всегда наблюдается существенное снижение концентрации радона (иногда в 3-4 раза). На рисунке 3а приведены графики снижения объемной активности почвенного радона (ОАР) перед горным ударом для этого случая.

Заметное снижение ОАР начинается приблизительно за 23 часа до основного события. События меньшей энергии, но происходящие на большем расстоянии от измерительной аппаратуры, задерживают восстановление ОАР до фонового значения ОАР (55 имп/мин). Полученные данные позволили утверждать, что вблизи будущего эпицентра события, непосредственно перед событием, всегда наблюдается сжатие массива. Установлено также, что временные параметры предвестника существенно зависят от упругих свойств среды, в которой расположен детектор: в жестких известняках начало уменьшения ОАР начинается приблизительно за час до удара, а в более пластичных бокситах или аргиллитах - за 20 - 25 часов (рисунок 3а).

На больших расстояниях от будущего эпицентра (рисунок 3б) поведение ОАР противоположно вышеописанному. Перед горным ударом наблюдается не уменьшение, а увеличение ОАР в 8-10 раз. Объяснить увеличение ОАР возможно, если датчик расположен в зоне растяжения. Очевидно, что в сплошной среде при ее деформации должны наблюдаться зоны сжатия, растяжения и нейтральная зона, в которой при деформации массива не происходит существенных изменений напряженного состояния среды. Поведение радона при подготовке сейсмического события определяется условиями расположения детектора – в зоне сжатия (снижение ОАР), в зоне растяжения (увеличение ОАР) или в нейтральной зоне (ОАР практически неизменно). Проведенные эксперименты позволили объяснить причины неоднозначности поведения радона как предвестника сейсмического события.



а – малых (датчик радона расположен в бокситах)



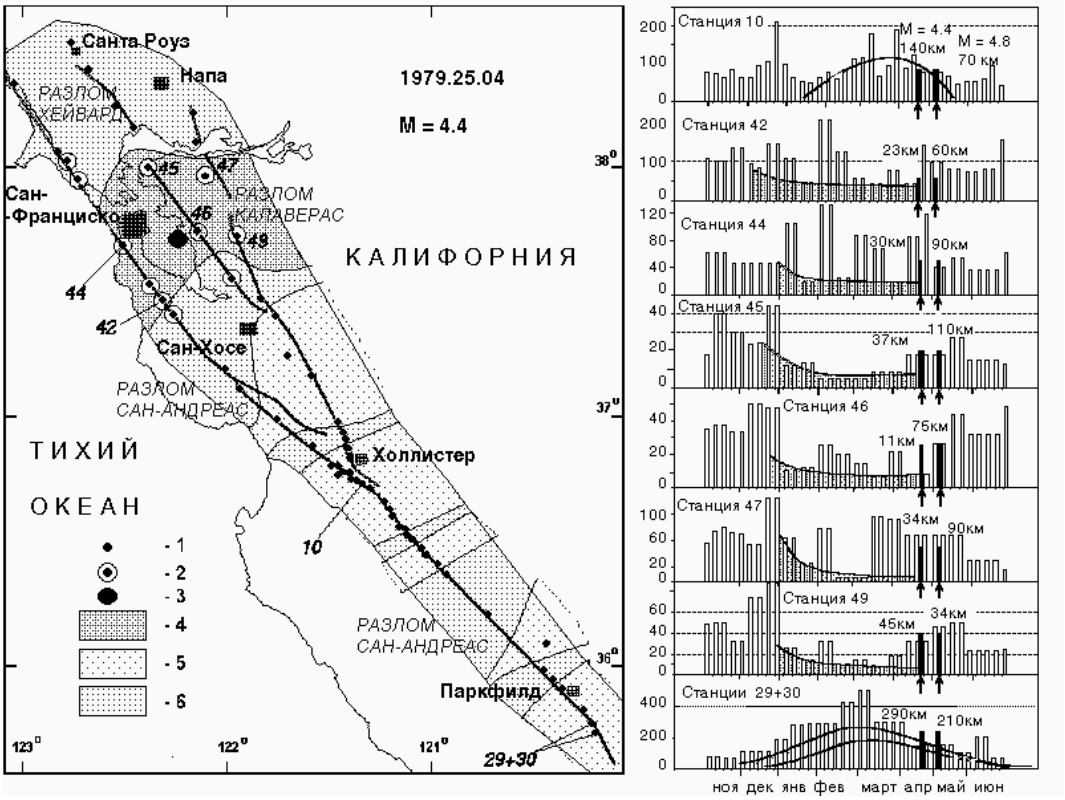
б – больших

Стрелки с надписями - горные удары, их энергия и расстояние точки наблюдения от эпицентра

Рисунок 3. Поведение ОАР перед горным ударом на различных расстояниях от его будущего эпицентра

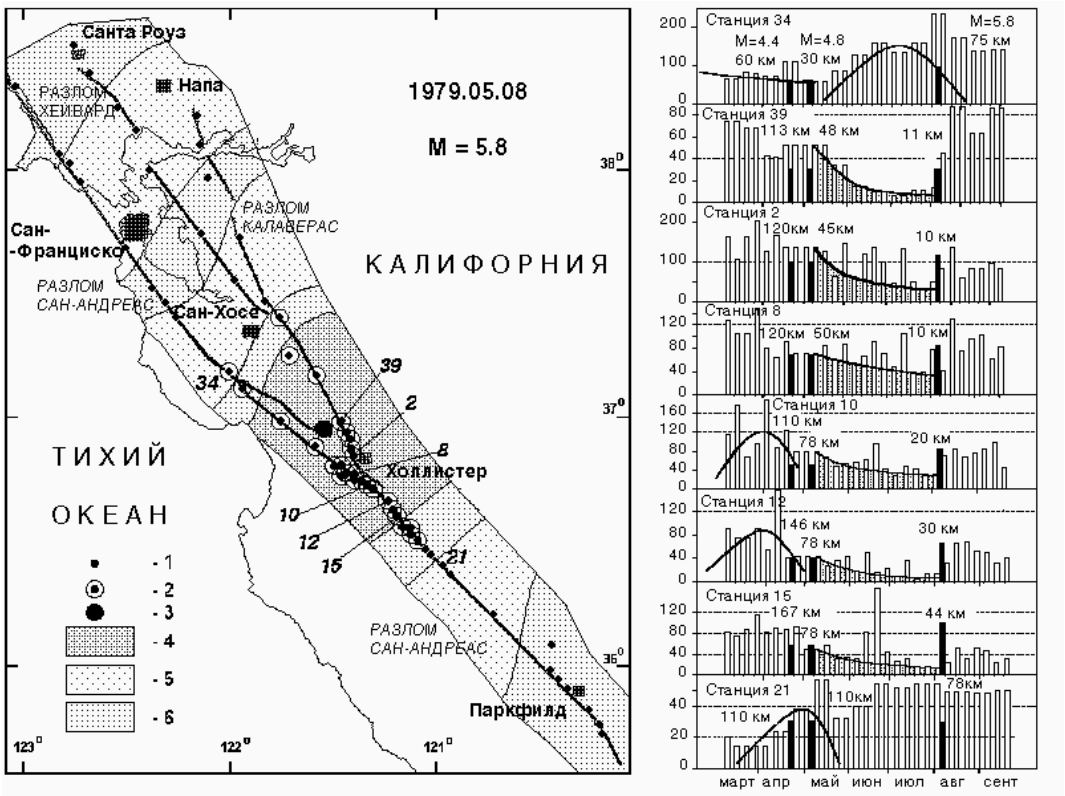
Интерпретация данных радонового мониторинга вдоль разлома Сан-Андреас

Разработанные принципы были использованы для интерпретации результатов уникального эксперимента, проведенного Геологической службой США [14, 15]. Существо эксперимента заключалось в следующем. Вдоль системы разломов Калифорнии - Сан–Андреас, Калаверас, Хайвард, - было расположено 60 точек наблюдения за выходом радона. Измерения в каждой точке проводились трековым детектором при экспозиции от 7 до 50 дней. Полученные результаты наблюдений проинтерпретированы в Институте геофизики УрО РАН на основе вышеописанной модели. Примеры интерпретации приведены на рисунках 4, 5 [9-11].



1 - точка измерения радона; 2 - точка регистрации сейсмического возмущения; 3 - эпицентр события; 4 - зона сжатия (уменьшения ОАР); 5- зона растяжения (увеличения ОАР); 6- нейтральная зона

Рисунок 4. Калифорния. Поведение радона перед землетрясением с магнитудой 4.425 апреля 1979 г.



Обозначения те же, что на рисунке 5

Рисунок 5. Калифорния. Поведение радона перед землетрясением с магнитудой 5,8 05 мая 1979 г.

Перед землетрясением 25 апреля 1979 г. (рисунок 4) практически во всех точках измерения (42, 44, 45, 46, 47, 49) наблюдалось снижение ОАР (правая часть рисунка 4). Эти изменения искажаются короткими выбросами радона, которые, как правило, связаны с форшоками (землетрясениями малого энергетического класса). Заметное уменьшение ОАР началось приблизительно за 90 - 100 дней до основного события. В точках наблюдения, расположенных на значительном удалении от эпицентра землетрясения (точки 10, 29, 30) отмечена тенденция увеличения ОАР, начиная приблизительно с того же времени (за 90 - 100 дней).

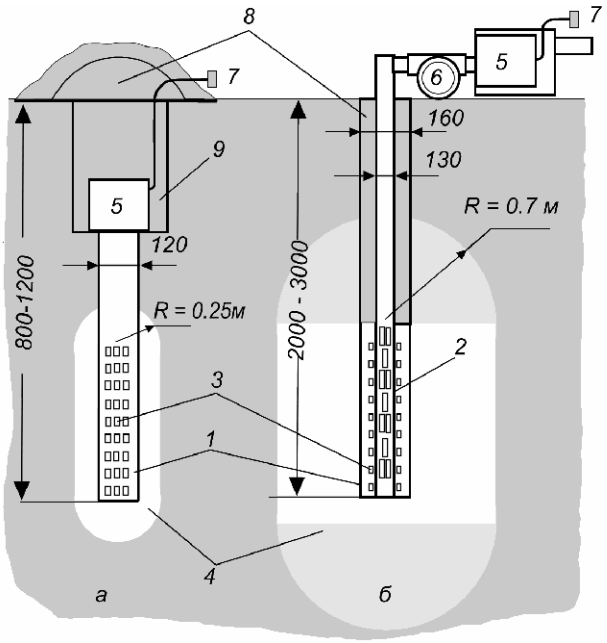
Поведение радона перед землетрясением 05 августа 1979 г. с магнитудой 5.8 представлено на рисунке 5. Из приведенной схемы (левая часть рисунка) видно, что во всех точках измерения, расположенных на небольших расстояниях от будущего эпицентра землетрясения (39, 2, 8, 10, 12, 15), наблюдалось значительное уменьшение ОАР – в 3-4 раза. В точках 21 и 34, расположенных на границе двух зон – растяжения и нейтральной, - наблюдаются временные изменения ОАР, характерные как для «ближней» зоны, так и «дальней», но относящиеся к различным событиям.

В приведенных примерах отражен интересный факт распределения в пространстве зон сжатия и растяжения, которое является следствием достаточно сложной тектонической структуры района и изменения ее напряженно-деформированного состояния.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ, ОСОБЕННОСТИ АППАРАТУРЫ И ДЕЙСТВУЮЩИЕ ПОМЕХИ

Выполненные измерения показали, что основными помехами в проведенном эксперименте являются земные приливы и метеоусловия [5]. Для снижения уровня этих помех предложена методика измерения объемной активности радона с откачкой почвенного воздуха из измерительной скважины. На рисунке 7 сопоставлены «классическая» схема измерений, которую условно можно назвать «диффузионной», и предлагаемая - с откачкой воздуха, - которую можно назвать «конвекционной».

При диффузионной схеме измерения (рисунок 6а) радон поступает в обсадную трубу, нижний край которой обычно находится на глубине 0,8 - 1,0 м, и далее - в измерительный прибор. Поток радона определяется только диффузионными свойствами среды, при этом радиус зоны поступления радона в область измерения ОАР не превышает 0,25 м. При конвекционной схеме измерений (рисунок 6б) насос откачивает почвенный воздух из полости обсадной трубы, понижая в ней давление водяного столба до 20 - 30 мм. Откачанный воздух поступает в измерительный прибор, который регистрирует ОАР в потоке почвенного воздуха. В образующееся разреженное пространство радон поступает со значительно большего объема среды. Экспериментальные оценки показали, что радиус эффективной зоны сбора радона увеличивается до 0,7 м. В результате чувствительность детектора увеличивается почти в три раза, одновременно снижается зависимость показаний детектора от приливных движений и метеоусловий. На рисунке 7 сопоставлены результаты применения описанных методик регистрации.

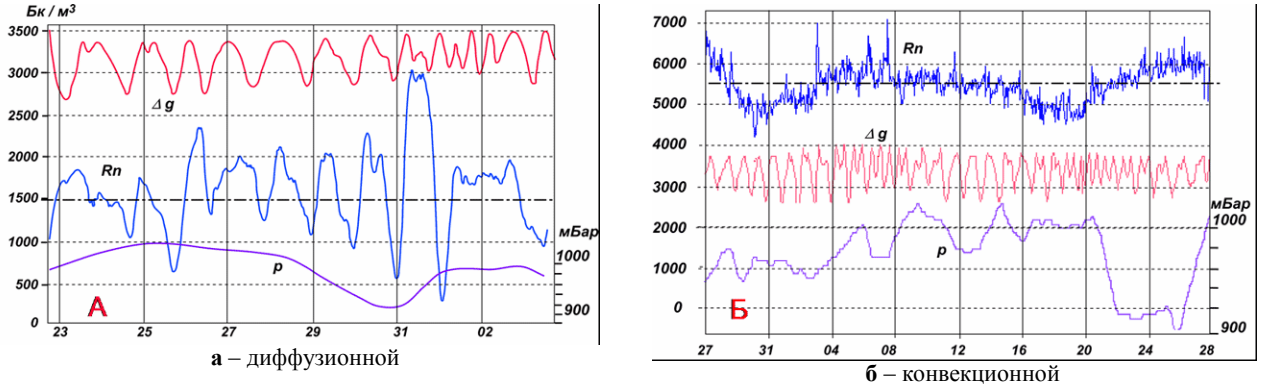


1 – обсадная труба; 2 – труба для откачки воздуха; 3 – перфорационные отверстия; 4 – ориентировочная зона поступления радона; 5 – измерительный прибор (РГА); 6 – насос; 7 – выход на компьютер (RS-232); 8 – глиняный затвор; 9 – шурф

Рисунок 6. Сопоставление измерительных схем для регистрации ОАР: а - «диффузионной»; б – « конвекционной»

Как можно видеть из рисунка 7 а, при диффузионной методике измерений вариации радона, вызванные приливными движениями, достигают 50% от среднего измеренного значения (около 1500 Бк/м^3). Этот эффект достаточно давно известен. Поэтому для получения более точных данных с использованием этой методики измерений ОАР, например, для целей санитарии, необходимо выполнять наблюдения неоднократно и в различное время суток.

При конвекционной методике измерений (рисунок 7б) приливные вариации ОАР снижаются до 7-10% от среднего измеряемого значения. Как следствие, появляется возможность выделить лунную вариацию (28 дней) и, соответственно, тектонический сигнал, связанный с изменением напряженного состояния массива. С учетом полученных результатов конвекционная методика измерений положена в основу регистрации ОАР в экспериментах по изучению процессов подготовки тектонического землетрясения, в частности, на Северном Тянь-Шане.



а – диффузионной

б – конвекционной

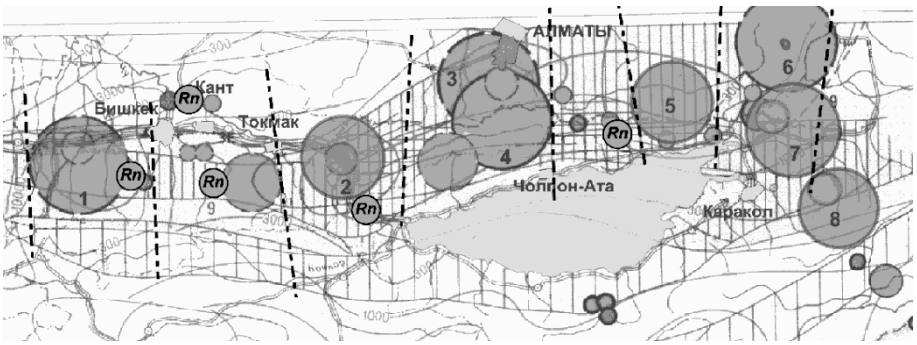
P - вариации атмосферного давления; Rn – вариации ОАР; Δg – приливные вариации

Рисунок 7. Вариации ОАР при различных методиках регистрации

Результаты исследований в северном Тянь - Шане

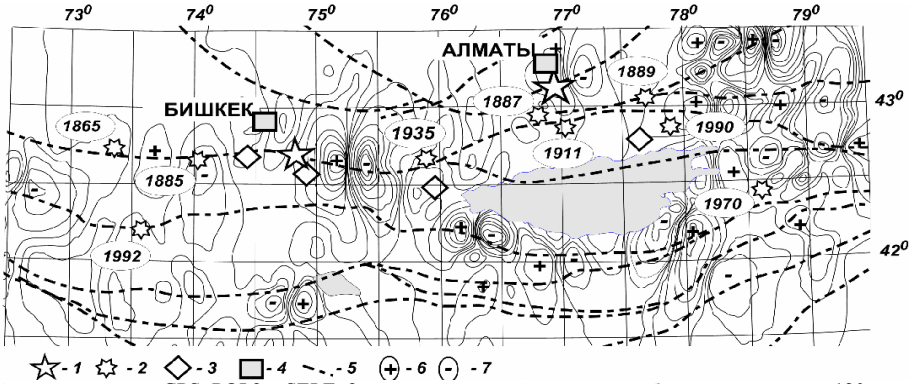
На рисунке 8 представлены наиболее крупные исторические землетрясения, расположение основных трансформных разломов, разделяющих весь район эксперимента на отдельные блоки [8]. Известно [13], что все землетрясения на Тянь-Шане происходят на «взбросе», то есть, при надвиге тектонических пластин под действием сжимающих сил Аравийской и Индостанской плит. Поэтому гипоцентры практически всех землетрясений находятся в пределах восходящего наклона тектонических плит. Об этом свидетельствует и карта современных движений по данным спутникового позиционирования (GPS), предоставленная в статьях [1, 7].

Эти данные получены в результате усреднения за достаточно длительный период измерений (1993 - 1999 гг.), поэтому они отражают некоторые «вековые» (длительные во времени, а не мгновенные) движения блоков земной коры Тянь-Шаня. Построенные по данным GPS «вековые» смещения земной коры свидетельствуют о весьма сложной геодинамической обстановке на Северном Тянь-Шане (рисунок 9).



1 - Беловодское, M=6,9, 1885; 2 – Кемин-Чуйское, M=6,9, 1938; 3 – Верненское, M=7,3, 1887; 4 – Кеминское, M=8,2, 1911; 5 – Байсорунское, M=6,4, 1990; 6 – Чиликское, M=8,3, 1889; 7 – Заланашское, M= 7,1.1978; 8 – Сарыкамышское, M=6,8, 1970.

Рисунок 8. Северный Тянь-Шань. Обзорная схема крупнейших тектонических землетрясений за последние 120 лет. Расположение основных трансформных разломов и мест установки радоновых станций

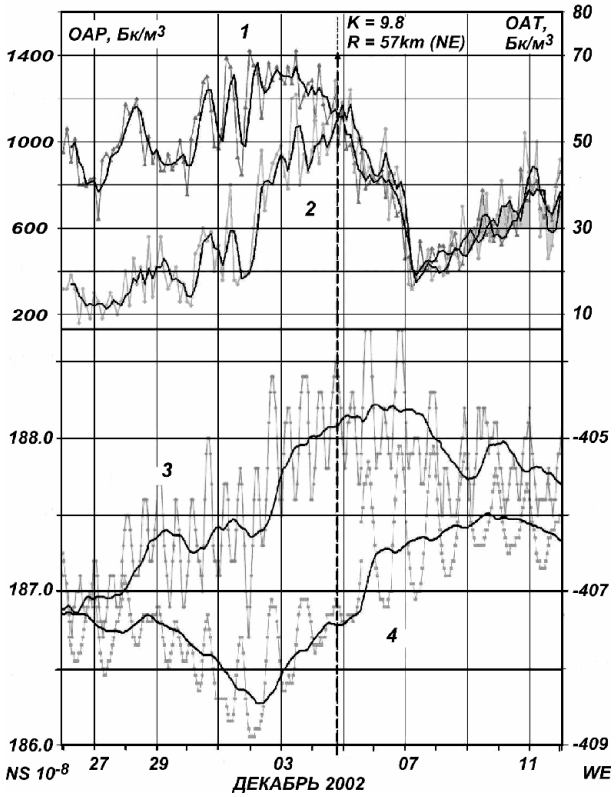


1- опорные точки GPS: POL2 и SELE; 2 – крупнейшие сейсмические события за последние 120 лет;
3 – станции радонового мониторинга; 4 - крупные города; 5 – основные разломы; 6 – зоны сжатия; 7 – зоны растяжения

Рисунок 10. Северный Тянь-Шань. Схема скоростей смещения относительно казахстанской плиты (по В.Д.Брагину)

Весьма характерно, что зоны с отрицательными значениями смещений (зоны растяжения) всегда соседствуют с зонами положительного смещения (зонами сжатия), что хорошо известно из [16].

На первом этапе на станции-обсерватории Ала-Арча было проведено сопоставление деформаций, зарегистрированных деформографом этой станции при подготовке землетрясения 4 декабря 2002 г. (с магнитудой около 4), и вариациями объемной активности радона в наблюдательной скважине, расположенной непосредственно в пределах обсерватории (рисунок 10). Сопоставление синхронных данных по вариациям радона и деформациям массива, полученным в одной и той же точке, представляет несомненный методический интерес в плане подтверждения и обоснования высказанных ранее модельных представлений.



1 - вариации ОАР; 2 - вариации объемной активности торона; 3 - деформация в направлении Север-Юг; 4 - деформации в направлении Запад-Восток. Прерывистая линия - момент землетрясения

Рисунок 10. Станция Ала-Арча. Сопоставление вариаций ОАР и объемной активности торона с деформациями верхней части земной коры

Как видно из рисунка 10, вариации как радона, так и торона в деталях повторяют данные деформографа. Видно, что деформации растяжения вызывают увеличение объемной активности радона, что соответствует качественно предложенной модели среды (рисунок 2). Однако размер вариаций существенно разный. Если деформации составляют величину порядка 10^{-7}, то вариации объемной активности радона и торона превышают сотни процентов. При детальном рассмотрении данных на рисунке 10 видно, что сейсмическое событие происходит на спаде концентрации радона во времени, что аналогично ранее наблюдаемой закономерности при изучении подготовки горных ударов в глубоких шахтах (рисунок 3б).

Значимое увеличение концентрации радона на пункте наблюдения станции Ала-Арча (западное крыло района мониторинга) перед сейсмическим событием началось приблизительно за 90 дней. К началу декабря уровень концентрации радона составил приблизительно два фоновых значения (1200 в сравнении с фоном 600 Бк/м3). В это же время наблюдается существенное увеличение деформации растяжения в направлении Север-Юг (NS). Интересно то, что кривая ОАР как бы опережает по времени деформационные изменения в массиве, тогда как кривая объемной активности торона (ОАТ) практически следует за всеми деформационными изменениями. Это может быть объяснено малым временем жизни торона (около 1 минуты). Тектоническое событие произошло спустя 48 часов после достижения максимума концентрации радона и практически при максимальной концентрации торона. Если первый признак (событие после максимума радона) известен и наблюдался в экспериментах как в глубоких шахтах [2, 3], так и при исследованиях в пределах разлома Сан-Андреас [9, 10, 11, 15], то поведение торона требует дополнительных исследований, поскольку его короткое время жизни (по сравнению с 3.8 днями для радона) позволяет получать более оперативную информацию. Интересно, что процессы восстановления деформационной картины и фонового значения концентрации радона происходят практически одновременно, в отличие от начала процесса подготовки сейсмического события.

Все рассмотренные факты дают возможность предложить следующую геодинамическую модель подготовки землетрясения в Северном Тянь-Шане (рисунок 11).

Процесс подготовки землетрясения начинается с возникновения препятствия для движения либо в виде неоднородности между движущимися навстречу друг другу блоками, либо за счет трения между двигающимися пластинами (рисунок 11а). Остановка блока неминуемо приводит к его деформации (рисунок 11б). При этом в головной части блока *за счет деформации изгиба* возникают напряжения сжатия (+), в приповерхностном слое - напряжения растяжения (-), а в самом массиве горных пород развивается явление дилатансии, сопровождающееся заполнением пор глубинными флюидами. Следствием этого процесса является замедление прохождения упругих волн удаленных землетрясений через среднюю часть блока. При дальнейшем движении (рисунок 11в) зона дилатансии увеличивается, в зоне сжатия наблюдается закрытие трещин и пор, что сопровождается снижением концентрации газов, а в зоне растяжения, наоборот, увеличивается пористость и трещиноватость,

что приводит к заметному увеличению газовых потоков. Наконец, упругие силы, накопленные в процессе деформации изгиба, сдвигают блок и происходит резкая разрядка напряжений с генерацией упругой волны (рисунок 11г). В дальнейшем упругие деформации уменьшаются, и блок преходит в очередное квазиустойчивое состояние (рисунок 11д).

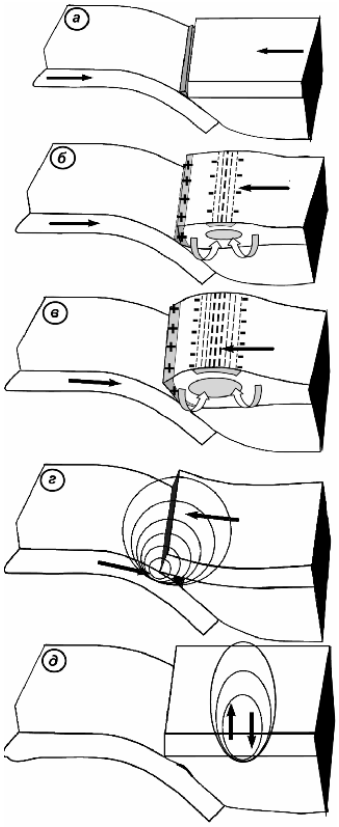
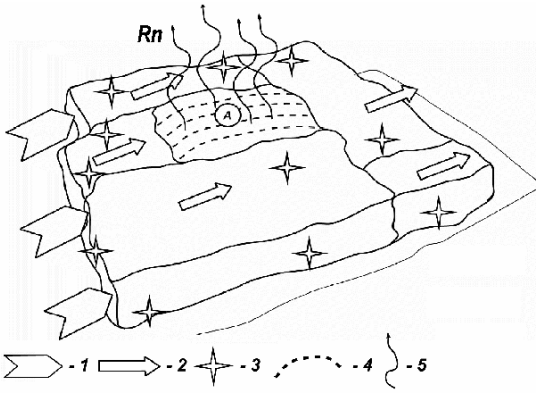


Рисунок 11. Модель подготовки тектонического землетрясения для отдельного блока массива горных пород в предположении о пробладании процесов упругого сжатия перед процессами разрушения массива



1 - общее направление движения всей системы блоков; 2 - направление движения отдельного блока; 3 - землетрясение малого энергетического класса; 4 - деформация растяжения, возникающая при остановке блока А

Рисунок 12. Объемная модель подготовки землетрясения при движении системы блоков под действием тектонических сил

Если предположить, что массив горных пород входит в систему тектонических блоков, находящихся в движении, то модель подготовки землетрясения можно представить в следующем виде (рисунок 12).

При «торможении» одного из блоков массива (блок А на рисунке 12) происходит деформационный процесс, представленный на рисунке 11. Причем, основное накопление энергии происходит за счет деформации изгиба. Незаторможенные блоки продолжают движение, генерируя при этом землетрясения малого энергетического класса, которые обычно классифицируются как форшоки. В пределах самого блока А заметных сейсмических событий не происходит, но происходит накопление упругой энергии, сброс которой в последствии генерирует сейсмическое событие. Аналогичный вывод можно сделать и на основании теоретических исследований, изложенных в [4, 12]. Это явление давно известно в сейсмологии как «сейсмическое затишье» или «сейсмическая брешь» и является одним из важных признаков надвигающегося землетрясения.

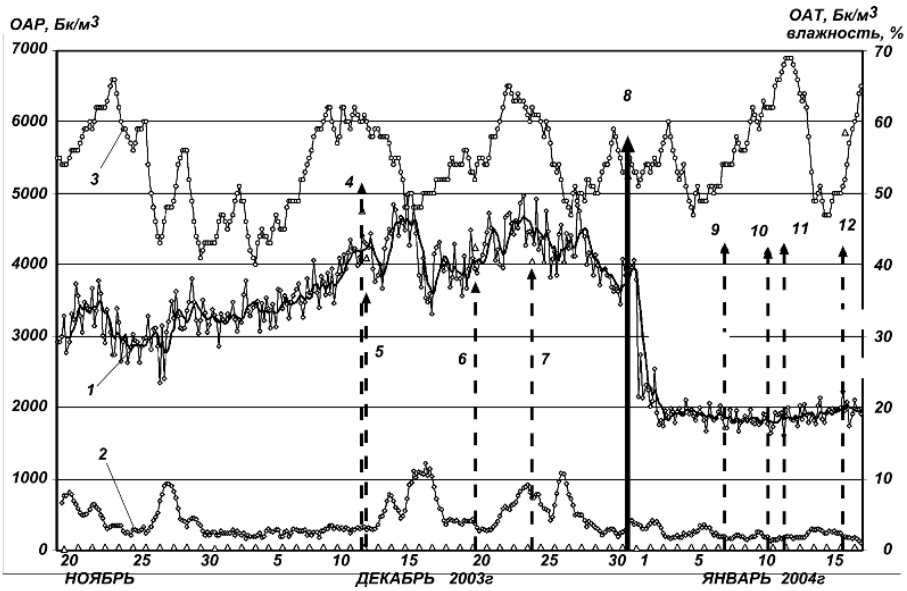
Наиболее крупным событием за время эксперимента на Северном Тянь-Шане было землетрясение энергетического класса К = 10,5, зарегистрированное севернее наблюдательной станции «Ананьево» (восточный борт района мониторинга). Это событие, учитывая полученный к тому времени опыт мониторинга радона на Северном Тянь-Шане, можно сказать, было практически спрогнозировано (рисунок 13).

Начиная с середины сентября 2003 г. уровень фонового значения объемной концентрации радона (2000 Бк/м^3) стал плавно увеличиваться и достиг к началу декабря величины 3500 Бк/м^3. Прошедшая серия удаленных от станции землетрясений не изменила тенденции увеличения ОАР. За резким снижением уровня ОАР 15 декабря 2003 г. сейсмическое событие ожидалось, но не последовало. Вероятно, часть энергии деформации разрядилась в процессе проскальзывания (крипа) тектонических плит. В дальнейшем последовало новое увеличение ОАР и после очередного снижения ОАР (до уровня 3600 Бк/м^3) произошло землетрясение энергетического класса К = 10.5. На восстановление фонового уровня ОАР потребовалось около 72 часов. Своеобразное поведение торона в данном случае требует дальнейших объяснений.

Из представленных данных видно, что на показания радонового мониторинга не оказали влияния следующие факторы. Во-первых, удаленные землетрясения, связанные с движением других блоков массива, например, события 11 декабря 2003 г. (рисунок 13). Во-вторых, события малого энергетического класса, происходящие в пределах того же блока, что является отражением нелинейности процессов выделения радона из массива горных пород при воздействии относительно малых усилий сжатия-растяжения. В-третьих, слабые события, радиус воздействия которых относительно мал.

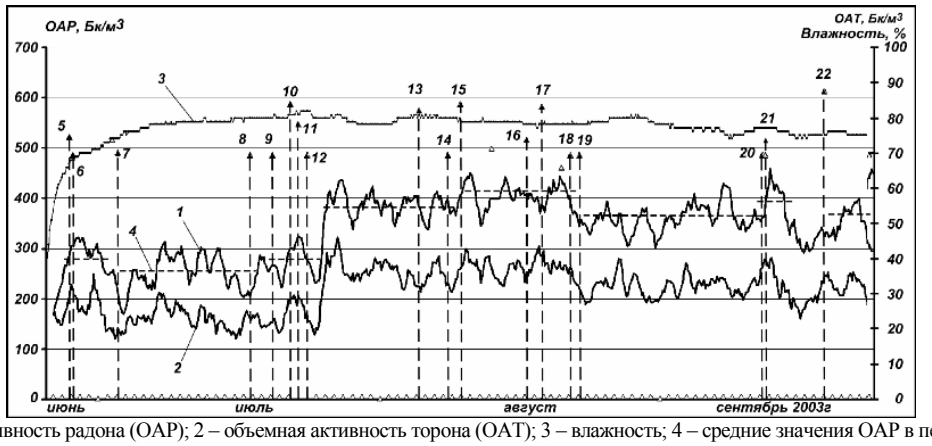
Особый интерес представляют данные, полученные на наблюдательной станции «Боом» (рисунок 14). Станция расположена в массиве осадочных пород, в так называемой «вулканической брекчии», которая обладает высокой проницаемостью и малой устойчивостью.

В ближайших окрестностях рассматриваемой зоны было зафиксировано только одно событие 12 сентября 2003 г., которое практически прошло незамеченным в поле радона и торона. Тем не менее, в поле обоих газов наблюдаются характерные скачкообразные изменения значений объемной активности. Как видно из рисунка 14, этим изменениям предшествуют, как правило, либо серия удаленных землетрясений, либо события большей мощности, произошедшие не очень далеко от наблюдательной скважины. Этот эффект был выявлен при обработке данных эксперимента Геологической службы США [10] и может быть объяснен изменением проницаемости пород осадочного комплекса при воздействии на него упругих колебаний даже небольшой энергии.



1 – объемная активность радона (ОАР); 2 – объемная активность торона (ОАТ); 3 – влажность. Сейсмические события: 4 – К = 9,5; R = 303 км (W- в западном направлении); 5 – К = 8,2; R = 301 км (W); 6 – К = 8,5; R = 93 км (NE – направление на северо-восток); 7 – К = 8,1; R = 169 км (WSW); 8 – К = 10,5; R = 32 км (N); 9 – К = 8,5; R = 117 км (WNW); 10 – К = 8,4; R = 8,1 (S); 11 – К = 8,5; R = 103 км (W); 12 - К = 8,4; R = 223 км (W)

Рисунок 13. Северный Тянь-Шань. Поведение объемной активности радона и торона перед событием 31 декабря 2003г.



1 – объемная активность радона (ОАР); 2 – объемная активность торона (ОАТ); 3 – влажность; 4 – средние значения ОАР в периоды затишья сейсмической активности. Сейсмические события: 5 – К = 8,7; R = 189 км (ENE); 6 – К = 8,1; R = 241 км (ESE); 7 – К = 8,6; R = 134 км (W); 8 – К = 8,1; R = 102 км (NW); 9 – К = 8,1; R = 132 км (NE); 10 – К = 9,8; R = 132 км (NE); 11 – К = 9,1; R = 239 (E); 12 – К = 8,1; R = 150 км (ENE); 13 - К = 9,6; R = 105 км (NWN); 14 – К = 8,1; R = 223 км (E); 15 – К = 9,8; R = 250 км (E); 16 – К = 8,1; R = 97 км (NW); 17 – К = 9,7; R = 144 км (E); 18 – К = 8,1; R = 112 км (ENE); 19 – К = 8,1; R = 178 км (E); 20 – К = 8,1; R = 97 (NW); 21 – К = 8,5; R = 18 км (NE); 22 - К = 10,2; R = 12 км (N)

Рисунок 14. Северный Тянь-Шань. Поведение объемной активности радона в районе наблюдательной станции «Боом»

Заключение

Выполненный обзор исследований по мониторингу радона как предвестника сейсмических событий в глубоких шахтах Североуральского бокситового рудника, в эксперименте, проведенном Геологической службой США для системы разломов в Калифорнии, а также на наблюдательных станция в Северном Тянь-Шане позволяет прийти к следующим выводам.

1. В режиме принудительной конвекции вариации концентрации почвенного радона (ОАР) надежно фиксируют процесс подготовки сейсмического события в пределах отдельного блока сейсмогенного массива, в котором располагается наблюдательная скважина.

2. Подготовка сейсмического события в соседнем блоке, отделенным тектоническим разрывом от блока, в котором установлена наблюдательная скважина, не отражается в поле радона наблюдательной скважины.

3. Начало значимого изменения концентрации радона перед сейсмическим событием происходит за 90 - 100 дней до события, что позволяет оптимистически оценивать перспективы использования пространственно-временного мониторинга радона при контроле процессов подготовки тектонических землетрясений на Северном Тянь-Шане.

4. Поле радона в породах осадочного комплекса существенно зависит от общей сейсмогенной ситуации региона и скачкообразно изменяется при прохождении через массив упругих волн как местных, так и удаленных землетрясений.

5. Выбор точек регистрации объемной активности радона необходимо проводить в пределах достаточно прочных массивов и в зонах наименьшего «векового» движения массивов, определяемого по данным GPS в течение трех-четырех лет.

Работа выполнена при поддержке МНТЦ (проект KR-187-2) и частично Программы 013 Президиума РАН ««Изменения окружающей среды и климата. Направление 1: Сейсмические процессы и катастрофы»

Литература

1. О качественных связях современных движений с геоэлектрическим разрезом земной коры Центрального Тянь-Шаня и распределением сейсмичности. / В.Д. Брагин [и др.] // Геология и геофизика – 2001, Т. 42, № 10. – С. 1610 - 1621.
2. Булашевич, Ю.П. Изменение концентрации радона в связи с горными ударами в глубоких шахтах / Ю.П. Булашевич, В.И. Уткин, А.К. Юрков // Доклады РАН, 1996. - Т. 346, № 2. - С. 245 - 248.
3. О возможности предсказания времени проявления горного удара по изменению концентрации радона / Ю.П. Булашевич [и др.] // Горный журнал. – 1996. – № 6. – С. 33 - 37.
4. Гольдин, С.В. Дилатансия, переупаковка и землетрясения. / С.В. Гольдин // Физика Земли, 2004. – №1 0.– С. 37 - 54.
5. Козлова, И.А., Методические вопросы измерения содержания радона-222 в почвенном воздухе при мониторинговых наблюдениях / И.А. Козлова, А.К. Юрков // Уральский геофизический вестник.– Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – № 7. – С. 31 - 34.
6. Мавлянов, Г.А., Поиски предвестников землетрясений в Узбекистане / Г.А. Мавлянов, В.И. Уломов // Поиски предвестников землетрясений, 1976. – Ташкент. – С. 25 - 38.
7. Миди, Б.Дж. Современное распределение деформаций в Западном Тянь-Шане по блоковым моделям, основанным на геофизических данных / Б.Дж Миди, Б.Х. Хагер / Геология и геофизика, 2001. – Т. 42, № 10. – С. 1622 - 1633.
8. Рогожин, Е.А. Блоковое строение земной коры Северной Евразии / Е.А. Рогожин // Физика Земли, 2004. – № 10 - С. 81 - 95.
9. Уткин, В.И. Радон и проблема тектонических землетрясений // В.И. Уткин, А.К. Юрков // Вулканология и сейсмология, 1997. – № 4. – С. 84 - 92.
10. Уткин, В.И. Отражение сейсмических событий в поле эксхаляции радона / В.И. Уткин, А.К. Юрков // Геофизика, 1997. - ЕАГО. – № 6. – С. 50 - 56.
11. Уткин, В.И. Динамика выделения радона из массива горных пород как краткосрочный предвестник землетрясения / В.И. В.И. Уткин, А.К. Юрков // Доклады РАН, 1998. - Т. 358, № 5. - С. 675 - 680.
12. Уткин, В.И. Пространственно-временной мониторинг радона – основа среднесрочного прогноза землетрясений / В.И.Уткин // Уральский геофизический вестник – Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – № 1. – С. 101 - 106.
13. Юдахин, Ф.Н. Геофизические поля и сейсмичность Тянь-Шаня / Ф.Н. Юдахи . - Фрунзе: НАН Кыргызстана. ФАН,1988. – 324 с.
14. King, Chi-Yu Episodic radon changes in subsurface soil gas along activ faults and possible relation to earthquakes / Chi-Yu King // J. of Geophys. Research, 1980. – V.85.- N6. – P. 3065 - 3078.
15. King, Chi-Yu Radon in soil gas along active faults in Central California. Field studies of radon in rocks, soil and water / Gunderson L.and Wanty R. editors / Chi-Yu King, C. Walkingstick, D. Basler // U.S.Geological survay bulletin, 1991. – P. 77 -133.
16. Stein, R. S. Stress triggering of the 1994 M=6.7 Northridge, California, earthquake by its predecessors / R.S. Stein, G.C.P. King, J. Lin // Science, 1994. – 265. – P. 1432 - 1435.

РАДОН ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕССТЕРДІҢ ДЕТЕРМИНДЕЛГЕН КӨРСЕТКІШІ РЕТІНДЕ

Уткин В.И., Юрков А.К., Косякин И.И

РҒА Орал бөлімінің Геофизика институты, Екатеринбург, Ресей

Сейсмикалық оқиғалар: тектоникалық жерсілкінулер, терең шахталарда тау соққылардың жаршысы ретіндегі радон мониторингі бойынша зерттеулерінің шолуы келтірілген. Жүктеме әсерінде ортаның сұлба түріндегі моделі мен радонның көлемдік активтігі (РКА) өзгеруі көрсетілген. Шахталардағы зерттеулер негізінде, оқиға алдында РКА жүріс-тұрысы өлшеулер пунктісі орналасуына байланысты болатыны көрсетілген. АҚШ мен Солтүстік Тянь-Шаньда радон мониторингі бойынша эксперименттін нәтижелерін пайымдауында ұқсас нәтижелер алынған. Ортаның кернеу күйі өзгеруіне байланысында радон шығуының сызықты еместігі және радон өрісін тіркеу ерекшеліктері көрсетілген. Геодинамикалық моделі ұсынылған және радон өрісінде күтілетін әсерлері қаралған. Жерсілкінулер алдында радон өрісінің өзгеруі көрсетілген. Радон өрісінде айтарлықтай өзгерістер оқиға алдына дейін 90-100 күн бұрын байқалатыны, ал ерекше өзгерістері 3-5 күн бұрын байқалатыны көрсетілген. Шөгінді таужыныстар кешені шегінде алыстағы жерсілкінулердің толқындары өтуіне радон өрісінің реакциясы көрсетілген. Ұсынылған деректер, жерсілкінулер дайындалуында радон мониторингі көрсеткіштердің жоғары бірмәнділігін куәландырады.

RADON AS THE DETERMINED (UNAMBIGUITY) INDICATOR OF GEODYNAMIC PROCESSES

V.I. Outkin , A.K. Yurkov , I.I. Kosyakin

Institute of Geophysics of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

The review of researches on radonic monitoring, as the predict of seismic events: tectonic earthquakes and mountain impacts in deep mines is presented. The schematic model of environment and change of volumetric activity of radon (VAR) at influence of loading is presented. On the basis of researches in mines it is shown, that behaviour VAR before event variously depending on an arrangement of measuring site. Similar results are received at interpretation of experiment on radonic monitoring the USA and in investigations Northern TIAN-Shan. Nonlinearity of an output of radon depending on change of the intense condition of environment and feature of registration of a radon field is shown. The geodynamic model is presented and expected effects in a radon field are considered. Results of a radon field change before earthquakes are resulted. It is shown, that appreciable changes in a radon field are observed 90-100 days prior to seismic event and characteristic for 3-5 days. It is shown as within the limits of a complex of sedimentary breeds the radon field reacts to passage of waves of the removed earthquakes. The presented data show high unambiguity (determined) of indications of radonic monitoring at studying process of earthquakes preparation.

УДК 550.342.001.57

КАРТИРОВАНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ ТЯНЬ-ШАНЯ ПО ПОГЛОЩЕНИЮ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН

Гордиенко Д.Д.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

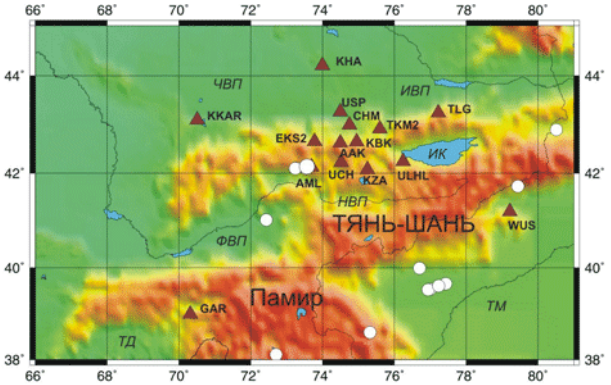
Исследованы характеристики поля поглощения короткопериодных поперечных волн в земной коре Тянь-Шаня. Обработано более 230 записей землетрясений на расстояниях ~300 – 600 км. Использован метод, основанный на анализе отношения амплитуд волн Lg и Pg. Показано, что поле поглощения в земной коре Тянь-Шаня характеризуется большой неоднородностью. Сильное поглощение соответствует очаговым областям Сусамырского землетрясения 19 августа 1992 г. (M=7,3), а также роя сильных землетрясений в Кашгарии в 1997 - 1998 гг. Большинство трасс с пониженными значениями Lg/Pg (более 70%) пересекают небольшую зону северного Тянь-Шаня, где расположена киргизская сейсмическая группа KNET. В этой зоне выделена кольцевая структура, сформированная эпицентрами относительно глубоких землетрясений, произошедших в 1999 - 2005 гг. Полученные данные, также как данные других авторов, указывают на активные геодинамические процессы в аномальной зоне, возможно связанные с подготовкой сильного землетрясения.

Введение

Короткопериодные S-волны наиболее чувствительны к присутствию жидкой фазы в горных породах, поэтому по их характеристикам можно выделять области с повышенным содержанием флюидов в земной коре и верхах мантии [1-5]. В статье обсуждается картирование земной коры Тянь-Шаня и прилегающих районов – южной окраины Казахской платформы и Западного Тарима, - по поглощению поперечных сейсмических волн.

Система наблюдений и использованные материалы

Использованы записи 15 цифровых станций, установленных в основном на выходах коренных пород (рисунок 1). Обработано более 230 записей коровых землетрясений с магнитудой менее 5.5, зарегистрированных в 1994 - 2006 гг. на эпицентральных расстояниях порядка 300 - 600 км.



Треугольник – сейсмическая станция; кружок – эпицентр землетрясения с M≥6.0 (начиная с 1991 г.); большой кружок – эпицентр Сусамырского землетрясения 19.08.1992. Впадины: ЧВП – Чуйская, ИВП – Илийская, НВП – Нарынская, ФВП – Ферганская. ТД – Афгано-Таджикская депрессия, ТМ – Таримский массив. ИК – оз. Иссык-Куль

Рисунок 1. Район исследований

Методика исследований

Использован метод, основанный на анализе соотношения амплитуды волн Lg и Pg [5], которые, как известно [3], представляют совокупность соответственно поперечных и продольных волн, отраженных от границ земной коры под запредельными углами. В связи с этим логарифм отношения амплитуд этих волн (параметр lg(ALg/APg), далее, для краткости, Lg/Pg) служит, при прочих равных условиях, мерой поглощения S-волн в земной коре на всей трассе от очага до наблюдательной станции. Для исследований отобраны записи землетрясений в относительно узком диапазоне эпицентральных расстояний Δ, в котором средние значения параметра Lg/Pg сравнительно мало изменяются с ростом Δ; это позволяет в первом приближении не вводить поправку за расстояние. Анализ проведен для большого количества трасс, пересекающих рассматриваемую территорию, с тем, чтобы можно было выделить районы, характеризующиеся относительно повышенным и пониженным поглощением сейсмических волн. Преимуществом такого подхода, в частности, является возможность получить информацию о строении земной коры в районах крупных впадин, где затруднена установка чувствительных станций из-за высокого уровня микросейсмического фона. С учетом того, что поглощение сейсмических волн существенно зависит от частоты колебаний, использована узкополосная частотная фильтрация (фильтр с центральной частотой 1.25 Гц и шириной 2.3 октавы, аналогичный соответствующему ЧИСС-фильтру [3]).

Анализ данных

На рисунке 2 в качестве примера приведены сейсмограммы 8 землетрясений, произошедших в разных районах Тянь-Шаня и зарегистрированных 5 станциями, расположенными в диапазоне эпицентральных расстояний 320 - 530 км. Видно, что форма записей существенно различна для разных трасс, так что параметр Lg/Pg варьируется более чем на

порядок. Очень высокие значения параметра Lg/Pg соответствуют трассам, пересекающим Западный Тянь-Шань (станция KKAR), Иссыккульскую впадину (станция TKM2), вдоль границы Северного Тянь-Шаня (станция CHM) и вдоль Илийской впадины (станция KHA), а также пересекающим Центральный Тянь-Шань в субширотном направлении (станция WUS). Аномально низкие значения Lg/Pg характерны для трасс, пересекающих очаговые области Сусамырского землетрясения (станция CHM) и роя землетрясений 1997 - 1998 гг. в Кашгарии (станция CHM), а также для трассы на станцию TKM2, идущей с юго-юго-запада.

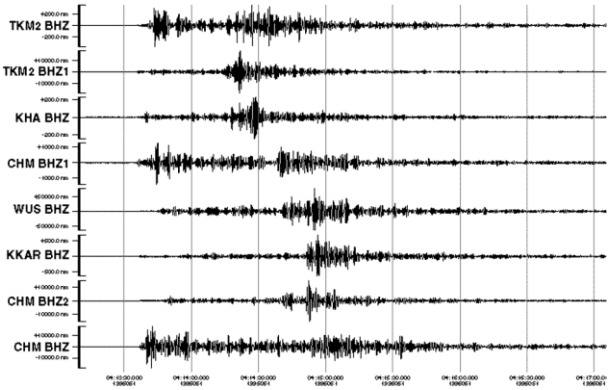
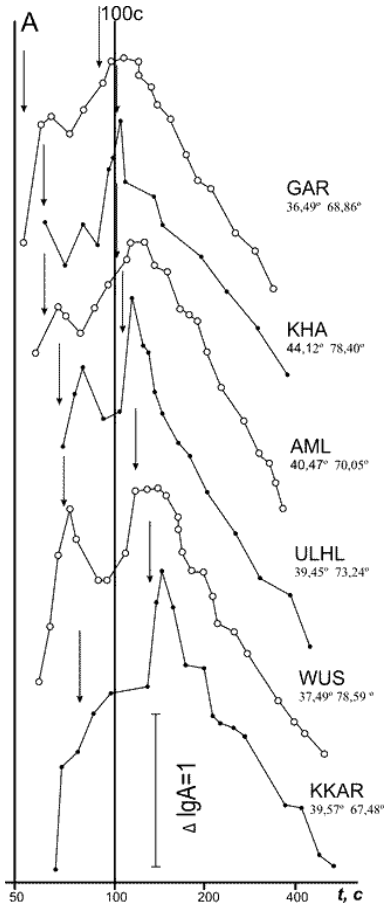


Рисунок 2. Примеры сейсмограмм землетрясений из разных районов Тянь-Шаня. ЧИСС-канал, 1.25 Гц, вертикальная компонента

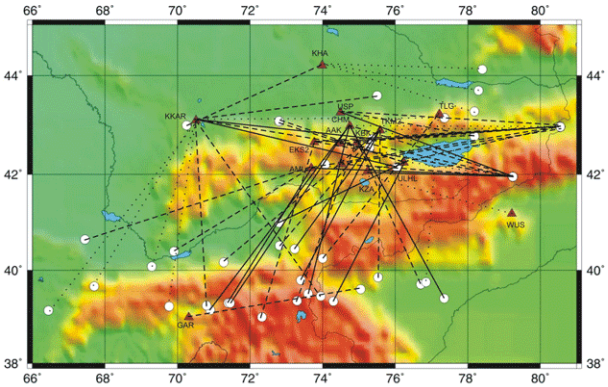
На рисунке 3 показаны огибающие записей землетрясений, полученных разными станциями. Можно видеть, что для трасс, пересекающих горные районы или впадины с осадочными породами сравнительно небольшой мощности (в данном случае Илийской, данные станции KHA), наблюдается импульсивная группа Lg с быстрым нарастанием амплитуды и резким ее спадом после достижения максимума. Группа Lg сопровождается своей кодой, переход к которой маркируется резким уменьшением наклона огибающей. В то же время для трасс, идущих через крупные впадины, заполненные мощными осадочными толщами (Ферганскую впадину, Афгано-Таджикскую депрессию и Таримский массив – данные станций AML, GAR и WUS , соответственно), группа Lg имеет «размытую» форму с медленным достижением максимума и длительным участком слабо затухающих амплитуд.

На рисунке 4 приведена карта района Тянь-Шаня и его ближайших окрестностей с трассами, для которых определены значения параметра Lg/Pg.



Стрелка – момент вступления волн Lg и Pg по годографу; надпись у кривой - название станции и координаты эпицентра землетрясения

Рисунок 3. Огибающие записей землетрясений из района Тянь-Шаня



Сплошная линия – низкие, пунктир – промежуточные, точки – высокие значения Lg/Pg. Треугольник – сейсмическая станция, кружок – центр зоны, для которой усреднялись значения Lg/Pg

Рисунок 4. Тянь-Шань. Характеристика трасс по значениям Lg/Pg

Подавляющее большинство значений для характеристики трассы определено путем осреднения величин Lg/Pg, полученных по нескольким записям землетрясений (от 3 до 10) из небольшой зоны, центр которой соответствует началу трассы. Для таких трасс средние значения Lg/Pg варьируются от -0.09 до 0.99, а стандартные отклонения – от 0.02 до 0.27. Из рисунка 4 видно, что высокие значения Lg/Pg (≥0.60) характерны для трасс, пересекающих Западный Тянь-Шань, северную окраину Северного Тянь-Шаня (хребты Заилийский и Кунгей Алатау), Илийскую впадину, небольшие впадины Центрального Тянь-Шаня (Иссыккульскую и Нарынскую). Промежуточные значения параметра (0.60≥ Lg/Pg>0.25) соответствуют большинству трасс, пересекающих горные районы плюс небольшие впадины, а также две крупные впадины - Афгано-Таджикскую и Ферганскую (трассы через Афгано-Таджикскую впадину и Тарим с эпицентрами к югу от 38° N на рисунке 4 не показаны в целях экономии места).

Наибольший интерес представляют трассы, для которых получены очень низкие значения Lg/Pg (<=0.25). К ним относятся трассы, идущие через Западный Тарим, а также трассы, пересекающие две области Тянь-Шаня, наиболее активные в сейсмическом отношении за последние 15 лет (рисунок 1): очаговые зоны Сусамырского землетрясения 19 августа 1992 г. (M=7.3) и роя сильных землетрясений 1997-1998 гг. в Кашгарии (7 событий с M=5.6-6.4). Важно отметить, что большинство трасс с пониженными значениями Lg/Pg (более 70%) пересекают небольшую зону Северного Тянь-Шаня, в которой расположена киргизская сейсмическая группа KNET. Из этой группы особенно хорошо эффект снижения значени Lg/Pg проявлен на записях станции KKAR, трассы которой охватывают большой диапазон азимутов. При этом, данные для восьми из 14 таких трасс получены в 2005 - 2006 гг., тогда как общее количество трасс с данными за 1994 - 2004 гг., составляет 40, а за 2005 г. и 4 месяца 2006 г. – 18. Таким образом, доля трасс с низкими величинами Lg/Pg в 2005 - 2006 гг. выросла почти в 3 раза.

На рисунке 5а показана карта района Северного Тянь-Шаня с трассами (по записям землетрясения 01.12.2003 в районе хр. Кетмень с M=6.0 и его афтершоков), для которых приведена характеристика значений отношения амплитуд Lg и Pg волн.

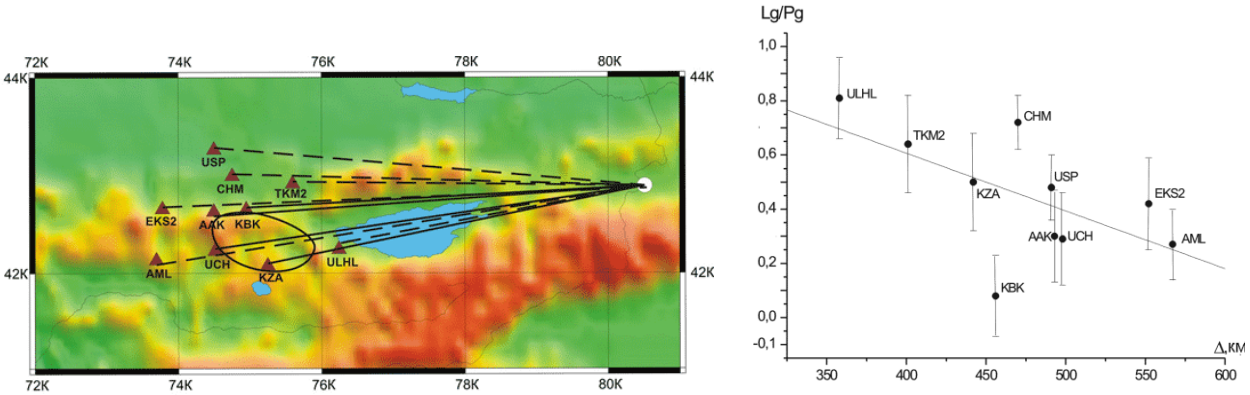
Из рисунка 5а видно, что вдоль трасс, пересекающих аномальную зону, значения параметра Lg/Pg низкие. Зависимость Lg/Pg(Δ) для трасс, пересекающих эту аномальную зону, показана на рисунке 5а. Если для района Тянь-Шаня в целом и диапазона расстояний 350 - 550 км выявить зависимость параметра Lg/Pg от Δ на фоне разброса данных не удалось [5], то для рассматриваемой области Северного Тянь-Шаня значения параметра Lg/Pg в зависимости от Δ быстро падают (в первую очередь, для трасс на станции KBK, AAK и UCH). Основываясь на этих данных, проведена оценка добротности земной коры Q на отрезке между станциями TKM2 и KBK в предположении, что все различия величин Lg/Pg для этих станций (ΔLg/Pg = 0.55) накапливаются на отрезке между ними (Δr~ 55 км). Для оценки Q использована формула [3]:

$$\lg(ALg/APg) \sim 0.43[-\pi\Delta r(1/csQs - 1/cpQp)]/T = -0.55, \quad (1)$$

где: cs и cp – средние скорости S- и P-волн в земной коре (3.5 км/с и 6.0 км/с, соответственно); T=0.8 с.

С учетом соотношения Qp=2Qs,полученного ранее [4],определены следующие значения Qs ~35, Qp~ 70.

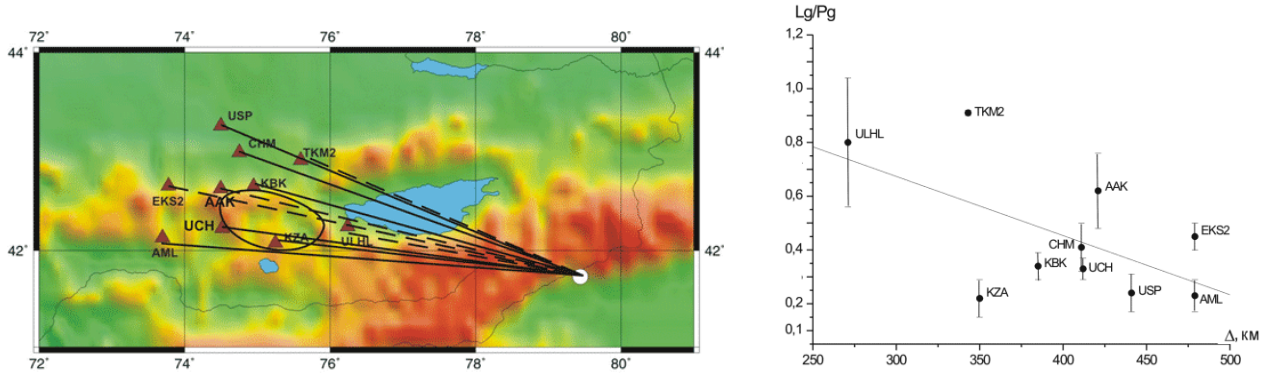
Аналогичная тенденция относительно значений Lg/Pg проявляется по данным, полученным для другого землетрясения - в Кашгарии 14 февраля 2005 г, M=6.2 (рисунок 7).



а – значения Lg/Pg вдоль трасс **б**– зависимость параметра Lg/Pg от расстояния

Линии: сплошная – низкие, пунктир – высокие значения Lg/Pg; треугольник – сейсмическая станция, кружок – эпицентр землетрясения 01.12.2003 (хр. Кетмень); эллипс - область эпицентров относительно глубоких событий (h>15 км) за 1999 - 2005 гг. Отрезок с точкой (на рисунке 5б) - среднее значение и стандартное отклонение

Рисунок 5. Северный Тянь-Шань. Характеристика аномальной области по записям землетрясения 01.12.2003 в районе хр. Кетмень с M=6.0 и его афтершоков



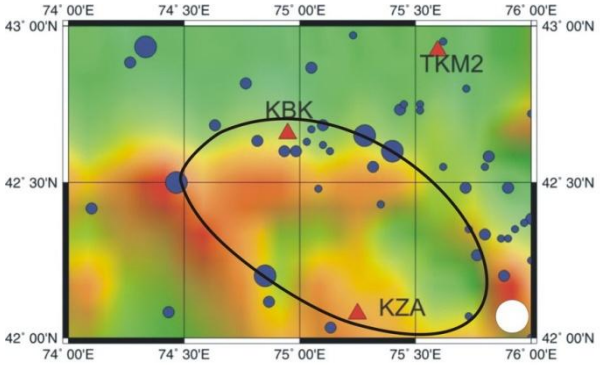
а – значения Lg/Pg вдоль трасс **б** – зависимость параметра Lg/Pg от расстояния

Кружок – эпицентр землетрясения 02.14.2005. Остальные обозначения даны на рисунке 5

Рисунок 6. Северный Тянь-Шань. Характеристика аномальной области по записям землетрясения 14.02.2005 г. в Кашгарии, M=6.2и его афтершоков

Из рисунка 6 следует, что в данном случае очень низкие величины Lg/Pg наблюдаются для трасс на станции KBK, UCH, USP и, особенно, KZA.

На рисунке 7 показаны эпицентры относительно глубоких землетрясений, произошедших в исследуемой аномальной области в течение 1999 - 2006 гг. Видно, что совокупность эпицентров землетрясений имеет характерную кольцевую форму.



Треугольник – сейсмическая станция; кружок – эпицентр землетрясения; самый крупный кружок – эпицентр землетрясения 25.12.2006 (M=5.8)

Рисунок 7. Северный Тянь-Шань. Эпицентры глубоких землетрясений (h>15 км) в аномальной области за 199 9- 2005 гг.

Согласно [11], появление относительно глубоких сейсмических событий служит важным признаком подготовки сильного землетрясения. Необходимо отметить, что 25 декабря 2006 г. на окраине исследуемой аномальной зоны произошло землетрясение с магнитудой M=5.8, макросейсмический эффект которого в эпицентральной зоне составил 7-8 баллов. Землетрясение вызвало большие разрушения в Кочкорском районе Киргизии, в г. Алматы оно ощущалось с интенсивностью 4-5 баллов.

Обсуждение

Обращает на себя внимание «размытая» форма группы волн Lg для трасс, пересекающих крупные впадины, что объясняется образованием большого количества обменных волн типа S-R и P-R на поверхности осадочных бассейнов [3,6]. В горных районах эти волны сравнительно быстро затухают [6], и для них характерна «нормальная» форма записей с резкой группой Lg.

В большей части рассматриваемого региона, как это следует из рисунка 4, наблюдается пониженное поглощение, что свидетельствует об относительно низком содержании свободных флюидов в земной коре. Высокие величины Lg/Pg соответствуют южной окраине Казахской платформы – Чуйской и особенно Илийской впадинам, что согласуется с повышенными скоростями P- и S-волн в земной коре этой области [7]. Интересно, что Западный Тянь-Шань в целом характеризуется значительно более слабым поглощением сейсмических волн в земной коре по сравнению с Центральным Тянь-Шанем. В то же время относительно повышенное поглощение наблюдается к югу от Тянь-Шаня – в земной коре Афгано-Таджикской депрессии и Западного Тарима, что связано, скорее всего, с большой мощностью осадочных отложений в этих районах [8].

Высокое поглощение сейсмических волн вдоль трасс, пересекающих очаговые зоны Сусамырского землетрясения, а также роя событий 1997 - 1998 гг. в Кашгарии согласуется со сделанными ранее выводами о подъеме мантийных флюидов в земную кору в таких областях до и после сильных коровых землетрясений [1, 2, 5]. В этой связи особый интерес представляет зона аномально высокого поглощения в районе Северного Тянь-Шаня (район сейсмической группы KNET), где в течение нескольких сотен лет не было сильных землетрясений с M≥6.5. Отметим, что полученная нами оценка Qs для нее даже ниже, чем для разогретой коры Тибета, где имеются проявления четвертичного и современного вулканизма [9]. Ранее [4] было показано, что эта зона характеризуется повышенным поглощением и в верхах мантии. Анализ совокупности геолого-геофизических данных привел авторов работы [10] к заклю-

чению, что здесь происходят активные геодинамические процессы, связанные с подготовкой сильного корового землетрясения. Приведенные в данной статье данные не противоречат этому заключению, а существенное увеличение доли трасс с высоким поглощением S-волн в 2005 - 2006 гг. свидетельствует о резком ускорении таких процессов в последнее время. С этим согласуются и данные об относительно глубокой сейсмичности в указанной зоне. Все перечисленное позволяет говорить о необходимости проведения в указанном районе комплексных геофизических и геохимических исследований в целях краткосрочного прогноза сильного сейсмического события.

Литература

1. Копничев, Ю.Ф. Пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Физика Земли, 2003. - № 7. - С. 35 - 47.
2. Husen, S. Postseismic fluid flow after the large subduction earthquake of Antofagasta, Chile / S. Husen, E. Kissling // Geology, 2001 - V. 29. - N 9. - P. 847 - 850.
3. Копничев, Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля / Ю.Ф. Копничев. - М.:Наука, 1985. – 176 с.
4. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности литосферы и очаги сильных землетрясений Центрального Тянь-Шаня / Ю.Ф. Копничев, Г. Павлис, И.Н. Соколова // Докл. РАН, 2002. - Т. 387. - №4. - С. 528 - 532.
5. Гордиенко, Д.Д. Пространственно–временные вариации поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхней мантии Центральной и Южной Азии / Д.Д. Гордиенко, Ю.Ф.Копничев, И.Н. Соколова И.Н. // Геодезия, картография, геоинформационные системы: Вестник высшей школы. - 2005.
6. Kopnichev, Yu.F. On the nature of an unusual wave train observed in the Northern Tien Shan region / Yu. F. Kopnichev, Sokolova I.N. // Bull. Seismol. Soc. Amer., 2004. - V.94. - N 1. - P. 1 - 15.
7. Roecker, S. Three-dimensional elastic wave velocity structure of the Western and Central Tien Shan / S. Roecker, T.M. Sabitova, L.P. Vinnik [et al.] // J. Geophys. Res.,1993. - V.98. - N B9. - P. 15779 - 15795.
8. Крестников, В.Н. История развития колебательных движений земной коры Памира и сопредельных частей Азии / В.Н. Крестников. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. - С. 179.
9. Fan, G. Characteristics of Lg attenuation in the Tibetan Plateau / G. Fan, T.Lay // J. Geophys. Res., 2002. - V.107. - N B1. doi: 10.1029/2001JB000804.
10. Копничев, Ю.Ф. О геодинамических процессах в районе Центрального Тянь-Шаня: выделение аномальной области по сейсмическим данным / Ю.Ф. Копничев, Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова // Геофизика и проблемы нераспространения Вестник НЯЦ РК, 2004. - Вып.3. - С. 119 - 123.
11. Копничев, Ю.Ф. Геодинамические процессы в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 г. (Северный Тянь-Шань) / Ю.Ф. Копничев, Н.Н.Михайлова // Докл. АН., 2000. - Т. 373. - № 1. - С. 93 - 97.

ҚЫСҚАПЕРИОДТЫ КӨЛДЕНЕН ТОЛҚЫНДАР ЖҰТЫЛУЫ БОЙЫНША ТЯНЬ-ШАНЬ ЖЕР ҚЫРТЫСЫН КАРТАЛАУ

Гордиенко Д.Д.

ҚР ҰЯО Герфизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Тянь-Шань жер қыртысында қысқапериодты көлденен толқындар жұтылу өрісінің сипаттамалары зерттелген. Шамасы 300-600 км. қашықтығындағы 230 астам жерсілкінулердің жазбалары өңделген. Lg және Pg толқындардың амплитудалар қатынасын талдауында негізделген әдісі қолданылған. Тянь-Шань жер қыртысында жұтылу өрісі үлкен біртекті еместігімен сипатталатыны көрсетілген. Қатты жұтылуы 1992 ж. тамыздың 19-ғы Сусамыр жерсілкінуінің (M=7,3), сондай-ақ 1997-1998 ж.ж. Қашғардағы көп қатты жерсілкінулердің ошақ аумақтарына сай келеді. Lg/Pg төмен мәндеріндегі трассаларының көбі (70% астам), KNETсейсмикалық тобы орналасқан, солтүстік Тянь-Шаньнің шамалы белдемін қиып өтеді. Сондай-ақ бұл белдемінде, 1999-2005 ж.ж. болған тереңдегі жерсілкінулер эпиорталықтарымен қалыптастырылған, сақиналы құрылымы айқындалған. Алынған деректер аномаль белдемінде, қатты жерсілкінуі дайындалуымен байланысты болуына мүмкін, белсенді геодинамикалық процесстері жүріп жатқанын көрсетеді.

MAPPING EARTH'S CRUST OF THE TIEN SHAN REGION USING SHORT-PERIOD SHEAR WAVE ATTENUATION

D.D. Gordienko

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The paper gives a short-period shear wave attenuation study in the earth's crust of the Tien Shan region. More than 230 records of earthquakes at epicentral distances of ~300-600 km have been processed. Method, based on an analysis of amplitude ratio of Lg and Pg waves, was applied. It was shown that attenuation field in the earth's crust of the region is very heterogeneous. Strong attenuation corresponds to source area of the Susamyr earthquake of August 19, 1992 (M = 7,3); and also that of a swarm of strong earthquakes in Kashgaria during 1997 – 1998. Most of paths with lower Lg/Pg values (more than 70%) cross a small zone of the North Tien Shan where KNET seismic array is situated. A circle structure formed by epicenters of relatively deep earthquakes occurred in 1999 – 2005 is picked out in this zone. Our data and results obtained by other authors show that active geodynamic process occurs in the abnormal zone, possibly connected with a preparation for strong earthquake.

УДК 550.348(511.66)

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ С РЕШЕНИЯМИ ТЕНЗОРА МОМЕНТА ЦЕНТРОИДА ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

[1)]**Михайлова Н.Н., [2)]Полешко Н.Н.**

[1)]*Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан*
[2)]*Государственное учреждение «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция», Алматы, Казахстан*

Проведена реконструкция поля тектонических напряжений с применением двух различных сейсмических методов для 20 землетрясений с магнитудой Ms≥4.5, вошедших в каталог механизмов очагов СОМЭ МОН РК и CMT - каталог Гарварда за 1978 – 2004 гг. Картина напряженно-деформированного состояния земной коры по параметрам тензора момента центроида в целом не отличается от картины, полученной из данных о механизмах очагов по стандартной методике. Однако для отдельных событий отмечены существенные различия в параметрах, характеризующих напряжения и плоскости разрывов, и различия в типах дислокаций. Сделан вывод о возможной связи выявленных различий как с природой самих событий, так и с несоответствием используемой модели очагов реальным процессам. Для более полной характеристики напряженно-деформированного состояния среды рекомендовано применение обоих методов, дополняющих друг друга.

Изучение основных характеристик действующих тектонических напряжений остается одним из приоритетных направлений в области наук о Земле. Данные о напряженном состоянии земных недр являются основой всех исследований по геодинамике, а также чрезвычайно важны для решения задач долго – и среднесрочного прогноза землетрясений.

Каким образом можно получить информацию о поле тектонических напряжений по сейсмическим данным? На региональном уровне тектонические напряжения в очагах землетрясений реконструируются по определениям механизмов очагов (фокальных механизмов). Как правило, для этого используются данные действующих в регионе сейсмических станций, чаще всего, - это записи короткопериодных высокочувствительных каналов, как цифровых, так и аналоговых. Для изучения более сильных землетрясений дополнительно привлекаются данные станций, расположенных на сопредельных территориях. Фокальные механизмы определяются на основе моделирования очага в рамках теории дислокаций. По данным о направлениях смещений (знаках) в первых вступлениях продольных волн по стандартной методике Введенской А.В. [1] определяются параметры осей напряжений сжатия и растяжения и параметры двух равновероятных плоскостей разрыва и подвижек в очаге.

В Казахстане массовое определение механизмов очагов начато с 1969 г. К настоящему времени накоплены данные о более чем 9000 фокальных механизмов для широкого диапазона энергий (от 6-го энергетического класса до M_w=7,3). Данные систематизируются для каталогов параметров механизмов очагов, публикуются, например, в двухтомнике [2] и ежегодниках «Землетрясения в СССР» и «Землетрясения Северной Евразии». За более чем 30-летний срок технология определения механизмов очагов изменилась. До 2000 г. все определения проводилась вручную на сетке Вульфа [2]. После 2000 г. построения ведутся машинным способом. Так, например, в СОМЭ МОН РК для этих целей используется программа определения механизмов очага Масаки Накамура [3]. Результаты анализа накопленного объема данных по механизмам очагов территории Казахстана представлены в ряде публикаций [4-6]. Установлено, что по слабым землетрясениям наблюдается значительный разброс в определяемых параметрах фокальных механизмов. Только используя представительную статистику механизмов слабых землетрясений можно получить достоверную картину поля региональных напряжений. Ту же картину дают немногочисленные, но наиболее сильные землетрясения, поскольку именно их очаги связаны с региональными разломами, их подготовка происходит под действием региональных напряжений, которые снимаются в процессе разрыва в очаге и могут быть реконструированы при построении механизма очага. Очаги слабых землетрясений в трехмерном пространстве распределены менее закономерно, они связаны с разломами более высоких порядков, напряжения, снимаемые в процессе этих землетрясений, не всегда соответствуют региональным.

Существуют другие подходы к определению характеристик поля напряжений сейсмическими методами. Они разработаны после внедрения в практику наблюдений цифровых широкополосных сейсмических станций и создания глобальных сейсмических сетей. Их применение основано на анализе длиннопериодных сейсмических колебаний. С помощью инверсии волновых форм рассчитываются компоненты тензора момента, определенные методом центроида (CMT) [7]. Возможность такого анализа существует даже в режиме, близком к реальному времени, как это делается, например, в Национальном центре информации о землетрясениях США (NEIC), в сейсмическом центре Гарвардского университета США и др. В Гарвардском университете

по проекту «Тензор момента центроида» по данным более чем 100 цифровых станций глобальной сейсмической сети определяются СМТ и публикуется каталог параметров тензора момента центроида для всех землетрясений мира с M≥4.5. Каталог с 1976 г. доступен на Web-сайте http:www.seismology.harvard.edu. Кроме того, решения СМТ в оперативном режиме рассылаются в электронном виде пользователям, в том числе, в Центр данных ИГИ НЯЦ РК. В решении СМТ дополнительно к механизму очага приводится скалярный сейсмический момент и соответствующая моментная магнитуда. Поскольку при решении СМТ используется длиннопериодная составляющая сейсмических волн, можно считать, что данные о механизме относятся к главной фазе разрыва в очагах сильных землетрясений и несут информацию об общих характеристиках напряженного состояния среды.

В задачу настоящей работы входило сопоставление результатов реконструкции поля тектонических напряжений с использованием двух различных описанных методов, примененных к одним и тем же сильным землетрясениям. Для этой цели отобраны 20 землетрясений с Ms≥4.5, эпицентры которых находятся на территории Казахстана и соседних с ним государств (КНР, Кыргызстан), и которые вошли в каталог механизмов очагов СОМЭ МОН РК (далее каталог МО) и СМТ - каталог Гарварда (далее СМТ – каталог). Временной период исследуемых землетрясений - 1978 – 2004 гг. Основные параметры рассматриваемых событий приведены в таблице.

Эпицентры землетрясений показаны на рисунке 1. Здесь же даны механизмы очагов по СМТ-каталогу.

Из рисунка 2 видно, что рассматриваемые землетрясения произошли на юге и юго-востоке Казахстана, в приграничных с ними районах Кыргызстана и Китая, в Восточном и Центральном Казахстане. Диапазон магнитуд по поверхностным волнам составляет 4.0 - 7.4. На рисунке 3 представлены стереограммы всех 20 землетрясений, полученные двумя разными методами, что определено размещением их в соответствующих каталогах (МО, СМТ).

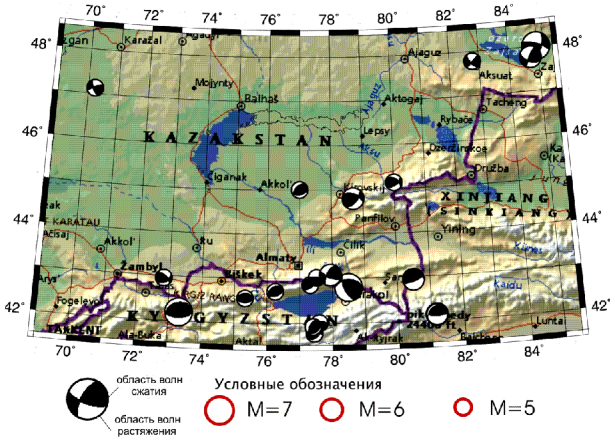


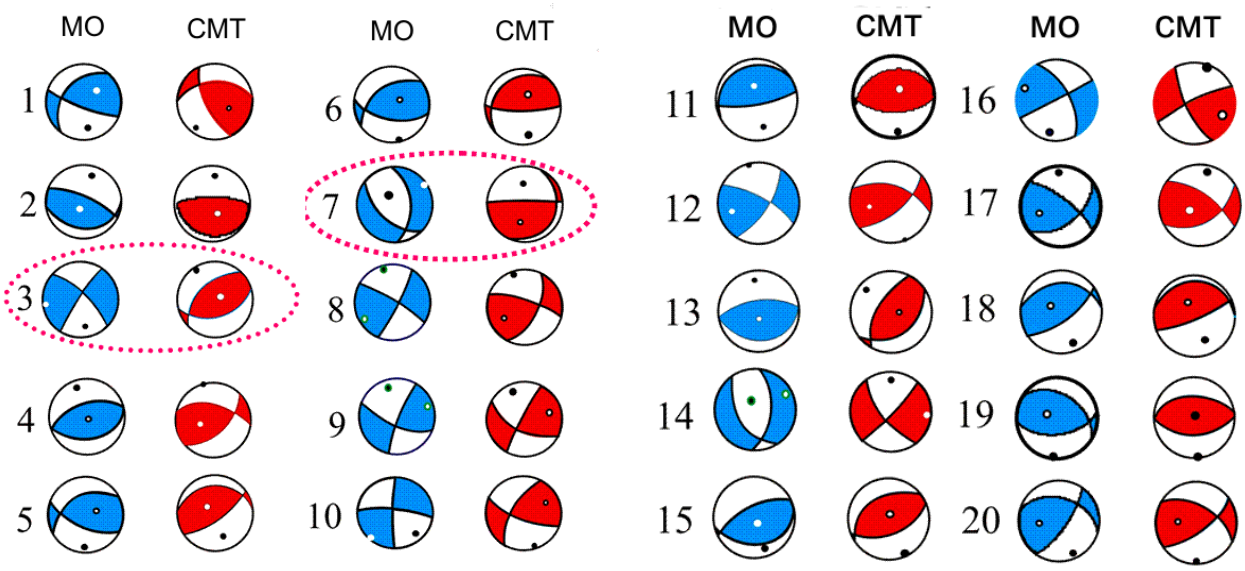
Рисунок 1. Карта эпицентров землетрясений с нанесенными стереограммами механизмов очагов в нижней полусфере по данным Гарвардского СМТ - каталога

Исходя из рисунка 3, можно отметить, что в большинстве случаев тип механизма в обоих вариантах расчетов совпадает, при незначительном различии в значениях азимута простирания нодальных плоскостей и углах их падения, а также соотношений вертикальной и сдвиговой компонент подвижек.

Результаты определений для событий после 2000 г. (№ 16 – 20 таблицы 1) лучше соответствует друг другу, что, возможно, связано с переходом СОМЭ МОН РК на использование программы М. Накамура [3]. Самые большие расхождения отмечаются в значениях азимута оси напряжения растяжения.

Таблица. Основные параметры землетрясений (каталог МО)

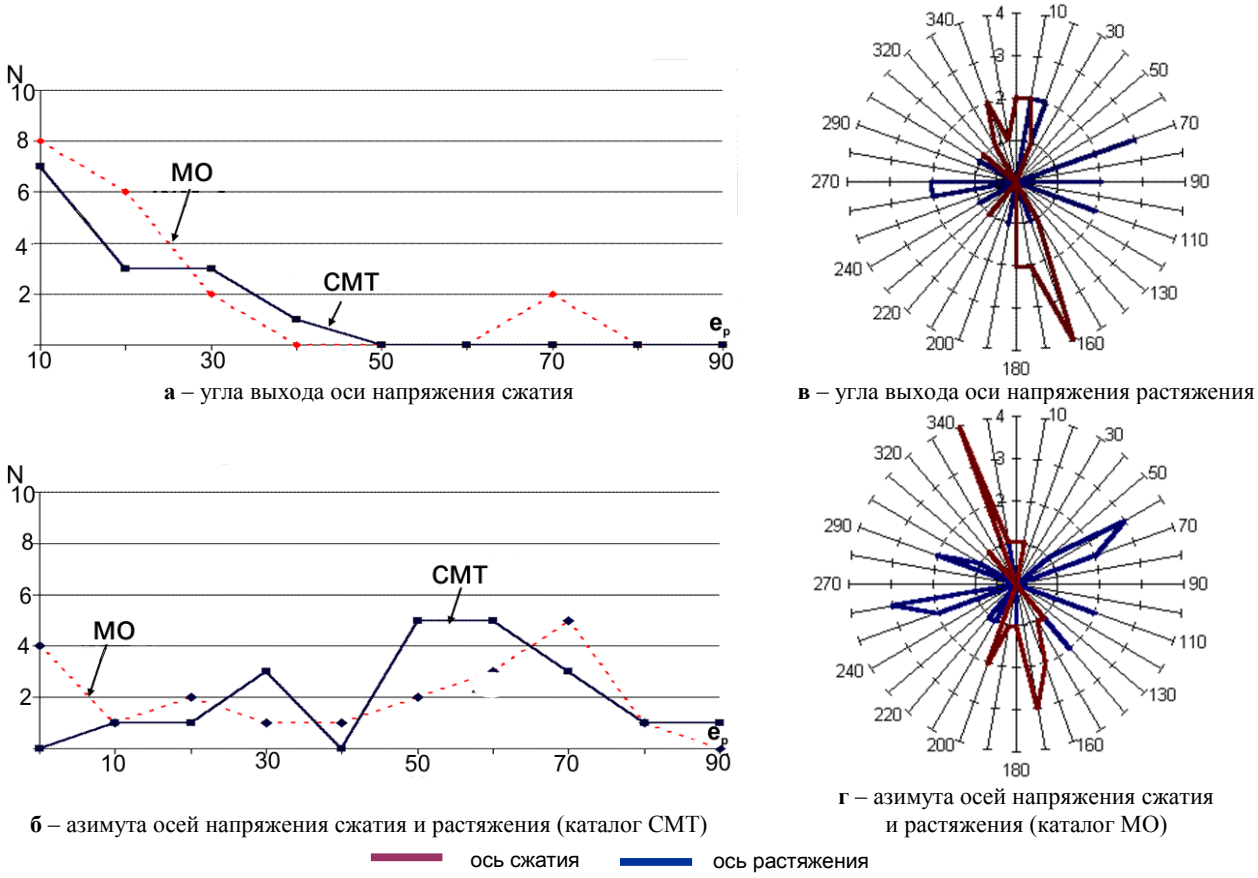
№	Дата	Время в очаге	Широта, N	Долгота, E	Глубина, км	Ms	mb	Название землетрясения
1	24,03,78	210548,60	42,87	78,58	34,7	7,1	6,2	Жаланаш-Тюпское
2	06,04,79	183006,20	41,98	77,40	25,0	4,9	5,2	
3	25,09,79	130555,00	45,00	77,00	40,0	5,5	5,9	Баканасское
4	05,07,80	202522,00	41,77	77,50	15,0	5,2	5,4	
5	31,12,82	194649,70	42,87	77,36	15,0	5,1	5,8	
6	05,01,87	225246,40	42,17	81,20	15,0	5,8	5,9	
7	17,06,88	133043,60	43,00	77,42	15,0	5,3	5,3	
8	14,06,90	124726,40	47,95	85,00	35,0	6,8	6,2	Зайсанское 1
9	03,08,90	091507,00	47,80	84,77	32,0	6,1	6,1	Зайсанское 2
10	12,11,90	122851,40	42,93	77,93	19,0	6,3	5,9	Байсорунское
11	19,08,92	020436,00	42,07	73,63	25,0	7,4	6,8	Сусамырское
12	30,12,93	142406,40	44,82	78,76	20,0	5,6	5,8	
13	18,01,96	093350,60	41,95	77,45	10,0	4,6	5,2	
14	12,07,98	071613,30	47,83	82,67	30,0	4,5	4,9	
15	06,12,99	073311,80	42,68	76,27	13,0	4,9	5,3	
16	22,08,01	155757,70	47,20	70,20	19,0	5,0	5,0	Шалгинское
17	22,05,03	181157,30	42,93	72,85	10,0	5,2	5,5	Луговское
18	01,12,03	013832,60	42,92	80,55	15,0	5,9	6,0	
19	16,01,04	090617,30	42,47	75,25	20,0	4,0	4,9	
20	27,10,04	092336,20	45,14	79,97	20,0	4,9	5,5	
Примечание - все координаты гипоцентров взяты по каталогам, составляемым в СОМЭ МОН РК								



Выделены существенно не согласующиеся решения

Рисунок 2. Сравнение стереограмм механизмов очагов в нижней полусфере по данным каталога МО и Гарвардского СМТ -каталога

Скорее всего, это связано с неуверенным определением азимута оси напряжений при близвертикальных углах падения. Разница значений азимутов этой оси ΔAzT в 45% событий составляет от 42° до 87°, Δlт – разница углов падения – аналогична Δlp для оси сжатия (60% случаев Δlт≤10°, 25% случаев Δlт в диапазоне 14° - 23°). Сделанные выводы иллюстрируются рисунками 4а – 4г, на которых сопоставлены результаты определения общих характеристик ориентировки осей напряжений сжатия и растяжения.



а – угла выхода оси напряжения сжатия

в – угла выхода оси напряжения растяжения

б – азимута осей напряжения сжатия и растяжения (каталог СМТ)

г – азимута осей напряжения сжатия и растяжения (каталог МО)

ось сжатия ось растяжения

Рисунок 3. Распределения характеристик ориентировки осей напряжения сжатия и растяжения согласно каталогам СМТ и МО

Видно, что ориентация осей напряжения сжатия определяются обоими методами как близмериодиональная и близгоризонтальная. По всем осям напряжений растяжения, при существенно большем разбросе данных в обоих методах, отслеживается общая тенденция к близширотному положению этих осей. Из всех параметров наименьшее расхождение наблюдается в значениях, характеризующих ориентацию оси сжатия: Δlp – разница в углах падения и ΔAzp – разница в азимутах - в 60% не превышают 10%, в 30% значение Δlp варьируют в пределах 12° – 25°. Исключение из общей картины составляют события № 1, 7, 13, 14 (таблица 2, рисунок 3), для которых разница значений по углу падения достигает 29° и 75° (№ 7 и № 14), по азимуту - 38° – 45° (№ 1, 13, 14).

На рисунке 4а представлена карта, демонстрирующая направление осей напряжений сжатия на всей рассматриваемой территории по данным СМТ - каталога.

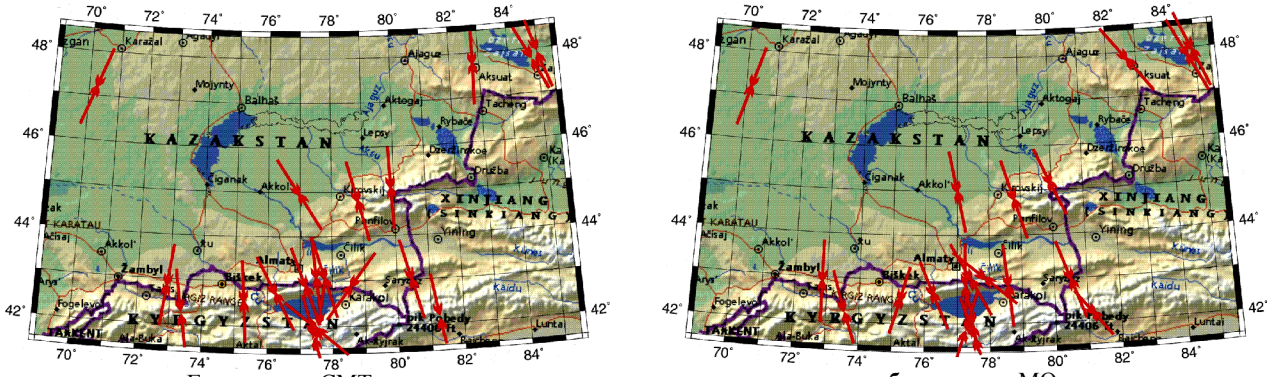
В Восточном Казахстане, хребте Джунгарский Алатау, Прибалхашье, на Северном Тянь-Шане ось напряжений сжатия немного отклонена на запад от меридиана. Лишь в очаге Жалапаш-Тюпского землетрясения ось сжатия направлена на северо-восток. В Центральном Казахстане в очаге Шалгинского землетрясения ось напряжений сжатия отклонена от меридиана в восточном направлении. Полученная картина напряженно-деформированного состояния среды исследуемого региона в целом соответствует той, которая получена на основе региональных каталогов и приведена в [4-6]. Для сравнения на рисунке 4б приведена аналогичная карта по механизмам очагов регионального каталога. Видно, что реконструированное поле напряжений сжатия в общем как по СМТ, так и по региональным определениям практически аналогично.

Проведено также сравнение характеристик типов подвижек в очагах рассматриваемых сильных землетрясений. Как следует из рисунка 1, по данным СМТ - каталога во всех очагах землетрясений наблюдаются дислокации типа сдвига, либо взброса, либо сдвиго-взброса. Так, например, в очагах землетрясений Прибалхашья и Северного Тянь-Шаня отмечен взбросовый тип подвижки по плоскостям близширотного простирания. У Жаланаш-Тюпского и Байсорунского землетрясений наблюдается соответственно сдвиго-взброс и сдвиг. То есть, все землетрясения произошли в условиях преобладающего близгоризонтального напряжения сжатия. Сдвиговая компонента подвижки возрастает с юга на север, а взбросовая, наоборот, уменьшается. Это может косвенно свидетельствовать об уменьшении величины действующих напряжений сжатия с юга на север.

Сравнение данных по СМТ - каталогу с данными регионального каталога механизмов очагов позволяет заметить ряд отличий. По каталогу МО в ряде зон наблюдаются сбросо-сдвиговые и даже сбросовые подвижки в очагах, которые могут происходить в условиях близгоризонтального растяжения. Такие очаги обнаруживаются в Заилийском, Джунгарском Алатау и на востоке вблизи озера Зайсан. В ориентации плоскостей разрывов и вектора подвижки по ним отмечаются различия до 25° в 85% случаев в отношении угла падения плоскостей (ΔDIP), в 72% случаев для азимутов простирания (ΔSTR) и углов скольжения (ΔSLIP). Наибольшие различия, достигающие 55° по ΔSTR, наблюдаются для очагов землетрясений № 1, 3, 13, 14 (таблица), максимальные значения ΔDIP до 38° - в очагах землетрясений № 5, 7 (рисунок 5а), ΔSLIP до 54° в № 2, 3, 14 (рисунок 5б).

В событиях, где различие получено только в значениях азимута простирания плоскостей (№ 1 и № 13), но не наблюдается различия в типах подвижек, решения МО больше соответствуют направленности осей напряжений, характерной для региона в целом. Например, как уже отмечено выше, по данным СМТ - каталога в очаге Жаланаш-Тюпского землетрясения ось напряжений сжатия имеет северо-восточное простирание, в то время как по каталогу МО она имеет характерную для Северного Тянь-Шаня близмеридиальную ориентацию с отклонением к западу от меридиана. Для события № 13, эпицентр которого находится в центральной части хр. Терской Алатау, решение регионального каталога также больше соответствует представлению о поле действующих напряжений. По данным СМТ - каталога плоскости имеют северо-восточную ориентацию, направление оси напряжений сжатия – северо-западную ориентацию с азимутом 310°. В решении МО получено близширотное простирание плоскости разрыва и близмеридиональное простирание оси сжатия.

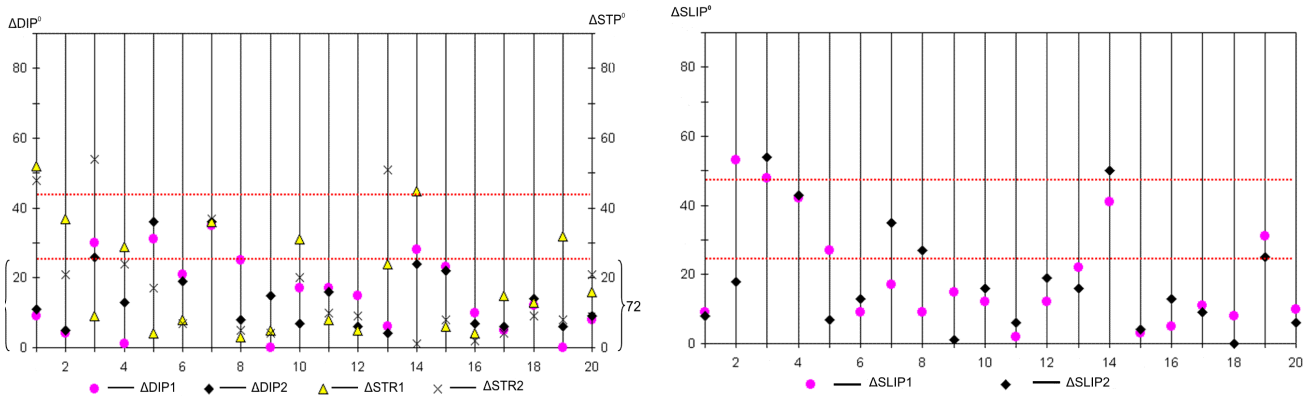
Особо следует остановиться на землетрясениях № 3, 7, 14, механизмы очагов которых различаются не только ориентацией в пространстве плоскостей разрывов и осей напряжений, но и типом дислокаций. Следует отметить, что эпицентры этих землетрясений хорошо окружены сейсмическими станциями, расположенными на расстояниях, позволяющих уверенно определять знаки первых вступлений. Для этих трех событий использовано 60, 114 и 34 знака первых вступлений продольных волн, соответственно, распределение которых позволило получить надежное решение фокального механизма. По сведениям о направлениях первых движений в продольных волнах тип механизма Баканасского землетрясения – сдвиг с незначительной сбросовой компонентой, в очагах землетрясений 17.06.1988 (№ 7) и 12.07.1998 (№ 14) – сбросы. То есть, во всех этих трех случаях по региональным определениям получен аномальный тип дислокаций, противоречащий региональному полю напряжений. В то же время по СМТ - каталогу дислокации в очагах этих землетрясений являются типичными для района.



а – Гарвардсого СМТ - каталога

б – каталога МО

Рисунок 4 .Карта азимутов осей напряжения сжатия по данным



а – плоскостей разрывов (ΔDIP - разница углов падения, ΔSTR - разница значений азимута)

б – подвижек по плоскостям (ΔSLIP1 - по первой плоскости, ΔSLIP2 - по второй плоскости)

Рисунок 5. Разница в определении параметров механизма очагов землетрясений по данным каталогов СМТ и МО: а ; б

Расхождение решений может быть связано со следующими причинами. По первому импульсу в короткопериодных сейсмических волнах реконструируется механизм в начальной стадии разрывообразования в очаге. При СМТ реконструируется механизм главной фазы разрывообразования на основе длиннопериодных колебаний. Эти процессы могут не совпадать. Первичное движение в начале разрыва может отличаться от того типа дислокации, который соответствует основному разрыву. Возможна другая причина. Начальный процесс может вообще не соответствовать модели, положенной в основу определения механизмов по стандартной методике. Например, если причиной начала землетрясения является не движение по плоскости в результате действия пары сил, а прорыв флюидов, приводящий к так называемому гидроразрыву, то вполне вероятной может быть ситуация, когда по стандартной методике механизм очага вообще невозможно определить. Далее, при развитии процесса, могло возникнуть движение вдоль разрыва, которое и зафиксировано в решении СМТ.

Оба землетрясения - № 3 и № 7 на территории Казахстана, - действительно являются аномальными. Баканасское землетрясение с Ms=5.9 аномально по нескольким аспектам [8]. Во-первых, его гипоцентр находится на глубине 40 км, как показала обработка данных в 1979 г. сразу после землетрясения, и подтвердила современная обработки данных в мировых центрах (по международным каталогам глубина этого землетрясения равна 35 км – 40 км. Эта глубина - нижняя часть земной коры. На такой глубине события в Северном Тянь-Шане встречаются крайне редко, абсолютное большинство очагов сосредоточено на глубинах менее 20 км. Во-вторых, землетрясение произошло в районе, где ранее не были зафиксированы другие, даже слабые очаги. В-третьих, несмотря на значительную магнитуду, после главного толчка не было зарегистрировано ни одного афтершока, хотя уже в первые дни после землетрясения в районе эпицентра была развернута полевая сеть высокочувствительных сейсмических станций Комплексной сейсмологической экспедиции Института физики Земли АН СССР. К этому набору аномальных признаков добавляется полученное расхождение решений СМТ и МО, что может свидетельствовать о необычной природе Баканасского землетрясения.

В отношении землетрясения № 7 17.06.1988г. мнение об его аномальности существовало и раньше. В [9] было отмечено, что землетрясение характеризуется необычным для этой эпицентральной зоны типом подвижки (сбросо-сдвиг), а также нехарактерной

ориентацией плоскостей разрыва (близмеридиональной и северо-западной при том, что традиционно встречается плоскость северо-восточного простирания), аномально высокими сброшенными кажущимися напряжениями. В более поздних публикациях [10, 11] дан подробный анализ ситуации в районе Северного Тянь-Шаня в связи с подготовкой Байсорунского землетрясения 1990г. с Ms=6.3. В период 1969 - 1991 гг. были отмечены аномальные изменения параметров среды, а именно, характеристик добротности и структуры поля поглощения поперечных волн, что связывалось с миграцией флюидов в земной коре и верхней мантии, приводящей к концентрации напряжений и гидроразрывам на периферии зоны подготовки будущего сильного землетрясения. Очаг землетрясения № 7 реализовался в среде, насыщенной флюидами, само землетрясение могло быть спровоцировано гидроразрывом. Поэтому вполне вероятно, что начальная фаза землетрясения развивалась не по модели «двойной диполь». Однако, начавшись с гидроразрыва, землетрясение могло далее пойти по пути тектонической подвижки, что и зафиксировано при анализе длиннопериодной составляющей колебаний в решении СМТ. В публикациях, анализирующих процессы, предшествовавшие Байсорунскому землетрясению, делается акцент на активизацию глубокофокусной сейсмичности, предваряющей активизацию более мелких землетрясений. Возможно, что рассмотренное относительно глубокое землетрясение само является элементом в общей модели подготовки сильных землетрясений.

Из результатов сделанного анализа следует, что выявление очагов с несоответствующими друг другу характеристиками по МО и СМТ, может нести дополнительную информацию о наличии в районе таких условий, которые свидетельствуют о возможной подготовке более сильных очагов. Поэтому важно привлекать к анализу данные о механизмах очагов по различным источникам, проводить сопоставление различных параметров механизмов.

Выводы

1. Выполненная работа является первым исследованием, проведенным с использованием гарвардского СМТ – каталога для территории Казахстана и приграничных с ним районов. Оказалось, что картина напряженно-деформированного состояния земной коры по компонентам тензора момента, определенным методом центроида, в целом не отличается от той, которую ранее получили из данных о механизмах очагов по стандартной методике.

2. Выявлены отдельные события, для которых отмечены существенные различия в параметрах, характеризующих напряжения и плоскости разрывов. Особенно важными являются различия в типах дислокаций. По СМТ - каталогу все анализируемые события относятся к сдвигам или сдвигам со взбросовой компонентной. По региональным данным имеется класс землетрясений типа «сброс» и «сбросо-сдвиг».

3. Исключительно интересным фактом является то, что контрастно различающиеся по двум методам определений механизмы очагов, относятся к событиям, которые ранее трактовались как аномальные по совершенно другим, независимым характеристикам. Сделан вывод о возможной связи различий в механизмах с природой самих событий и несоответствием используемой модели реальным процессам в очагах. Следует регулярно анализировать решения СМТ - каталога в целях выявления зон, аномальных по этому признаку.

4. Для наиболее полной характеристики напряженно-деформированного состояния среды необходимо использовать данные обоих методов, как дополняющих друг друга. Так, использование определений механизмов по первым вступлениям, позволяет включать в анализ широкий энергетический диапазон событий, что дает возможность следить не только за общей картиной напряжений регионального поля, но и выявлять локальные зоны неоднородности и следить за их вариациями. Данные СМТ - каталога позволяют реконструировать региональное поле напряжений. События, для которых механизм главной фазы радикально отличается от начальной фазы, являются признаком аномальных физических условий в очагах. Они требуют специального рассмотрения и, возможно, несут информацию о подготовке более сильных событий.

Литература

1. Введенская, А.В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций / А.В. Введенская // М. - 1969.– С. 47 – 66.
2. Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий (в двух томах) / Отв. составители Н.Н. Михайлова, А.А. Власова // Алма-Ата: Наука, 1990.
3. Nakamura, M. Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of P and S waves / M. Nakamura // Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2002. - 130 p.
4. Михайлова, Н.Н. Поле сейсмотектонической деформации и параметры разрывообразования на Северном Тянь-Шане. / Н.Н. Михайлова, А.А. Власова // Изв. АИ Каз ССР, сер. геол., 1991. – № 4. – С. 87 – 92.
5. Михайлова, Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Центрального Казахстана / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК: Геофизика и проблемы нераспространения. - 2003. – Вып. 2. – С. 100 - 105.
6. Михайлова, Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Восточного Казахстана / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК. - 2005. – Вып. 2. – С. 142 – 146.
7. Dziewonski, A.M. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismisity / A.M. Dziewonski ,T.A. Chou , J.H.Woodhouse // J.Geophys.Res. - 1981. – 86. - P. 2825 – 2852.

8. Нурмагамбетов, А. Баканасское землетрясение 25 сентября 1979 г. / А. Нурмагамбетов, А. Сыдыков, А.А. Власова, А.Ф. Краснова // Землетрясения в СССР в 1979 г.- М.: Наука. - 1982. - С. 48 – 53.
9. Михайлова, Н.Н. Землетрясения Северного Тянь-Шаня / Н.Н. Михайлова, Н.П. Неверова, А.Б. Оспанов // Землетрясения в СССР в 1988 г. - М.: Наука. - 1991. – С. 107 – 114.
10. Копничев, Ю.Ф. Геодинамические процессы в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 года (Северный Тянь-Шань) / Ю.Ф. Копничев, Н.Н. Михайлова // Доклады РАН. - 2000. – Т. 373. - С. 93 – 97.
11. Копничев, Ю.Ф. О геодинамических процессах в районе Центрального Тянь-Шаня: выделение аномальной области по сейсмическим данным / Ю.Ф. Копничев, Н.Н. Михайлова Н.Н, И.Н. Соколова И.Н. // Вестник НЯЦ РК. - 2004. Вып. 3 - С. 111 – 118.

ГЛОБАЛЬ СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ЦЕНТРОИД МЕЗЕТІНІҢ ТЕНЗОРЫН ШЕШУІМЕН ОРТАЛЫҚ АЗИЯДАҒЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕР ОШАҚТАРЫНЫҢ МЕХАНИЗМДЕРІН АЙМАҚТЫҚ АНЫҚТАУЫН САЛЫСТЫРУ

[1)]Михайлова Н.Н., [2)]Полешко Н.Н.

[1)]Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан
[2)]Государственное учреждение «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция», Алматы, Казахстан

1987-2004 жылдарына ҚР БҒМ СТӘЭ каталогына және CMT - Гарвард каталогына енген магнитудасы Ms≥4.5 20 жерсілкінулер үшін екі әр түрлі сейсмикалық әдістерін пайдалануымен тектоникалық кернеулер өрісін қайта құруы жасалған. Центроид мезетінің тензоры параметрлірі бойынша жер қыртысының кернеу-деформациялық күйінің көрінісі ескі әдістеме бойынша ошақ механизмдері туралы деректерінен алынған көрінісінен бүтінінде ерекшеленбейді. Бірақта кейбір оқиғалар үшін кернеу мен айырылым жазықтығын сипаттайтын параметрлерінде едәуір ерекшеліктері және дислокация түрлерінде ерекшеліктері айқындалған. Айқындалған ерекшеліктер оқиғалардын табиғатына да және пайдаланатын ошақ модельдері нақты процесстеріне сай келмейтіне де байданысты болу мүмкіндігі туралы тұжырым жасалған. Ортаның кернеу-деформациялық күйін толық сипаттау үшін бір бірін толықтыратын екі әдістерін де пайдалануына ұсыныс жасалған.

COMPARISON OF REGIONAL DERETMINATIONS OF EARTHQUAKES FOCAL MECHANISMS OF CENTRAL ASIA WITH CENTROID MOMENT TENSOR SOLUTIONS USING DATA OF GLOBAL SEISMIC NETWORKS

[1)] N.N. Mikhailova, [2)] N.N. Poleshko

[1)] Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan
[2)] Seismologic Experimental-Methodical expedition MES RK, Almaty, Kazakhstan

The task of the present work was a comparison of results obtained under reconstruction of tectonic stress field on the basis of two different seismic methods applied to the same large earthquakes. 20 earthquakes with Ms≥4.5 included in focal mechanisms catalogue of Seismological Experiences-Methodical Expedition of MES RK and CMT-catalogue of Harvard were chosen for the analysis. Time period: 1978 - 2004. As a result, the pattern of stress-strain state of earth structure according to parameters of centroid moment tensor is almost the same to those that was obtained earlier from data of focal mechanisms using standard methods.

However, there are some events that have inherent difference in parameters characterizing stresses and rupture planes. The most important are differences in dislocation types. According to CMT catalogue all analyzed events are related to shear faults or shear-thrust faults. According to regional data there are earthquakes of “normal fault” and “transtensional fault” types.

Focal mechanisms that differ much on two methods of definitions are related to the events that were earlier considered as abnormal according to other independent characteristics. Conclusion about possible connection of variations in mechanisms with nature of events and misfit of model used to actual processes in focal was derived.

For more complete characteristic of medium stress-strain state it is necessary to use data of both methods as supplemental to each other.

УДК 550.34

СЕЙСМИЧНОСТЬ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

[1)]Маловичко А.А., [1)]Старовойт О.Е., [1)]Габсатарова И.П., [1)]Мехрюшев Д.Ю., [2)]Погода Э.В.

[1)]Геофизическая служба РАН, Обнинск, Россия
[2)]Северо-Осетинский филиал ГС РАН, Владикавказ, Россия

Обсуждается расширенные возможности инструментальных наблюдений Геофизической службы РАН на Северном Кавказе Российской Федерации. Приводятся первые результаты повышения чувствительности сети мониторинга, благодаря вводу новой локальной сети цифровых сейсмических станций на территории Республики Северной Осетии – Алании.

Северный Кавказ – наиболее сейсмоактивный регион европейской части России. Большая его часть относится к Альпийско-Гималайскому коллизионному поясу, расположенному между Арабской и Евроазиатской плитами. Территория региона имеет важнейшее народнохозяйственное значение, так как включает крупные индустриальные центры, зоны высокоурожайного земледелия, многочисленные курортные зоны и природные парки. Однако по оценкам сейсмической опасности согласно картам Общего сейсмического районирования ОСР-97 значительная часть региона относится к 8- и 9-балльным зонам, что повышает ответственность Геофизической службы РАН, проводящей здесь сейсмический мониторинг. Более 15 лет наблюдения в этом регионе строятся путем развития локальных сетей и сейсмических центров, расположенных в центральной (Кавминводской) и восточной (Дагестанской) зонах региона, а также отдельных станций в западной части. С 2002 г. Геофизическая служба РАН приступила к созданию нового локального центра в Северной Осетии - Алании, создав к настоящему времени современную сеть цифровых сейсмических станций, которая расширила возможности сейсмического мониторинга в южной и восточной высокосейсмичных зонах региона (рисунок 1).

Территория Северного Кавказа России охватывает несколько крупных тектонических элементов (рисунок 2): северный склон мегантиклинория Большого Кавказа, сопряженные с ним альпийские прогибы – Индоло - Кубанский на западе и Терско-Каспийский - на востоке, а также южную часть Предкавказской (Скифской) плиты – Ставропольское поднятие и Минераловодский выступ. Сейсмическая активность региона в основном связана с зонами сочленения этих крупных структурных элементов, к которым приурочены наиболее заметные глубинные разломы. Особенно это заметно на распределении эпицентров землетрясений с магнитудой 5 и более (рисунок 2).

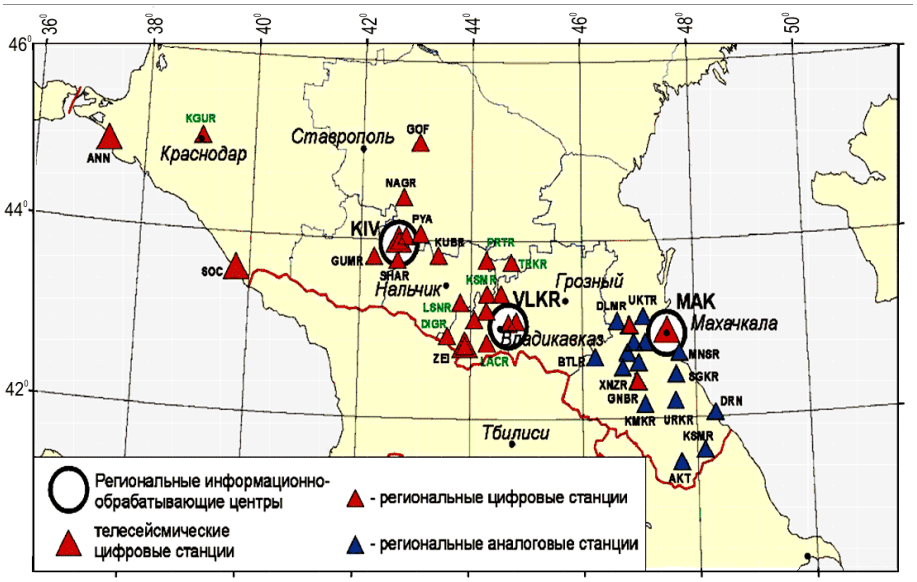
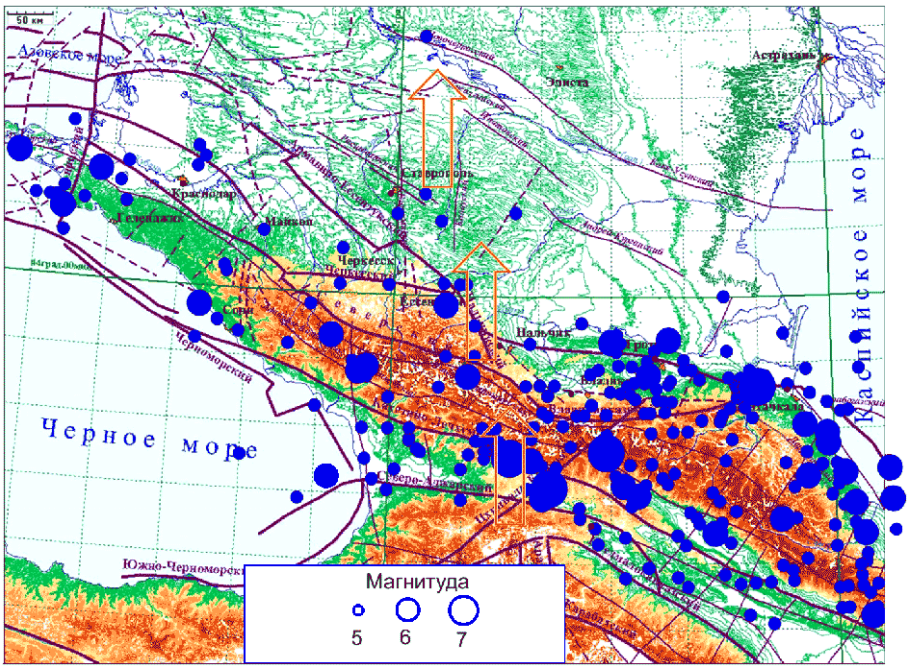


Рисунок 1. Сейсмическая сеть ГС РАН в регионе Северного Кавказа



Красные стрелки – направление «Транскавказского поперечника»

Рисунок 2. Сильнейшие землетрясения Северного Кавказа с древнейших времен по настоящее время на фоне сейсмоактивных глубинных разломом (Рогожин, 1999)

Наблюдения последних 10 лет показывают, что проявления наибольшей сейсмической активности на Северном Кавказе связаны с глубинными разломами не только общекавказской, но и поперечной направленности относительно основных структур Кавказского простирания. На западе выделяется Анапская зона с проявлением сейсмичности, связанной с поперечным Анапским разломом. Здесь в 9 ноября 2002 г. произошло шестибальное землетрясение [4], в этой же зоне произошло и Анапское землетрясение 1966 г. с магнитудой Ms=5.3. Западной и центральной частям региона свойственно проявление роев слабых землетрясений, ощущаемых до 4 - 5 баллов в районе курортов Большого Сочи и Кавказских Минеральных Вод.

Очаги сильнейших землетрясений региона, как правило, имеют относительно неглубокое залегание, большие размеры, вызывают значительные нарушения на земной поверхности и инициируют мощные сейсмогравитационные явления – обвалы и оползни [1]. В последние годы, кроме землетрясений с коровыми глубинами, на Северном Кавказе отмечаются землетрясения с очагами в верхней мантии – в Сунженской впадине Терско-Каспийского прогиба и в Каспийском море. Самое заметное, с магнитудой (mb = 4), землетрясение из этого района было зарегистрировано 30 января 2002 г. в центральной части Чечни. Глубина очага по данным региональной сети станций определена в 130 км, а на телесейсмических расстояниях вплоть до 72 градусов на записях высокочувствительных микрогрупп ОДВЗЯИ – IDC (Вена) были выделены глубинные фазы sP, соответствующие глубине 96 км.

Сейсмические наблюдения на Северном Кавказе Российской Федерации проводились совместно с общекавказскими наблюдениями. Сеть сейсмических наблюдений на Кавказе начала формироваться в конце XIX века с момента открытия сейсмической станции Тбилиси в 1899 г. Первая сейсмическая станция «Пятигорск» на Северном Кавказе была открыта в 1909 г. К концу 40-х годов прошлого столетия на территории Кавказа уже была сформирована сеть сейсмических станций. Эта сеть получила развитие и оснащение высокочувствительными короткопериодными сейсмометрами, начиная с 60-х годов прошлого века. К началу 90-х годов она состояла из 100 стационарных сейсмических станций, расположенных на территории Армении, Азербайджана, Грузии и России. Между этими региональными сетями существовал широкий обмен информацией.

Непосредственно на Северном Кавказе к концу 90 годов наблюдения проводились 21-ой стационарной станцией и 12 телеметрическими пунктами наблюдений в районе Кавказских Минеральных Вод. Однако экономические и политические трудности в связи с распадом СССР, а, следом и распадом единой сети сейсмических наблюдений, привел к ее существенному сокращению, в том числе, и на Северном Кавказе.

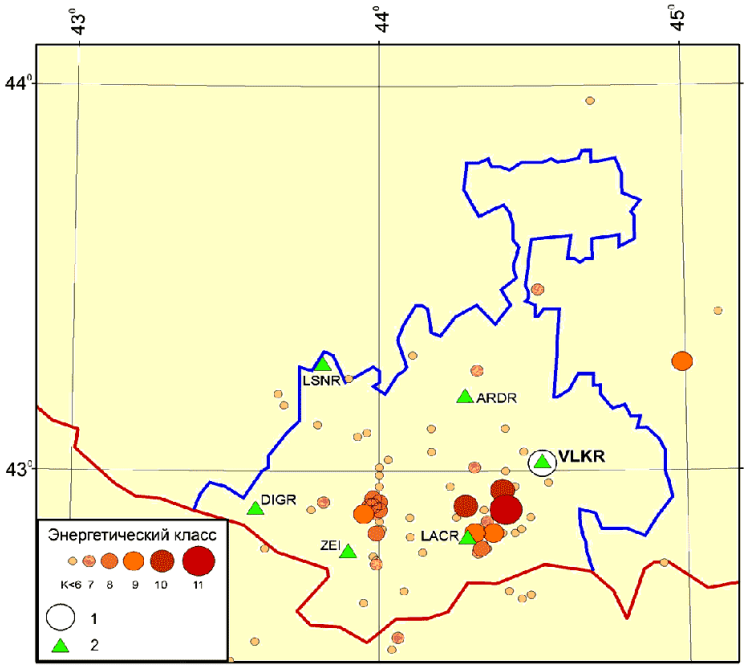
В настоящее время сейсмическая сеть Северного Кавказа вновь развивается и насчитывает порядка 40 сейсмических станций, 2/3 из которых оснащены цифровым оборудованием отечественного производства SDAS (рисунок 1). Большая часть станций имеет короткопериодные сейсмографы СМ3-КВ, на станциях «Анапа», «Сочи», «Кисловодск» («Ай-

рис»), «Владикавказ» и «Махачкала» установлены широкополосные сейсмометры. Для современного состояния характерно развитие отдельных локальных сетей в районах Кавказских Минеральных Вод, Северной Осетии - Алании и Дагестана. Это позволяет более детально исследовать наиболее сейсмичные и опасные зоны региона. Особенно важна сеть Северо-Осетинского филиала ГС РАН, которая к настоящему времени насчитывает 12 станций, равномерно распределенных по всей территории республики. В тектоническом отношении территория Северной Осетии-Алании расположена между сближающимися к югу разломами - трансконтинентальным сверхглубинным разломом на западе и Казбекско-Джавским коровым разломом на востоке, разломом Главного надвига (и серией других, параллельных ему разломов) на юге и Терским разломом на севере, а также крестообразно рассеченными почти по середине субмеридиональным Ардонским разломом и субширотным Северо-Кавказским подкоровым разломом. Все эти разломы являются сейсмически активными и определяют высокий потенциал сейсмической опасности Северного Кавказа [5 - 7].

С 2004 года информационно-обрабатывающий центр Северо-Осетинского филиала приступил к выпуску Сейсмологических бюллетеней для территории Северной Осетии – Алании (РСО-А) и сопредельных районов. Уже в октябре 2004 г. были зарегистрированы два очага слабой сейсмичности (магнитуда сильнейшего не превышала 4), один из которых произошел в зоне Северо-Кавказского подкорового разлома, а другой – в зоне корового Ардонского разлома (рисунок 3).

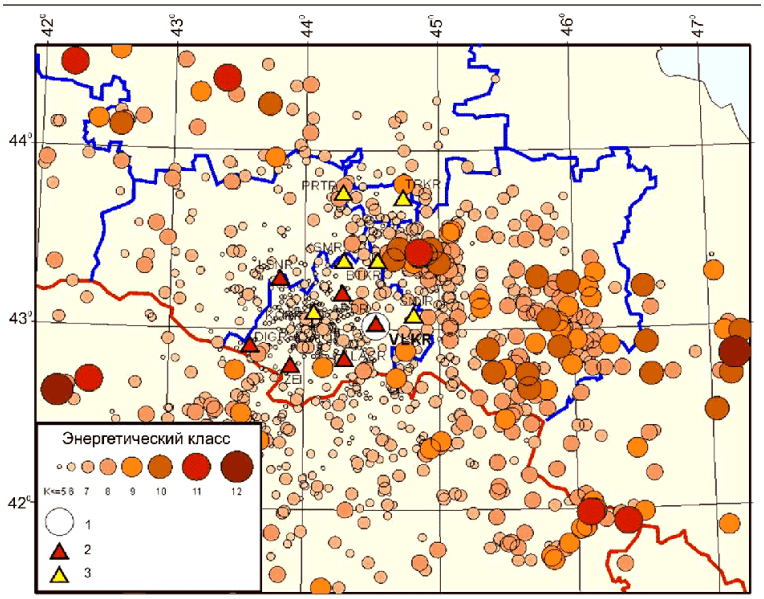
В этих двух очагах за октябрь-декабрь 2004 г. было зарегистрировано более 60 землетрясений, 2/3 которых имели энергетический класс К<=6. Ранее в этой зоне не наблюдались столь представительные афтершоковые проявления из-за недостаточной чувствительности сети.

В 2005 г. значительная часть зарегистрированных землетрясений с энергетическим классом Кр = 8 и более приурочена к разломам или находится вблизи них [8]. В центральной зоне территории РСО-А распределение слабых землетрясений с К ≤7 большей частью имеют рассеянный характер. Согласно «Карты глубинной тектоники юга Европейской части СССР» [6] здесь сходятся несколько разломов различного направления и, возможно, именно этим объясняется сосредоточенность множества слабых землетрясений. Наиболее значительное проявление сейсмичности 2005 г., которое имело место на западе Сунженского поднятия, начавшееся 7 января в 15h 10m с Кр = 11.1, приурочивается к разлому субмеридионального направления, не выделяемому на многих известных тектонических схемах. Это землетрясение произошло вблизи северо-восточной приграничной зоны с Ингушетией. Всего здесь зарегистрировано 119 землетрясений, из них 11 землетрясений с К<9, половина толчков имела Кр = 6 и менее. Процесс в этом очаге продолжался всю первую половину 2005 г. (рисунок 4).



1 - региональный информационно- обрабатывающий центр; 2 – региональная цифровая станция

Рисунок 3. Региональная сейсмичность территории Северной Осетии-Алании в октябре 2004 г.



1 - региональный информационно- обрабатывающий центр;
2 – региональная цифровая станция; 3 - региональная цифровая станция, открытая в 2005 г.

Рисунок 4. Сейсмичность центральной и восточной частей Северного Кавказа в 2005 г. по данным Северо-Осетинского филиала ГС РАН

За первую половину 2006 г. зарегистрировано более 700 землетрясений с магнитудой M = 0.6 – 5. Значительная их часть связана с афтершоковым процессом сильного и ощутимого землетрясения, произошедшего 6 февраля 2006 г (04h 08m по Гринвичу) на территории Грузии, в очаговой зоне одного из наиболее значительных землетрясений прошлого века на Кавказе – Рачинского, 29 апреля 1991 г. с M>=6.9, относящегося к наисильнейшим на Кавказе за последние 15 лет. Полученные данные позволят детально исследовать развитие афтершокового процесса в этой зоне. Одновременно они показывают, что чувствительность сети сейсмических станций для северных районов Грузии возросла до магнитуды 1, о чем свидетельствует график повторяемости событий в этой очаговой зоне.

Таким образом, благодаря развитию сети сейсмического мониторинга в Северной – Осетии Алании, ГС РАН получила возможность более детально исследовать очаги центральной части Северного Кавказа и более точно локализовать эпицентры землетрясений в соседних с Северной - Осетией Аланией территориях: Кабардино – Балкарской, Чеченской и Дагестанской Республик. Ближайшие перспективы развития этой локальной сети связаны с решением коммуникационных задач для обеспечения передачи данных в информационно-обрабатывающий центр и получения параметров землетрясений в режиме, близком к реальному времени, а также с освоением комплексных геофизических наблюдений.

Литература

1. Рогожин, Е.А. Современная геодинамика и потенциальные очаги землетрясений Кавказского региона / Е.А. Рогожин // Современные математические и геологические модели природной среды: Сб. науч. тр. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 244 – 254.
2. Фабрициус, В.З. Верхнее – Янкульское землетрясение 19 октября 1999 года с MS = 4.4, I0= 6-7 (Северный Кавказ) / Землетрясения Северной Евразии в 1999 году / В.З. Фабрициус [и др.] // Обнинск, ФОП, 2005. – С. 311 – 322.
3. Tatevossian, R.E. Macroseismic survey of Salsk (Russian platform) earthquake of 22 May 2001 / R.E. Tatevossian, S.S. Arefiev, K.G.Pletnev // Joint Institute of the Earth, RAS Russian Journal of Earth Sciences. Vol.4, April 2002. – P. 163 – 169.
4. Татевосян, Р.Э. Нижнекубанское землетрясение 9 ноября 2002 г: результаты его обследования. / Р.Э.Татевосян [и др.] // Физика Земли, 2003. – № 11 – С. 42 – 53.
5. О состоянии окружающей природной среды и деятельности Госкомприроды Республики Северная Осетия в 1993 г. / Государственный доклад. - Владикавказ, 1994. – Фонды ГЦЭД.
6. Карта глубинной тектоники юга Европейской части СССР и сопредельных стран. М 1: 1 000 000 / В.А. Мельников [и др.] / Под ред. Зембатова С.С, Кобленца Э.Л. и Цогоева В. Б. // Л.: ВСЕГЕИ, 1975.
7. Создание автоматизированного экспериментального участка ФССН комплексных геофизических наблюдений на территории Республики Северная Осетия - Алания» / Отчет. –Владикавказ: Фонды ЩЭД, 1998.
8. Раутиан, Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км. / Т.Г. Раутиан Экспериментальная сейсмика. Тр. ИФЗ АН СССР; № 32(199) // М.: Наука, 1964. – С. 88 – 93.

СОЛТҮСТІК ҚАВКАЗДЫҢ СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫ: ЗЕРТТЕУІНІҢ ЖАҢА МҮМКІНШІЛІКТЕРІ

[1)]Маловичко А.А., [1)]Старовойт О.Е., [1)]Габсатарова И.П., [1)]Мехрюшев Д.Ю., 2)Погода Э.В.

[1)]РҒА Геофизика қызметі, Обнинск, Ресей
[2)]РҒА ҒҚ Солтүстік-Осетия филиалы, Владикавказ, Ресей

Ресей Федерациясындағы Солтүстік Кавказда РҒА Геофизикалық қызметінің инструменталды бақылауларын кеңіту мүмкіншіліктері талқылануда. Солтустік Осетия-Алания Республикасының аумағында цифрлық сейсмикалық станцияларының оқшауланған желісін іске қосу арқасында мониторинг желісінің сезгіштігі жоғарлауының бірінші нәтижелері келтірілген.

SEISMICITY OF NORTHERN CAUCASUS: NEW POSSIBILITIES FOR INVESTIGATION

[1)] A.A. Malovichko, [1)] O.E. Starovoit, [1)] I.P. Gabsatarova, [1)] D.Yu. Mekhryushev, [2)] E.V. Pogoda

[1)]Geophysical Survey RAS, Obninsk, Russia
[2)]Northern Osetiya Department of Geophysical Survey RAS, Vladikavkaz, Russia

The paper presents the information about expansion of opportunities of the Northern Caucasus seismic network of GS RAS and the first results of increase of network sensitivity, owing to input of the new local network of digital seismic stations in Republic Northern Osetia territory.

УДК 550.34

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЯНЬ-ШАНЯ ПО ДАННЫМ АНАЛОГОВОЙ СЕТИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ IMS И NDC

Кальметьева З.А., Чеховская Р.А.

Опытно-методическая сейсмологическая экспедиция Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек , Кыргызстан

Приведены результаты совместного рассмотрения временного анализа сейсмичности и данных о механизмах очагов землетрясений по материалам наблюдений аналоговой сети сейсмических наблюдений в Кыргызстане. Делается вывод о существовании периодических колебаний латерального сжатия на Тянь-Шане и различии особенностей землетрясений, происходящих в разные фазы этих колебаний. Материалы цифровых станций, в том числе станции Международной системы мониторинга AS060-Ала-Арча, использовались для продолжения исследования особенностей записей землетрясений, происходящих при усилении и ослаблении горизонтального сжатия на Тянь-Шане.

Территория Кыргызстана располагается в пределах горной системы Тянь-Шань. Ее относят к Альпийско-Гиммалайской коллизионной зоне, которая по уровню сейсмической активности находится в одном ряду с активными окраинами Тихоокеанского региона. Уровень сейсмической активности наглядно показывает рисунок 1, на котором приведены эпицентры сильных землетрясений с M≥5.5, произошедших в течение последних примерно 150 лет.

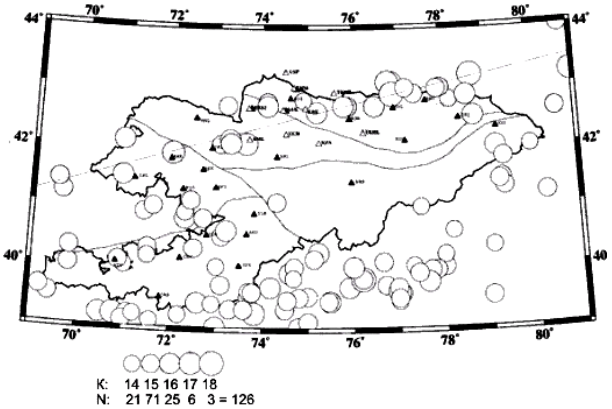


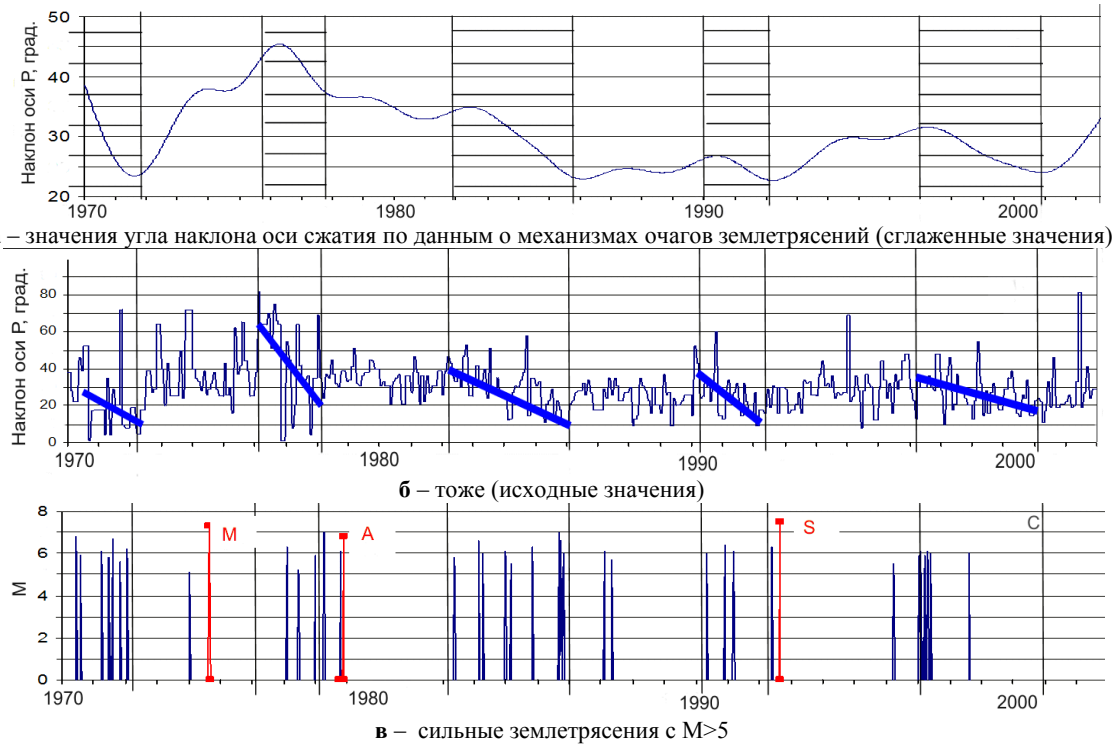
Рисунок 1. Регион Тянь-Шаня. Карта эпицентров землетрясений с M≥5.6 за 150 лет

Несмотря на значительные успехи в исследованиях, до полного решения проблемы сейсмичности Тянь-Шаня далеко [1, 4, 5]. О неполноте знаний можно судить, например, по таким фактам как возникновение сильных землетрясений в «неожиданных» местах – Газлийское и Суусамырское землетрясения с M>7. По этой причине задача сейсмического мониторинга всегда была и остается актуальной для региона Тянь-Шаня.

Первые сейсмические станции на территории Кыргызстана созданы в конце 1920-х годов, но планомерное расширение сети сейсмических наблюдений относится к концу 1960-х годов. В середине 1980-х годов плотность сети достигла своего максимума – было установлено 34 аналоговых станции, оснащенных высокочастотными и длиннопериодными сейсмографами Кирноса со стандартизированными характеристиками. С распадом СССР из-за материальных трудностей количество станций сократилось до 26 (рисунок 1, залитые треугольники). Результаты наблюдений, выполненных этой сетью, и явились исходными данными для раскрытия основных закономерностей сейсмичности Тянь-Шаня, известных на сегодня. Каталог землетрясений на территории Кыргызстана содержит исторические сведения о сильнейших сейсмических событиях с M≥6.5, начиная с 1770 г. (отдельные события - с 500 г.). Инструментальные данные в каталоге приведены с 1929 г. и содержат без пропуска данные о более слабых событиях с M ≥ 4.5. С 1970 г. для всей территории Кыргызстана стало возможно не только определять эпицентры еще более слабых событий с M ≥ 3, но и начать систематическое определение механизмов очагов землетрясений.

На рисунке 2 приведены результаты совместного анализа данных об эпицентрии и о механизмах очагов. Выбран отрезок времени, за который информация о механизмах очагов была наиболее представительной для событий с M>3. Из параметров механизмов для рассмотрения взят угол наклона оси сжатия P, так как он определяет тип подвижки в очаге.

Установлено, что при значениях угла P в диапазоне 0 - 20° происходят сдвиговые (ось растяжения тоже имеет близгоризонтальное положение), либо надвиговые (ось растяжения занимает близвертикальное положение) подвижки. При более значительном отклонении оси сжатия от горизонтального положения могут происходить сбросы либо сбросовзбросы. Периодограммный анализ построенного ряда показал, что в нем присутствуют колебания с периодами 15, 6 лет и 2 - 3 года. Оказалось, что сильные землетрясения с M≥5 происходят в основном в те отрезки времени, когда нарастают горизонтальные сжимающие напряжения (положение оси сжатия приближается к горизонтальному).



а – значения угла наклона оси сжатия по данным о механизмах очагов землетрясений (сглаженные значения)

б – тоже (исходные значения)

в – сильные землетрясения с M>5

Рисунок 2. Временные ряды по землетрясениям, начиная с 1970 г.

Сейсмический уровень повышается, что проявляется в виде большого количества землетрясений умеренной силы с M=5 - 6. Естественно, что при такой направленности сжимающих усилий в очагах этих землетрясений происходят в основном надвиговые или сдвиговые подвижки, что хорошо подтверждает точку зрения о коллизионной природе развития Тянь-Шаня. На рисунке 2а такие отрезки времени выделены более густой штриховкой. Когда горизонтальное сжатие ослабевает (ось сжатия начинает отклоняться от горизонтального положения), сильные землетрясения либо вообще не происходят, либо происходят с магнитудой M≥6.5. На рисунке 2в буквами отмечены три землетрясения с M>7: M – Маркансуйское, A – Алайское и S – Суусамырское. Такие землетрясения обычно имеют ярко выраженные прогностические признаки и сопровождаются непомерно большим количеством афтершоков. Подвижки в их очагах зачастую взбросо-сбросового типа либо эти события предваряются и сопровождаются большим количеством сбросовых подвижек. Иногда записи афтершоков наложены на длинноволновый импульс [2, 3, 6]. Основной вывод, который сделан из анализа временных рядов, состоит в том, что латеральное сжатие на Тянь-Шане испытывает периодические флуктуации, и землетрясения, происходящие в разные фазы колебания напряженного состояния, имеют отличительные признаки.

В 1990 г. на территории Кыргызстана, в штольне геофизической обсерватории Ала-Арча, в 30 км от столицы Кыргызстана Бишкек, установлена первая цифровая станция. Станция вошла в состав глобальной сети GSN, а с 1996 г. становится одной из станций вспомогательных сети Международной системы мониторинга (IMS, International Monitoring System) – AS060. В 2002 - 2003 г. Технический совет Подготовительной комиссии Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (СТВТО) осуществил реорганизацию станции, создал на базе ОМСЭ (Опытно-методической сейсмологической экспедиции) Национальный центр данных (NDC-N093) и установил спутниковую связь между станцией AS060 и Международным центром данных (IDC, International Data Centre) в Вене, а также между станцией AS060 и NDC-N093 в Бишкеке. С 1991 г. по соглашению с IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) в Кыргызстане начинает работать KNET – сеть цифровых широкополосных сейсмических станций с телеметрической передачей данных в режиме реального времени в ОМСЭ в Бишкеке. Это дало возможность продолжить исследования особенностей землетрясений, происходящих в разные фазы колебания напряженного состояния, на Тянь-Шане. Чтобы убедиться, что появление на сейсмограммах длинноволновых импульсов не связано с «клевками» СКД-сейсмографа на станции Бишкек, обусловленными конструкцией вертикальной составляющей и «старением» пружины, поддерживающей маятник, были рассмотрены записи цифровых станций KNET на фильтрах 1.0 - 5.0 BP, 1 LP и 0.01 - 0.1 BP. Оказалось, что на сейсмограммах станций KNET, оснащенных сенсорами другой конструкции (STS-1), также можно встретить подобные длинноволновые импульсы. При этом, длинноволновый импульс наблюдается не на всех станциях, а лишь на тех, где запись на высокочастотном канале имела ярко выраженный импульсный характер (рисунок 3).

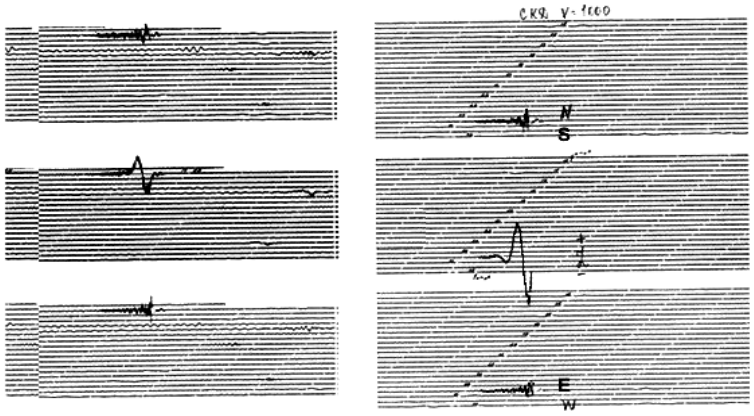


Рисунок 3. Примеры записей афтершоков Суусамырского землетрясения 1992 г., наложенных на длинноволновый импульс. Длиннопериодный сейсмограф Кирноса СКД. Сейсмическая станция Бишкек

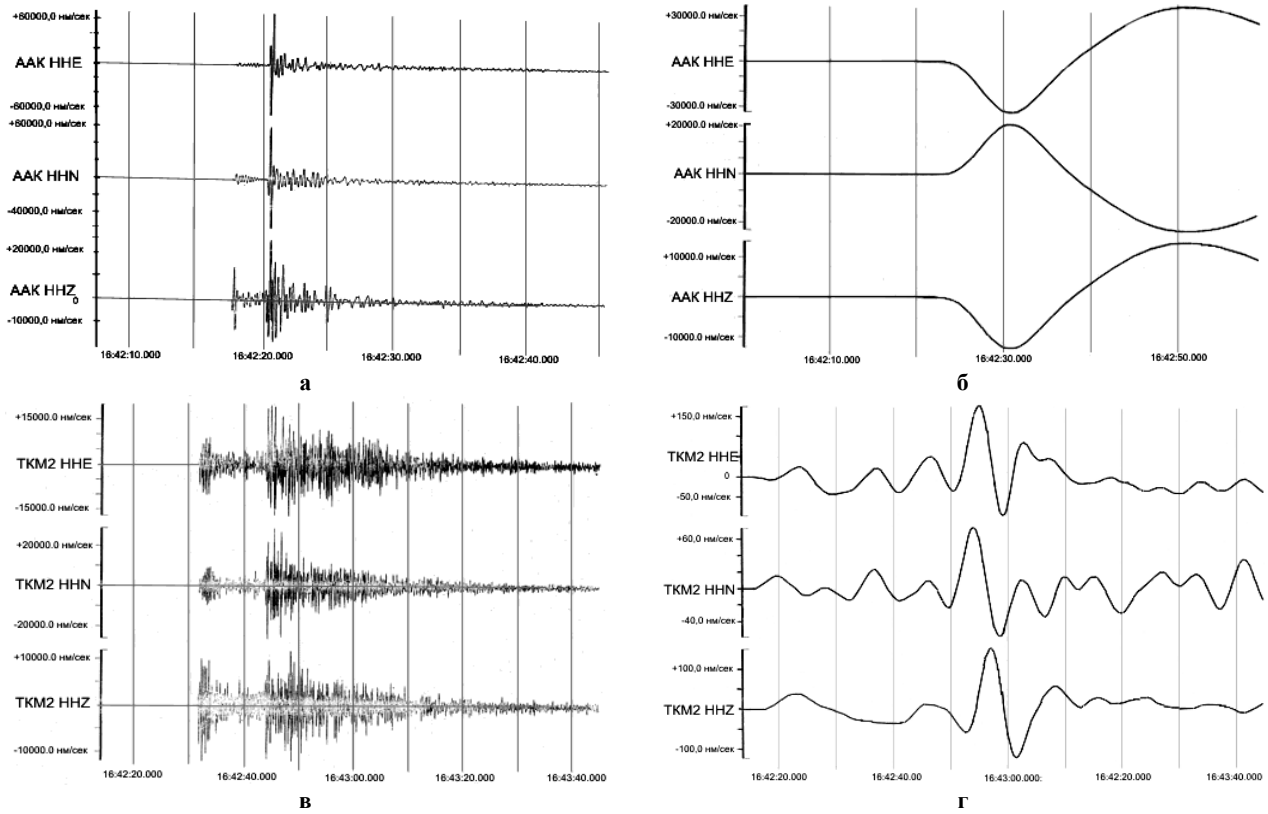


Рисунок 4. Записи землетрясения 6 октября 2003 г. на высокочастотном (а, в) и низкочастотном (б, г) фильтрах, сделанные станциями сети KNET – Ала-Арча (а, б) и Токмак (в, г)

На записях цифровых станций эффект виден более отчетливо, так как использование разных фильтров дает возможность видеть запись в разных частотных диапазонах (рисунок 4).

В отличие от записей, сделанных с использованием приборов СКД (рисунок 3), на станциях KNET (рисунок 4) длинноволновый импульс примерно с одинаковой амплитудой записывался на всех трех составляющих, а не только на вертикальной компоненте. Для разных землетрясений длинноволновый импульс наблюдался на записях разных станций. Рассмотрение механизмов очагов этих землетрясений показало, что длинноволновый импульс появляется на тех станциях, которые оказываются расположенными в том же азимуте, в котором происходила подвижка в очаге.

Анализ сейсмограмм цифровых станций позволил увидеть еще одно различие в записях землетрясений, происходящих в разных напряженных условиях. На рисунке 5 приведены примеры записей двух землетрясений, координаты эпицентров которых практически совпадают. Оба землетрясения имеют одинаковый энергетический класс. Различие между ними состоит в том, что одно из них про-

изошло в 1999 г., когда горизонтальное сжатие на Тянь-Шане усиливалось, а другое – в 2002 г., когда ось сжимающих напряжений начала отклоняться от горизонтального положения (рисунок 2).

Сравнение записей этих двух землетрясений показывает, что они отличаются по частотному составу. Запись землетрясения, произошедшего при нарастании горизонтального сжатия (рисунок 5 а, б), характеризуется более высокочастотными колебаниями.

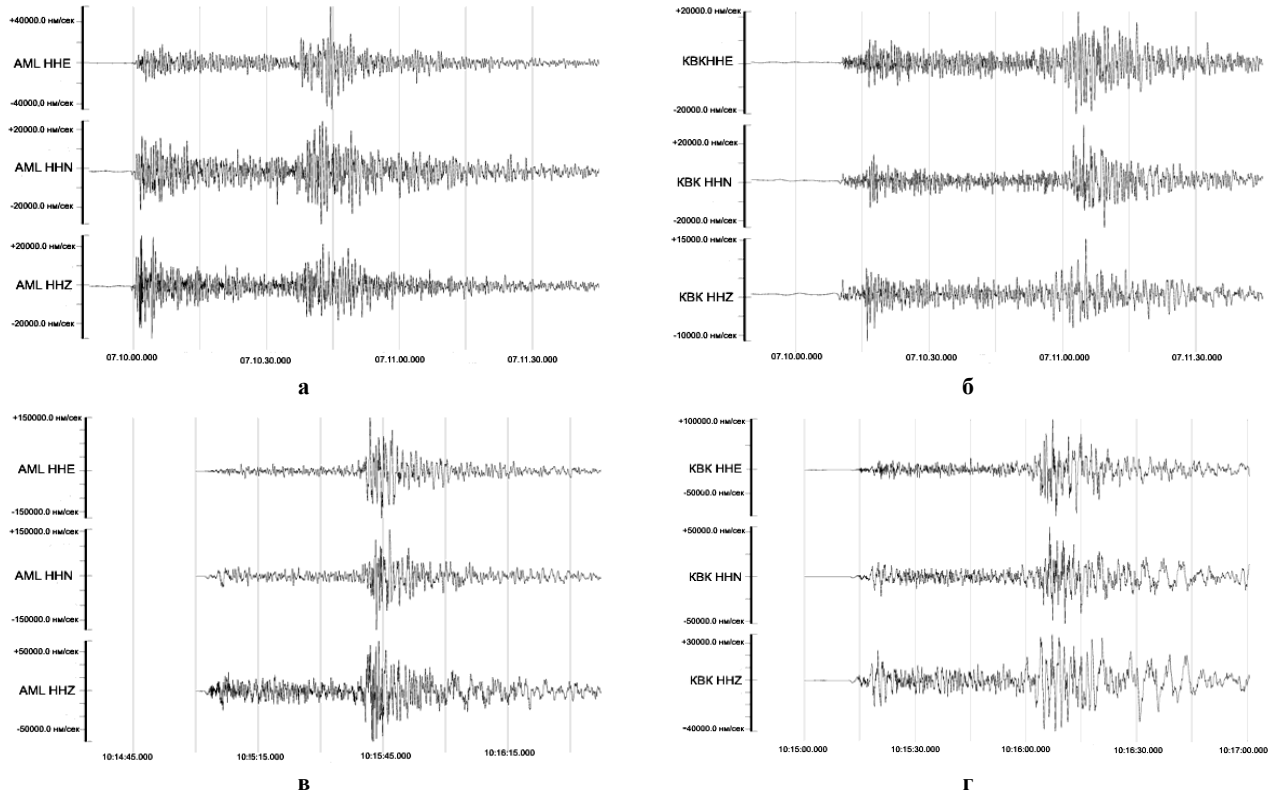
В заключение необходимо отметить следующее.

Использование NDC в предоставлении информации со станций, входящих в IMS, значительно расширяет возможности сейсмологов Кыргызстана в проведении исследований на качественно новом уровне, соответствующем современному состоянию сейсмологических исследований.

Представленные результаты имеют значение как в проблеме изучения процессов в очагах землетрясений, так и в проблеме распознавания ядерных взрывов.

Типизация землетрясений по характеру записей дает возможность выявления критериев распознавания записей ядерных взрывов.

Следует отметить также большую положительную роль СТВТО в предоставлении возможности использования данных IMS, IDC и NDC в гражданских исследованиях в мировом сообществе и, в частности, в нашем государстве, возможности которого в развитии национальных цифровых сетей сейсмических наблюдений ограничены.



Землетрясения : 18 января 1999 г. (07-17-50), φ = 39°29′сев.ш., λ = 73°37′вост.д., Н =10 км, К = 11.6, М = 4.7 (записи а, б);
30 мая 2002 г. (18-15-00), φ = 39°31′ сев.ш., λ = 73°31′ вост.д., Н = 13 км, К = 12.3, М = 4.7 (записи в, г)

Рисунок 5. Записи двух землетрясений станциями KNET – Алмалыашу (а, в) и Карагайбулак (б, г)

Литература

1. Кальметьева, З.А. Сейсмичность: пространственно-временное распределение, механизмы очагов и природа землетрясений. В кн. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия) / З.А. Кальметьева (Отв. редактор - В.И.Макаров) // М.: Научный мир, 2005. – С. 135 – 156.
2. Кальметьева, З.А. Длиннопериодные импульсы на записях землетрясений Северного Тянь-Шаня / З.А. Кальметьева, Е.Т. Вольхина // Материалы третьего Международного Симпозиума “Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов в XXI веке», 2005. – С. 73 – 74.
3. Кальметьева, З.А. О возможности мониторинга поля напряжений Кыргызского Тянь-Шаня по данным сейсмологии и гидрогеохимии / З.А. Кальметьева [и др.] // Тезисы Второго Казахско-Японского Семинара (на англ. и русск.), 2002 г.
4. Карта сейсмического районирования Кыргызской Республики / Бишкек: Илим, 1996. – С. 96.
5. Сейсмическое районирование территории СССР / М.: Наука, 1980. – С. 78.
6. Kalmetieva, Z.A. Features of earthquakes in different phases of periodically varying stress field of the Tien-Shan / Z.A. Kalmetieva // Thesis of the XXIX Assembly of the ESC, September 12-17, Potsdam, Germany, 2004. – P. 133.

АНАЛОГТЫҚ ЖЕЛІНІҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ТЯНЬ-ШАНЬНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГІ ЖӘНЕ IMS ПЕН NDC ДЕРЕКТЕРІН ПАЙДАЛАНУ МУМКІНДІКТЕРІ

Кальметьева З.А., Чеховская Р.А.

Қырғыз Республикасы Ұлттық ғылыми академиясының
Тәжрибелі-әдістемелік сейсмологиялық экспедициясы, Бишкек

Қырғыстандағы станциялар желінің аналогтық бақылаулар материалдары бойынша сейсмикалылығы мен жерсілкінулер ошақтарының механизмдері туралы деректерін бірлестіріп уақыттық талдауының нәтижелері келтірілген. Тянь-Шаньда латераль қысымының периодты тербелістері және сол тербелістердің әр фазаларында болатын жерсілкінулер ерекшеліктерінің айрмашылығы бар туралы қорытынды жасалады. Цифрлық станцияларының, соның ішінде Мониторингтің халықаралық жүйесінің AS060-Ала-Арча станциясының материалдары, Тянь-Шаньда горизонталь қысымы күшею және әлсіреуінде болатын жерсілкінулердің жазбаларының ерекшкліктерін зерттуін жалғастыруында қолданылған.

SEISMIC MONITORING OF TIEN-SHAN BY ANALOG NETWORK DATA AND POSSIBILITY OF IMS AND NDC DATA USING

Z.A.Kalmetieva, R.A.Chekhovskaya

Seismologic Experimental-Methodical expedition of the Institute of Seismology,
National Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyzstan

This paper gives the examples of combined time analysis of seismicity and focal mechanism data of earthquakes by the analog network observation records in Kyrgyzstan. There is a conclusion about the existence of periodic vibrations of lateral compression in Tien-Shan and the differences in the earthquake features occurred in the different phases of these vibrations. Digital station data including IMS station, AS060-Ala-Archa, were used during the examining of earthquake records features happened at strengthening and reduction of horizontal compression in Tien-Shan.

УДК 550.34:621.039.9

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЮГА КУЗБАССА

[1)]Еманов А.А., [2)]Еманов А.Ф., [2)]Кузнецов К.Г., [2)]Лескова Е.В., [3)]Новиков И.С., [3)]Сычёв И.В., [3)]Фатеев А.В.

[1)]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия
[2)]Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, Россия
[3)]Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия

На примере исследования юга Кузбасса показана практическая значимость работ по уточнению сейсмической опасности. Учитывая, что при оценке даже небольшой площади требуется проведение исследований в пределах более значительной территории, полученные результаты представляют значимый вклад в изучение сейсмической опасности всей территории Алтае-Саянской горной области.

Сейсмическое районирование России, выполненное в девяностые годы [7], как известно, являлось очередным этапом исследований по оценки сейсмической опасности России. Однако из-за большой трудоёмкости не вся региональная информация была использована даже к моменту составления карт сейсмического районирования. Учитывая, что за последнее десятилетие накоплен значительный объём новой информации о сейсмичности и геодинамических процессах, а так же учитывая значительный рост возможностей компьютерной обработки больших объёмов информации, можно утверждать, что уточнение сейсмической опасности территории России является весьма актуальной задачей [2]. Исследования по уточнению сейсмической опасности Средней Азии успешно проведены до территории, прилегающей к Алтае-Саянской области [16]. Уточнение сейсмической опасности России весьма трудоёмкая работа, и в ряде случаев актуальным становится решение её по отдельным территориям.

В статье ставится цель выяснить практическую значимость работ по уточнению сейсмической опасности на небольшом примере, относящемся к югу Кузбасса. Учитывая, что для оценки сейсмической опасности даже небольшой территории требуются исследования на значительной территории, работа представляет интерес для изучения сейсмической опасности всей территории Алтае-Саянской горной области.

Основная идея вероятностной оценки сейсмической опасности вначале была предложена Корнеллом [22] и в дальнейшем разрабатывалась многими учеными [7, 13, 17, 20, 21, 31]. Методология этой оценки включает в себя следующие шаги:

- Выделение сейсмических зон ВОЗ (возможных опасных землетрясений)
- Определение повторяемости землетрясений и максимальной магнитуды для каждой из зон ВОЗ
- Оценка затухания колебаний грунта
- Вычисление сейсмической опасности в пиковых ускорениях
- Построение карт сейсмической опасности в максимально возможной бальности.

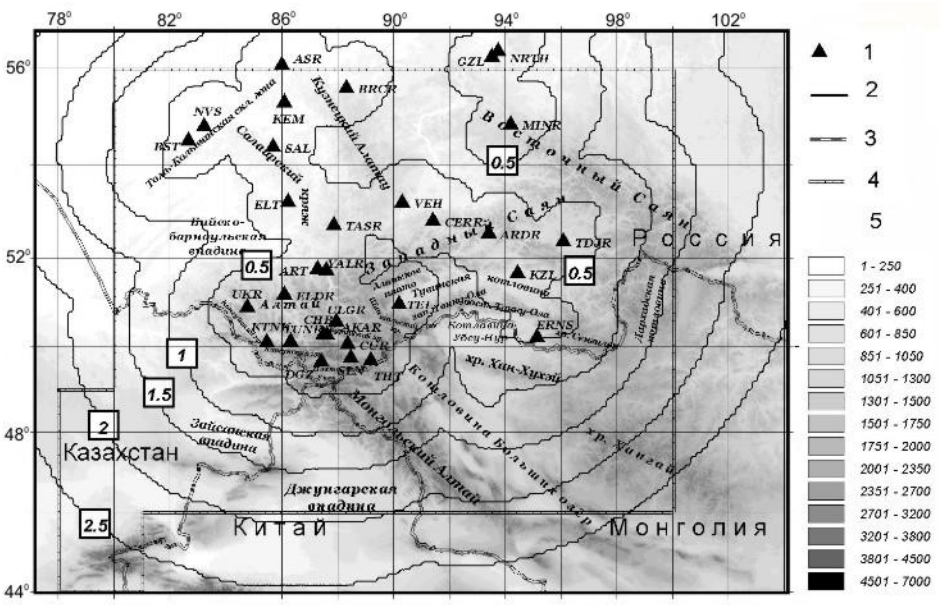
Очень важным для оценки сейсмической опасности является сбор и подготовка достоверной исходной информации: каталогов сейсмических событий, как за период инструментальных наблюдений, так и исторических событий.

ПОДГОТОВКА КАТАЛОГА СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ К ИССЛЕДОВАНИЯМ

Оценка представительности и точности определения параметров эпицентров событий в Алтае-Саянском филиале Геофизической службы СО РАН (АСФ ГС СОРАН)

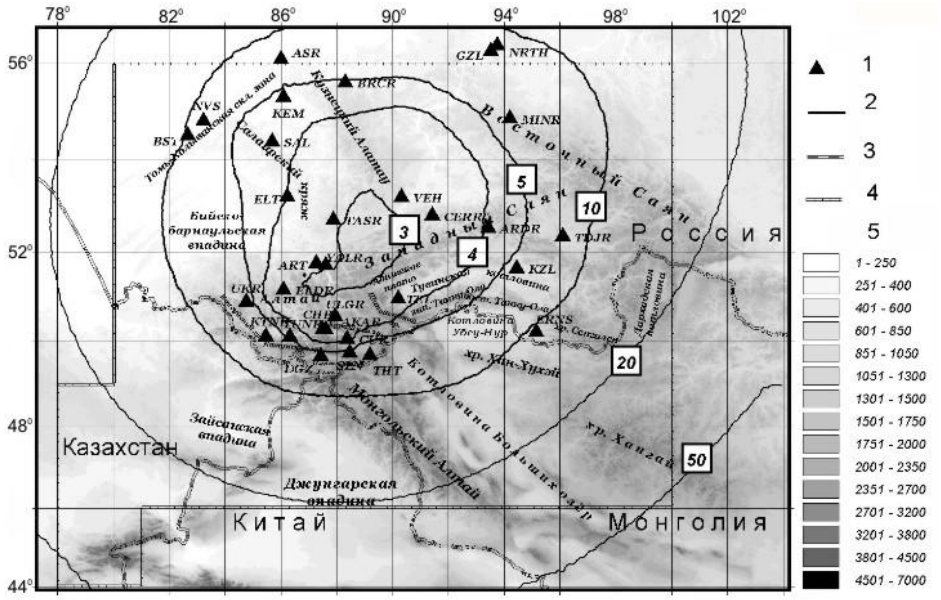
Представительность и точность данных сейсмологического каталога определяется, в первую очередь, особенностями конкретной сейсмической сети: аппаратурой, расположением сейсмических станций по отношению к эпицентральным зонам событий. Другим фактором, влияющим на качество обработки данных, является адекватность используемого скоростного разреза. Если первые два фактора больше влияют на представительность данных, то скоростной разрез в большей степени "ответственен" за их точность. В АСФ ГС СОРАН проведены исследования представительности и точности регистрации землетрясений в Алтае-Саянской области[18].

Сейсмическая сеть Алтае-Саянского региона до недавнего времени состояла из 8 – 13 сейсмических станций, удаленных от эпицентральных зон на расстояния от 100 до 600 - 900 км при расстоянии между станциями порядка 400 км. В последние годы количество станций возросло до 30, а прежняя гальванометрическая регистрация заменена на цифровую. На рисунках 1, 2 приведены карты энергетической представительности и точности локализации очагов землетрясений.



1 – сейсмические станции АСФ ГС СОРАН, 2 – изолинии представительности, Ms;
3 – государственные границы, 4 – границы каталога АСФ ГС СОРАН, 5 – высоты

Рисунок 1. Алтае-Саянская горная область. Карта изолиний энергетической представительности. 2006 г.



2 – изолинии точности локализации событий, км. Остальные обозначения – на рисунке 1

Рисунок 2. Алтае-Саянская горная область. Погрешность локализации эпицентров на примере землетрясений с Ms=3. 2006 г.

Приведение каталога к магнитудам Ms

Каталог землетрясений состоит из макросейсмических наблюдений с 1761 г. и данных за период инструментальных наблюдений, начиная с 1963 г. Для исторических землетрясений использовалась оценка энергии Ms – магнитуды по поверхностным волнам (формула 1). В период инструментальных наблюдений сила землетрясения оценивалась в энергетических классах [11]. Каталог был приведен к магнитудам Ms с использованием соотношения Т. Раутиан для Средней Азии, в том числе, и для исследуемого региона [10]:

$$K = 1.87 \cdot Ms + 3.9 \text{, или } Ms = \frac{K - 3.9}{1.87} \qquad (1)$$

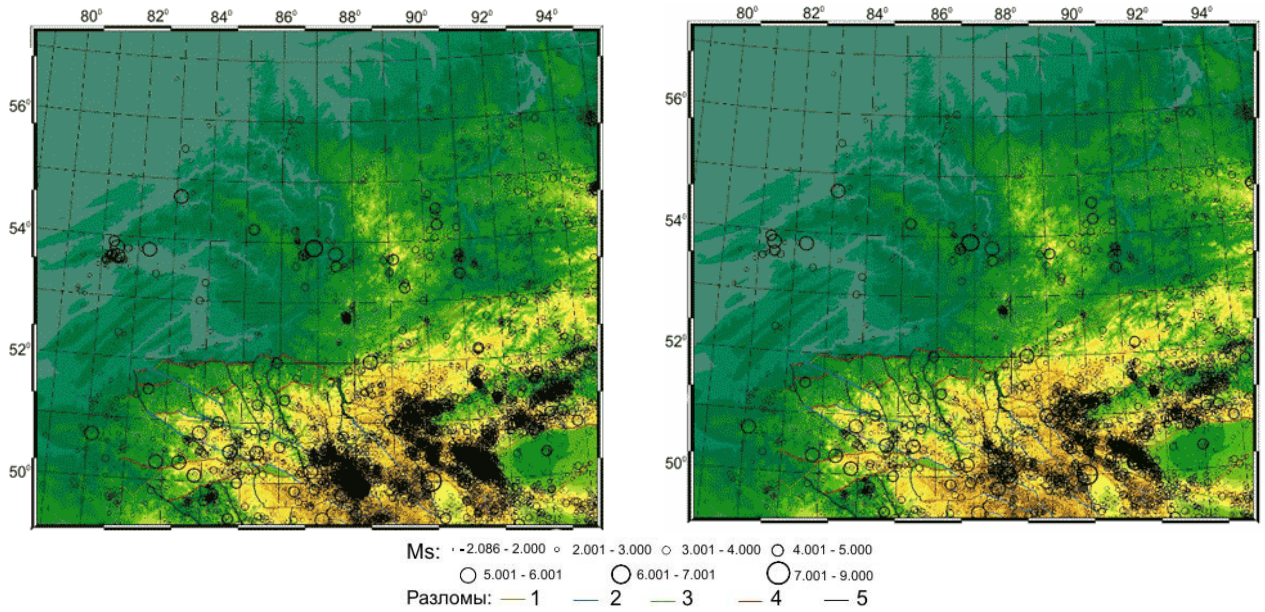
где K - энергетический класс, Ms - магнитуда по поверхностным волнам.

В некоторых случаях использована расчетная магнитуда Ms из каталога вместо конвертированной из энергетического класса, например, для главного

толчка Урег-Нурского землетрясения 1970 г. и главного толчка Чуйского землетрясения 2003 г.

Исключение из каталога зависимых событий

Для статистического анализа повторяемости событий из каталога удалены события, зависимые во времени. Для этого использован алгоритм пространственно-временных окон [25, 26, 32], который осуществлял следующие шаги: 1) пометить все события каталога как главные события; 2) отсортировать события по магнитуде в порядке убывания; 3) начиная с крупнейшего события, для каждого главного события, все события, попадающие в соответствующее окно по времени и расстоянию, отметить как зависимые, если их магнитуда не больше, чем магнитуда главного события. Для определения пространственного окна использовались эпицентральные расстояния (глубины землетрясений не учитывались). При выделении зависимых событий использовался весь каталог Алтае-Саянской области, содержащий 52 616 событий. Из них было выделено 3 599 форшоков и 26 465 афтершоков. На рисунке 3 для Кузбасса и прилегающей территории показаны для сравнения эпицентры землетрясений до и после удаления зависимых событий из каталога.



1 –нарушение неясной кинематики; 2 – правый сдвиг и взбросо-сдвиг; 3 – левый сдвиг и взбросо-сдвиг; 4 – взброс и надвиг; 5 – сброс и раздвиг

Рисунок 3. Алтае-Саянская горная область. Карты эпицентров: а – исторических и инструментально наблюденных событий; б – то же, после исключения зависимых событий методом пространственно-временных окон

Проведенная операция удаления зависимых событий позволила рассматривать землетрясения сформированного каталога как случайный пуассоновский процесс [25], не имеющий зависимости во времени, т.е.без форшоков и афтершоков, и анализировать вероятности появления землетрясений в зависимости от закона повторяемости землетрясений Гуттенберга-Рихтера.

Построение зон ВОЗ

Анализ сейсмической опасности территории Кузбасса проведен на удалениях до 500 км от Новокузнецка, поскольку в этой области находятся сейсмоактивные тектонические структуры, представляющие сейсмическую опасность для Кузбасса. Изучался квадрат, ограниченный координатами 82º В.Д. – 95º В.Д. и 49.5º С.Ш. - 56º С.Ш. После удаления зависимых событий каталог для данной области включал 11 493 главных события.

Выделение зон ВОЗ проведено с использованием сейсмической и геологической информации. В первую очередь, был учтен высокий уровень суммарной сейсмической энергии, затем характер рельефа и геоморфология исследуемой области.

Для изучения пространственных характеристик сейсмичности региона построено множество карт суммарной сейсмической энергии и карт эпицентров землетрясений как за весь период инструментальных наблюдений, так и за отдельные отрезки времени [4, 5, 24]. Карты построены по принципам, несколько отличающимся от стандартных [4, 24]. Так, при их построении использовались ячейки меньших размеров для того, чтобы более детально отобразить геологические структуры, проявляющие сейсмическую активность. В частности, использованы сетки с размером ячейки 0,1º× 0,07º; для каждой из которых определялось общее количество событий за исследуемый период времени, в связи с чем, эти карты являются картами с постоянной детальностью [27].

Структурные особенности проявления сейсмичности в Алтае-Саянской области хорошо видны на карте суммарной сейсмической энергии (рисунок 4).

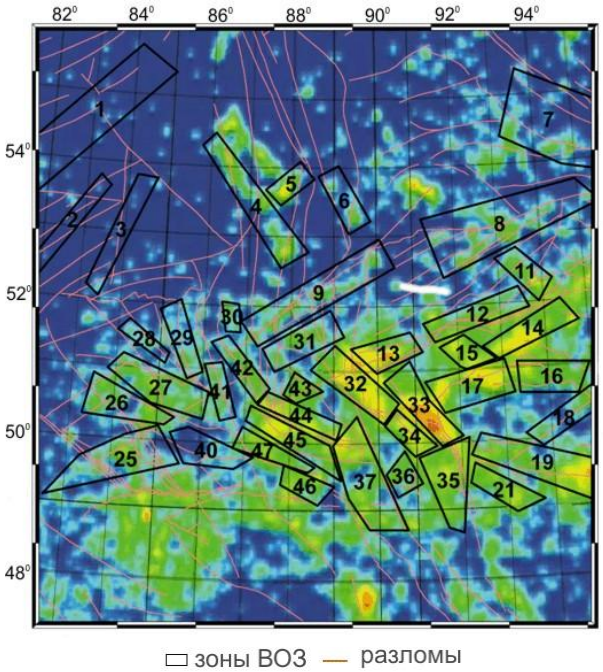


Рисунок 4. Территория юга Кузбасса. Карта суммарной сейсмической энергии с зонами ВОЗ и активными разломами по данным ГИН РАН

Повышенной активностью и явно выраженными линейными зонами на карте характеризуются территории Горного Алтая и стыка Алтая и Саян. Северные районы Алтае-Саянской области существенно менее активны и для них характерна, на первый взгляд, хаотическая картина проявления сейсмической активности. Выявляются яркие пятна повышенной активности, такие как Камень-на-Оби, Таштагол и др. В целом сейсмичность Алтае-Саянской области характеризуется наличием ярко выраженных линейных структур и наличием площадей с существенно различным уровнем сейсмичности.

На основе карт суммарной сейсмической энергии, набора карт эпицентров землетрясений, а также с учетом геологической и геоморфологической информации [9], данных о разломах были выделены зоны возможных опасных землетрясений (ВОЗ) для всего Алтае-Саянского региона. Стоит отметить, что высокий уровень энергии вблизи зон ВОЗ № 4 и № 5 (рисунок 4) отнесен не к землетрясениям, а к взрывам, которые производились при разработке карьеров. Аналогично интерпретируется и область высоких энергий, расположенная на северо-западе от зоны № 8.

Геологическое обоснование зон ВОЗ и оценка максимально возможной магнитуды по геологическим и геоморфологическим данным

Всего в пределах Алтае-Саянской горной области выделено более 70 зон ВОЗ. Из них в рассматриваемую 500 км зону полностью или частично попадают только 40 зон ВОЗ. В связи с этим, при нижеследующем описании их территориального положения и тектонической приуроченности некоторые их номера зон выпадают.

Зоны ВОЗ из рассматриваемой выборки могут быть разделены на две неравные группы. Первая из них включает 6 зон ВОЗ наиболее активных частей Алтае-Саянской мобильной зоны, расположенных непосредственно в пределах горных сооружений Алтая и Саян, вторая группа - 36 зон, расположенных в пределах Западно-Сибирской платформы и северной низкогорной периферии Алтае-Саянской мобильной зоны.

Ниже дается краткое описание зон ВОЗ, начиная с зон, расположенных в пределах Западно-Сибирской платформы и северной низкогорной периферии Алтае-Саянской мобильной зоны, где в ходе регионального сжатия возможность пластического деформирования еще велика и разрывные нарушения и связанные с ними зоны ВОЗ носят разрозненный характер. Магнитуды событий при описании зон ВОЗ даны по геологическим оценкам и могут отличаться от окончательного результата.

▪ *1 - Томь-Колыванская зона.* В неотектоническом отношении представляет собой систему малоамплитудных новейших разрывов, осложняющую валообразное поднятие с пологими крыльями, в районе которого палеозойский фундамент приближен к дневной поверхности, а во многих эрозионных врезах и обнажен. На ранних этапах изучения сейсмический потенциал этой зоны недооценивался, но ряд сейсмических активизаций в ее пределах за период инструментальных наблюдений показывает достаточно высокий уровень неотектонической активности и заставляет пересмотреть сейсмический потенциал соседних зон сходного генезиса.

▪ *(2 – 3) - Бийская и Барнаульская зоны* вытягиваются в северо-восточном направлении. Обе зоны слабо, но отчетливо видны на карте суммарной выделившейся сейсмической энергии за период инструментальных наблюдений, в рельефе земной поверхности не выражены. Хотя они расположены в пределах развития увалистого рельефа Приобского плато и по линейным размерам близки к увалам, по простиранию они с ними не совпадают и секут их под острым углом. По сейсмическому потенциалу эти зоны на порядок ниже Томь-Колыванской.

▪ *4 - Прокопьевско-Киселевская зона* протянулась в северо-восточном направлении. В северной части она совпадает с тектонической границей Кузбасса и Салаира (Тырганский надвиг), активизированной в новейшее время. В южной части она вклинивается в низкогорье Горной Шории.

▪ *5 - Новокузнецкая зона* вытянута в северо-восточном направлении. В неотектоническом отношении она представляет собой юго-восточную тектоногенную границу Кузнецкой котловины, выраженную в рельефе в виде уступа от низкогорья Горной Шории к всхолмленной равнине днища Кузнецкой котловины.

▪ *6 - Кузнецко-Алатаусская зона* вытянута в северо-западном направлении. Зона связана с новейшим разломом, ограничивающим с юго-запада наиболее возвышенную часть горных сооружений Кузнецкого Алатау и образующим тектоногенный уступ, отделяющий ее от низкогорного пьедестала этой горной системы, пограничного с Кузнецкой котловиной.

Последние три зоны отчетливо выражены на карте выделяющейся суммарной сейсмической энергией (рисунок 4). Судя по плотности сейсмических событий за период наблюдений и по более отчетливой связи с новейшими разломами, сейсмический потенциал этих зон может оказаться на порядок превосходящим потенциал Томь-Колыванской зоны.

Остальные 36 из рассматриваемых зон ВОЗ связаны с теми областями Алтае-Саянской области, где предел пластических деформаций был преодолен еще в конце неогена, и они полностью разделены системой новейших разломов на отдельные блоки. Зоны ВОЗ здесь связаны исключительно с блокоразделяющими границами, причем наибольшим сейсмическим потенциалом обладают сдвиговые границы, а взбросовые и раздвиговые границы становятся менее опасными по мере удаления от тех сдвигов, оперениями которых они являются.

▪ *7 - Восточно-Саянская зона* имеет северо-западное простирание и географически охватывает западную половину наиболее высокой осевой части Восточного Саяна. В неотектоническом плане зона связана с активными разломами, ограничивающими в осевой части хребта с северо-востока и юго-запада блок, по которому происходит его воздымание.

▪ *(8 – 9) - Западно-Саянская и Минусинская зоны* являются частями крупного регионального разлома, активизированного в новейшее время и образующего северную границу Западного Саяна. Активизированный в новейшее время палеозойский разлом, с которым связаны зоны, выражен в рельефе в виде характерного уступа, отделяющего высокие горные сооружения Западного Саяна от низкогорий и среднегорий Кузнецкого Алатау и Горной Шории, а также Минусинской впадины.

На карте суммарной выделившейся сейсмической энергии все три описанные зоны (7 - 9) выражены умеренно, но отчетливо. Степень их активности не превышает активность зон, обрамляющих юг Кузбасса. Кинематика главных сейсмогенерирующих разломов по геологическим данным - преимущественно взбросовая, с небольшой сдвиговой составляющей. Возможно, этим и объясняется их относительно невысокая активность, несколько необычная для столь протяженных новейших сейсмогенерирующих структур.

▪ *11 - Западно-Обручевская зона* расположена в пределах Западного Саяна на западном продолжении хребта Ак. Обручева. Ее формирование связано с продолжением разломных структур, ограничивающих блок, создающий основу хребта Ак. Обручева, вкрест простирания основных западно-саянских структур.

▪ *15 - Адардашская зона* протягивается также в северо-западном направлении. Она связана с растущим блоком того же простирания, разделяющим Тувинскую котловину на две примерно равные части.

▪ *(12 – 13) - Алашская и Ададашская зоны* связаны с северной разломной границей Тувинской котловины, по которой она сопрягается с Западным Саяном и имеют на порядок большую сейсмическую активность, нежели северная граница Западного Саяна. Взбросовый характер движений по основному сейсмогенерирующему разлому достаточно надежно устанавливается по морфотектоническим параметрам с падением плоскости сместителя под Западный Саян.

▪ *14 - Кызыльская зона* нечетко выражена в рельефе, но хорошо фиксируется на карте суммарной сейсмической энергии. По всей вероятности, её формирование связано с вовлечением части Тувинской котловины в поднятие с тенденцией к разделению на три изолированные части при участии разломов Адардашская зоны.

▪ *(16 – 17) - Западно-Танну-Олинская и Восточно-Танну-Олинская зоны* связаны с активными южными разломными границами одноименных неотектонических блоков, образующими горный барьер между Тувинской и Убсу-Нурской котловинами. Характер движения по этим разломам морфотектоническими методами устанавливается достаточно однозначно как взбросовый, с падением плоскости сместителя под хребты. Имеются и прямые геологические доказательства именно этого характера новейших движений в виде смятия третичных осадков на фронте взбросов.

Относительно сейсмичности обрамления Тувинской котловины можно сделать однозначный вывод, что она на порядок интенсивнее сейсмичности северного фаса Западного Саяна и южного обрамления Кузнецкой впадины.

▪ *(18 – 19) - Убсунурская и Ханхухейская зоны* генетически связаны с Болнайской зоной, протягивающейся вдоль одноименного субширотного новейшего левого сдвига, являющегося, наряду с аналогичным по простиранию и кинематике Гоби-Алтайским разломом, разломом наиболее сейсмоактивной структуры региона, в пределах которой в историческое время неоднократно происходили катастрофические землетрясения, но которая в силу большой удаленности от рассматриваемой территории, здесь не анализируется. Ханхухейская зона является западным продолжением Болнайской зоны, а Убсунурская зона - косым оперением этого продолжения. В пределах Ханхухейской зоны к левосдвиговой составляющей движения по основному сейсмо- и морфогенерирующему разлому присоединяется заметная взбросовая составляющая, обычная для окончаний региональных сдвиговых зон. Взбросовая составляющая отчетливо вы-

ражена в рельефе в виде одноименного хребта, вытянутого вдоль разлома. Несмотря на активные движения по сейсмогенерирующему разлому Убсунурской зоны, она не выражена в рельефе в виде единой крупной возвышенности, а представляет цепочку узких вытянутых блоков, протыкающих рыхлые отложения Убсунурской впадины вдоль трассы разлома, что характерно для ранних стадий развития рельефа вдоль новейших сдвигов.

▪ *21 - Хяргаснурская зона* отчетливо выражена на карте суммарных сейсмических энергий в виде концентрации очагов землетрясений линейной формы. Сколько-нибудь заметного выражения в рельефе зона не имеет. Судя по ориентировке, зона связана также с оперяющим разломом, сопряженным с ханхухийнским окончанием болнайской сдвиговой зоны. Характер движения по оперяющему разлому из общей морфотектонической ситуации можно предположить сдвиговым, а возраст очень молодым, поскольку движения по оперению еще не привели к заметной перестройке рельефа в зоне влияния разлома.

Вышеописанные зоны ВОЗ относятся к мобильным зонам Саян и системе хребтов и впадин, разделяющих Алтайскую мобильную зону и Хангайское поднятие. Рассматриваемые далее зоны ВОЗ относятся к Алтаю или принадлежат пограничной зоне между Алтаем и Западным Саяном. Максимальные значения магнитуды зон ВОЗ Алтая оценены по морфотектоническим критериям и исходят из следующих предпосылок. Магистральные сдвиговые структуры, протягиваются вдоль всего Большого Алтая и генерируют наиболее сильные землетрясения с магнитудой до 8.0 – 8.5 на большей части своего протяжения и имеют тенденцию к снижению до 7.5 в северных окончаниях, где происходит перераспределение энергии в структуры оперения. Возможные магнитуды оперяющих разломов взбросового характера соответственно ниже и могут достигать 7.0 – 7.5 на юге и 6.0 – 6.5 на севере.

▪ *25 - Бухтарминская зона* расположена на крайнем западе Алтая, вытянута в субширотном направлении согласно большинству неотектонических блоков и образованных ими хребтов данного района. Ее формирование связано с системой взбросов, оперяющих магистральную сдвиговую зону. Зона интересна своим положением в районе полного обновления палеозойского структурного плана в ходе неотектонической активизации. Палеозойские разломы здесь имеют север-северо-восточное простирание и не являются сейсмогенерирующими, а основные новейшие сейсмогенерирующие разломы секут их почти под прямым углом и имеют субширотное простирание.

▪ *26 - Коргонско-Холзунская зона* имеет запад-северо-западное простирание, расположена на западном продолжении Уймонской впадины и не выражена в современном рельефе в виде единого орографического элемента. Ее территория включает в себя ряд возвышенностей и понижений между основными цепями хребтов. Сейсмический процесс зоны связан с сочетанием в ее пределах западного окончания магистральной взбросо-сдвиговой зоны вдоль северной границы зоны и взбросовых оперений.

▪ *27 - Теректинско-Коргонская зона* пространственно связана с северной взбросо-сдвиговой границей Коргонского и Теректинского блоков и отчетливо выделяется на карте выделившейся сейсмической энергии. Землетрясения в ее пределах связаны с западным окончанием магистрального взбросо-сдвига северо-западного простирания и оперяющими его с юга раздвигами.

▪ *28 – Ануйская, 29 - Семинско-Сарасинская, 30 - Чойская, 41 - Катунская и 42 - Иолго-Сумультинская зоны* веерообразно расходятся в северной части Алтая от магистральной сдвиговой зоны, генерирующей сейсмичность в пределах Теректинско-Коргонской зоны ВОЗ. Их сейсмичность связана с раздвигами, оперяющими магистральный сдвиг. Максимальная магнитуда землетрясений в пределах зон 41 и 42, наиболее близких к магистральному сдвигу, может достигать 7.0, а в зонах 28, 29 – 30, более удаленных и примыкающих к северному фасу Алтая, максимальная магнитуда землетрясений оценивается как не превышающая 6 – 6.5. Следует отметить, что крупный региональный тектоногенный взбросовый уступ, именуемый «фасом Алтая», смещен разломами, с которыми связаны зоны 29 и 30, но никак не выражен в пространственном распределении эпицентров землетрясений. Кроме того, по геоморфологическим данным устанавливается его длительная пассивность, приведшая к существенному изменению процессами денудации. На карте суммарной сейсмической энергии фас Алтая также не проявлен. Сегодня эта структура сейсмически пассивна, палеосейсмодислокаций в ее пределах не установлено. Есть все основания полагать, что активные подвижки по разлому, с которым структура связана, не происходили уже сотни тысяч лет.

▪ *31 – Абаканская зона* протягивается на северо-восток параллельно северному фасу Западного Саяна от южной оконечности грабена Телецкого озера. На карте суммарной выделившейся сейсмической энергии она проявлена вполне отчетливо, однако с каким именно новейшим тектоническим разрывным нарушением связана сейсмичность в ее пределах, достоверно не известно.

Следующие пять зон ВОЗ расположены в районе Т-образного сочленения субширотных северо-монгольских разломов с основными структурами Алтая, имеющими северо-западное простирание. Совместно они образуют область повышенной сейсмической активности, отчетливо фиксируемую по результатам инструментальных наблюдений.

▪ *(32 – 33) - Шапшальская и Цаган-Шибетинская зоны* имеют северо-западное простирание и являются продолжением субширотной Западно-Танну-Ольской зоны. Пространственно зоны совпадают с од-

ноименными хребтами. Сейсмичность в их пределах связана с новейшим шапшальским взбросом и сопутствующими ему структурами. Взбросовый характер движения по шапшальскому разлому выявляется как по морфотектоническим критериям по структурному рисунку зоны, так и прямыми геологическими наблюдениями, поскольку надвигаемый по нему на впадину шапшальский блок сминает на фронте взброса третичные осадки.

▪ *34 - Урегнурская зона* имеет северо-западное простирание и пространственно совпадает с юго-западным горным ограничением котловины озера Урег-Нур. Сейсмичность в пределах зоны связана со взбросо-сдвиговой разломной границей урегнурской впадины, являющейся северным продолжением одной из ветвей магистрального сдвига.

▪ *35 – Тургенская зона* протягивается в северо-западном направлении и сужена к югу. Пространственнозона связана с горными массивами Алтан-Хухийе-Нуру и Турген-Ула, являющимися северными звеньями цепи передовых хребтов монгольского Алтая. Сейсмичность в пределах Тургенской зоны связана с движениями по магистральному сдвигу и структурами его оперения.

▪ *36 - Ачитнурская зона* имеет изометричную форму, пространственно практически точно совпадает с котловиной озера Ачит-Нур. Сейсмичность в ее пределах, вероятнее всего, связана с раздвиговыми новейшими структурами, оперяющими в восточном направлении Кобдинский сдвиго-взброс, служащий западным ограничением впадины Ачит-Нур.

▪ *37 - Чихачевская зона* вытянута в северо-западном направлении. Ее северная часть совпадает с хребтом Чихачева, а южная - протягивается до хребта Хунгийн-Нуру. Сейсмичность в пределах зоны генерируется Кобдинским и Толбонурским магистральными сдвиговыми зонами, ограничивающими ее с востока и запада. За период инструментальных наблюдений активными были только оперяющие структуры сбросового типа, что и обусловило сравнительно умеренные магнитуды наблюдаемых землетрясений. Однако близость основных сейсмогенерирующих сдвигов и наличие палеосейсмодислокаций не оставляет сомнений в ее высоком сейсмическом потенциале.

Описываемые ниже пять зон связаны с магистральными сдвигами и связанными с ними структурами оперения центральной и юго-восточной частей Горного Алтая.

▪ *40 - Катунская зона* имеет субширотное простирание и пространственно совпадает с Катунским хребтом. Неотектонический блок, образующий основу горного хребта, ограничен с севера и с юга взбросовыми границами, являющимися оперениями одной из ветвей магистральной сдвиговой зоны, проходящей севернее. Поэтому максимальные магнитуды в пределах зоны оцениваются высоко, хотя за период инструментальных наблюдений основные неотектонические границы зоны оставались пассивными. На карте выделившейся сейсмической энергии намечается лишь две слабые поперечные зоны, свидетельствующие о незначительной активизации вдоль второстепенных разрывных нарушений.

▪ *43 - Улаганская зона* пространственно связана со сбросовыми разломными ограничениями Улаганской впадины, являющимися оперениями северных окончаний магистральных сдвигов, протягивающихся в данный район из Монголии. Магнитуда максимальных землетрясений оценивается исходя из близости основных сейсмогенерирующих структур.

▪ *44 - Курайская зона* имеет северо-западное простирание и связана с разломами, ограничивающими с севера и с юга Курайский хребет. Сейсмичность в пределах зоны связана с системой взбросо-надвигов, формирующих южную границу Курайского хребта. В течении периода инструментальных наблюдений эта зона многократно генерировала серии землетрясений небольшой мощности, при этом, северная, сдвиговая граница хребта, была более пассивна. В пределах зоны зафиксированы многочисленные геологические следы катастрофических землетрясений. Связь с магистральным кобдинским сдвигом, оперением которого является курайская зона взбросов, также прямо следует из морфотектонического анализа. Максимальные магнитуды землетрясений, возможных в этой зоне, следует оценить как максимальные для взброса.

▪ *45 - Северо-Чуйская зона* протягивается в северо-западном направлении вдоль юго-западной границы Курайско-Чуйской системы межгорных впадин. Сейсмичность в ее пределах генерируется северным окончанием толбонурского магистрального сдвига. Активизация этого разлома в 2003 г. сопровождалась продолжительной серией сильных землетрясений с магнитудой до 7.5. Максимальная магнитуда землетрясения этой зоны оценивается как предельная для данного региона.

▪ *46 - Согостынская зона* имеет северо-западное простирание и пространственно тяготеет к хребту Согостын-Нуру Монгольского Алтая. Сейсмичность связана с магистральными сдвигами.

▪ *47 - Южно-Чуйская зона* имеет северо-западное простирание и занимает промежуточную позицию между Согостынской и Северо-Чуйской зонами. Пространственно зона совпадает с Южно-Чуйским хребтом и Саржематинским горным массивом на его юго-восточном окончании. Сейсмичность связана с взбросовыми оперениями магистральных сдвигов.

Параметры зон ВОЗ: закон повторяемости и максимально возможная магнитуда землетрясения

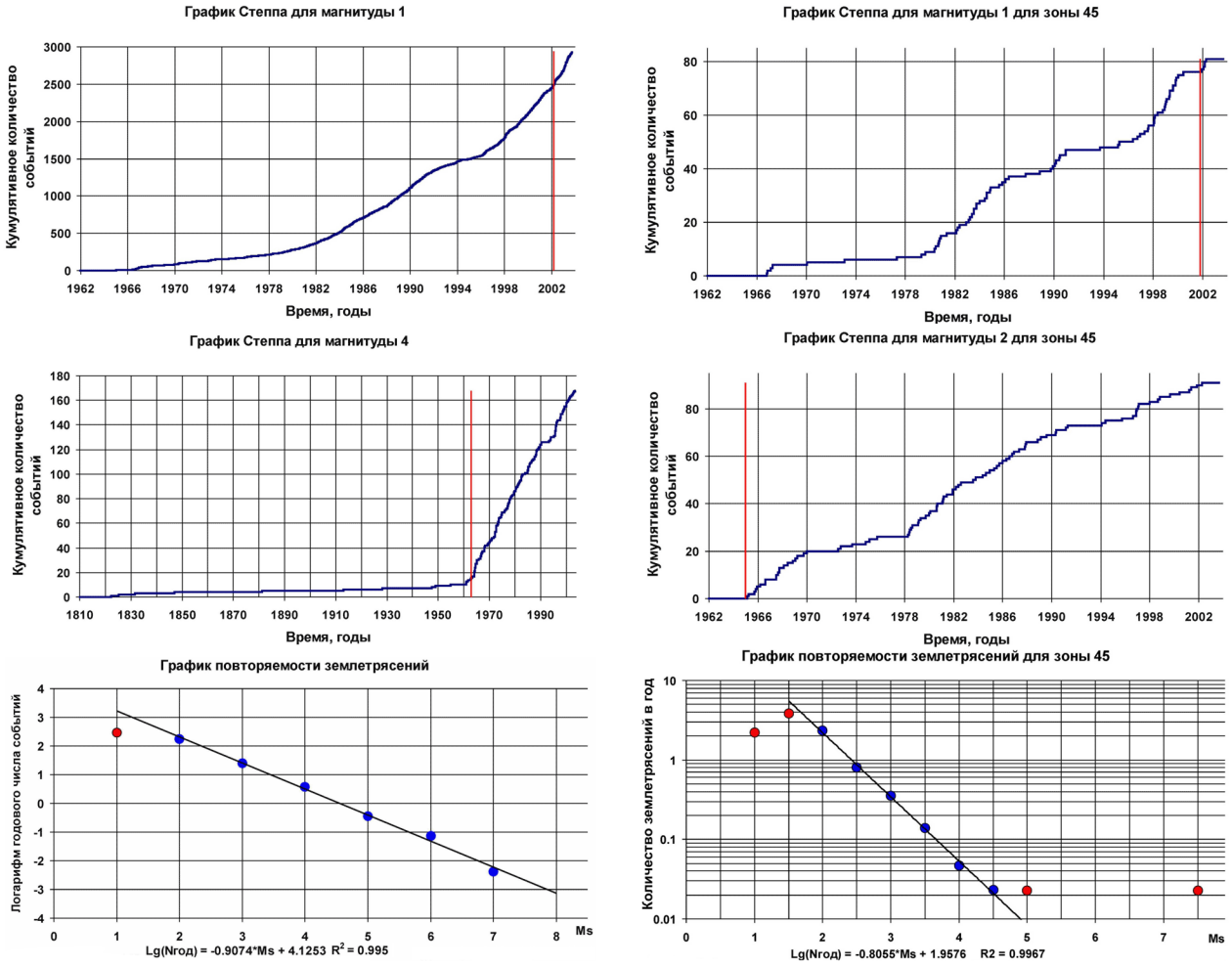
Следующим шагом анализа было изучение для каждой зоны ВОЗ повторяемости землетрясений и построение графиков повторяемости. В этой связи для оценки скорости сейсмического процесса во времени были построены графики Степпа [36], ото-

бражающие кумулятивное число землетрясений во времени. Угол наклона графика и его изменение позволяют определить, с какого времени регистрация событий в данном диапазоне магнитуд становится представительной. В дальнейшем количество землетрясений, установленное для данного диапазона магнитуд за период представительной регистрации, использован для оценки повторяемости землетрясений в год. По данным повторяемости для нескольких диапазонов магнитуд методом наименьших квадратов определены параметры *a* и *b* графика повторяемости:

$$\log(N\text{год}) = a - b \cdot Ms\ , \qquad (2)$$

где $N_{\text{год}}$ - годовое количество событий, Ms – магнитуда.

Если для единичных диапазонов магнитуд точек на графике повторяемости было недостаточно, годовое количество землетрясений рассчитывалось для интервалов в 0.5 единиц магнитуды, и также определялись параметры закона повторяемости. Однако в этом случае параметр *a* увеличивался на величину *log (2)*, поскольку количество событий в каждом диапазоне было вдвое меньше. В некоторых случаях количества землетрясений, попадающих в зону ВОЗ, было недостаточно для проведения оценок, поэтому угол наклона графика повторяемости *b* был взят по ближайшей зоне, сходной по геологическим и тектоническим условиям, а скорость сейсмического процесса *a* была нормирована по значению повторяемости в одном единичном интервале магнитуд для данной зоны. Именно таким образом для ВОЗ № 2 и № 3 использован параметр *b* графика повторяемости, определенный для ВОЗ № 1, для ВОЗ № 28 - параметр *b*, определенный для ВОЗ № 29, а для ВОЗ № 30 - параметр *b*, определенный для зоны № 42. На рисунке 5 приведены примеры графиков Степпа и графиков повторяемости для всей анализируемой области, а также для одной из наиболее интересных зон ВОЗ № 45, являющейся зоной Чуйского землетрясения с Ms=7.3 2003 г.



а – в целом для Кузбасса и прилегающих территорий

б – для Северо-Чуйской ВОЗ № 45

● представительные данные ● непредставительные — закон повторяемости

Рисунок 5. Примеры графиков Степпа и повторяемости землетрясений

Красной линией на графиках Степпа отмечено начало временного интервала, в котором для заданного интервала магнитуд определялась повторяемость землетрясений в год. В результате проведенного анализа определены параметры закона повторяемости [28] для всех зон ВОЗ (таблица 1).

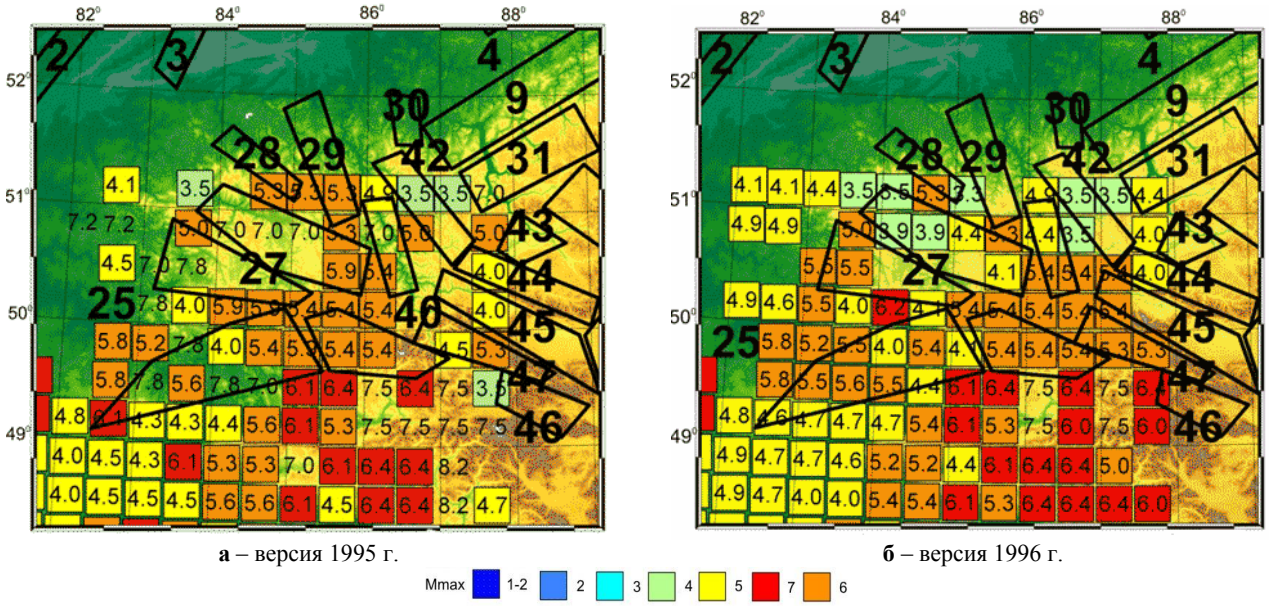
Как можно видеть, в таблице 1 приведено также количество событий из каталога, которые относятся к каждой из изучаемых зон ВОЗ, значение максимальной магнитуды землетрясения Mobs, произошедшего в данной зоне, и значение теоретической магнитуды события Mmax(1000), повторяющегося один раз в тысячу лет, рассчитанное, исходя из параметров графика повторяемости.

Оценка Mmax для каждой зоны ВОЗ

Для сопоставления моделей сейсмичности и зон ВОЗ использован следующий достаточно формальный подход. Карта с зонами ВОЗ совмещалась с данными Рейснера [12] (рисунок 6). В пределах каждой зоны выбиралась ячейка с максимальной магнитудой. Аналогичным образом выполнено сопоставление моделей сейсмичности с зонами ВОЗ В.И. Уломова [7, 15], использованными при построении карт ОСР-97, а также с картой зон максимально возможных землетрясений В.С. Имаева и др. [6]. При оценке Mmax учитывались также магнитуды исторических событий.

Таблица 1. Параметры закона повторяемости землетрясений для зон ВОЗ

№ ВОЗ	Параметры		Кол-во событий	Mmax(1000)	Mobs	№ ВОЗ	Параметры		Кол-во событий	Mmax(1000)	Mobs
	b	a					b	a			
1	0.6505	1.0173	38	6.18	5.7	26	0.7579	1.7150	148	6.22	5.6
2	0.6505	0.6726	8	5.65	2.5	27	0.6499	1.5495	202	7.00	5.4
3	0.6505	0.6146	10	5.56	3.9	28	0.9185	1.2986	14	4.68	2.4
4	0.6987	1.7673	131	6.39	6.1	29	0.9185	1.6806	55	5.10	4.1
5	0.7918	1.0018	26	5.05	5.7	30	0.8851	2.0070	12	5.66	3.3
6	0.4874	0.7822	28	7.76	4.2	31	0.7388	1.6027	86	6.23	3.4
7	0.6698	1.9334	239	7.37	5.1	32	0.6694	2.1058	687	7.18	6.0
8	0.9446	2.3432	182	5.66	3.6	33	0.6998	2.4943	842	7.85	7.0
9	0.7636	1.8727	163	6.38	5.3	34	0.7918	2.0009	163	6.32	4.9
11	0.9997	2.0617	103	4.76	3.8	35	0.9497	2.7019	315	6.00	4.3
12	0.8934	2.3147	215	5.95	3.6	36	0.7100	1.1385	42	5.83	4.0
13	0.7720	2.3077	520	6.88	4.4	37	0.8440	2.4756	355	6.49	4.3
14	0.8282	2.5230	476	6.67	4.4	40	0.8454	1.3225	35	4.76	4.4
15	0.9335	2.3366	276	5.39	3.5	41	0.8674	1.7260	61	5.45	3.3
16	0.8682	2.1450	150	5.93	4.2	42	0.8851	1.9022	102	5.54	2.8
17	0.7241	2.2828	507	7.30	4.8	43	0.7303	1.4128	71	5.63	3.0
18	0.6745	1.5038	102	6.68	3.9	44	0.9088	2.4721	287	6.02	3.6
19	0.7998	2.645	577	6.52	4.8	45	0.8055	2.2586	359	6.15	7.3
21	0.7822	2.0090	126	6.02	3.3	46	0.7003	1.5172	72	6.02	4.0
25	1.2431	2.8177	347	4.68	4.4	47	0.7415	1.6487	122	5.86	6.0



а – версия 1995 г. **б** – версия 1996 г.

Рисунок 6. Пространственное определение сейсмического потенциала (Mmax) по Рейснеру

В том случае, когда землетрясение с максимальным значением наблюдаемой магнитуды в зоне ВОЗ имело период повторяемости в пределах от 500 до 1500 лет, к значению магнитуды добавлялось 0.5 ее единицы согласно методике “один шаг вперед” [35]. Например, землетрясение 1903 г. в Прокопьевско-Киселевской зоне (№ 4) имело магнитуду Ms=6.1, соответственно, максимально возможная магнитуда Mmax для этой зоны была назначена как 6.6. Учитывались также геологическая/тектоническая обстановка, включая соотношение длин разломных зон [23] (рисунки 7, 8).

Назначенные значения магнитуды Mmax для зон ВОЗ приведены в таблице 2.

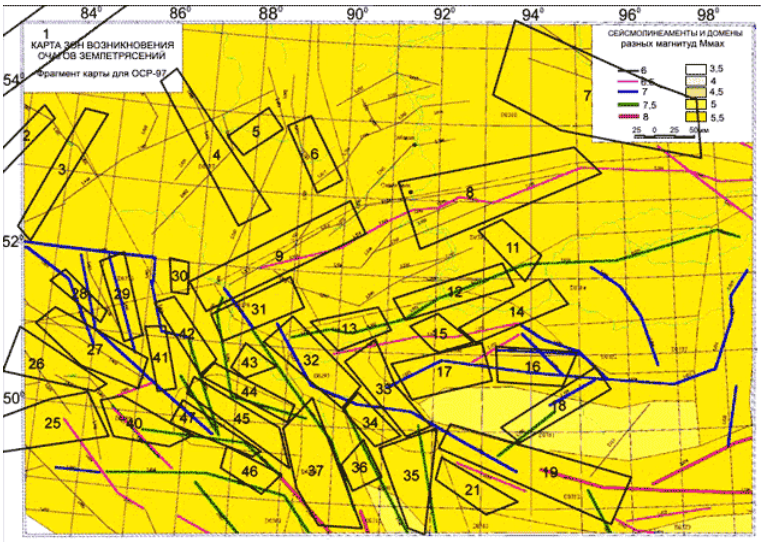
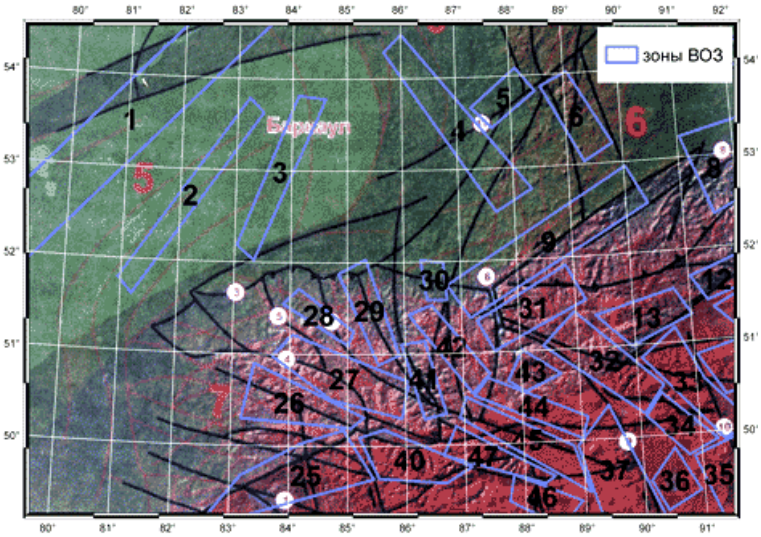


Рисунок 7. Сопоставление зон ВОЗ по В.И. Уломову с зонами, выделенными в данной работе



Красная цифра - максимально возможная магнитуда землетрясений

Рисунок 8. Зоны максимально возможных землетрясений по В.С. Имаеву и зоны ВОЗ, выделенные в данной работе

Таблица 2. Сравнение и оценка максимально возможных магнитуд событий для зон ВОЗ

Зона ВОЗ		Mobs	Mobs Рейс-нер	Mmax							Повто-ряемость (лет)	L (км)
№	название			геолог.	Рейс-нер (А)	Рейс-нер (В)	по Имаеву	по Уломо-ву	теор. за 1000 лет	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Томь-Колыванская	5,7		5,0			6,0	6,0	6,18	6,2	1037,05	536,8
2	Барнаульская	2,5		4,0			5,0	6,0	5,65	5,5	803,78	271,5
3	Бийская	3,9		4,0			5,0	6,0	5,56	5,5	918,61	206,7
4	Прокопьевско-Киселевская	6,1		6,0			6,0	6,0	6,39	6,6	1396,75	242,8
5	Новокузнецкая	5,7		6,0			6,0	6,0	5,05	6,5	13960,47	72,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	Кузнецко-Алатаусская	4,2		6,0			6,0	6,0	7,76	6,0	138,74	106,2
7	Восточно-Саянская	5,1		6,0			6,0	6,5	7,37	6,0	121,73	309,6
8	Минусинская	3,6		6,0			6,0	6,5	5,66	6,0	2110,57	276,6
9	Западно-Саянская	5,3		6,0			6,0	7,0	6,38	6,4	1033,57	258,7
11	Западно-Обручевская	3,8		7,0			7,5	7,5	4,76	7,5	545820,7	93,6
12	Уюкская	3,6		7,0			7,0	7,5	5,95	7,5	24310,84	162,5
13	Алашская	4,4		7,0				7,5	6,88	7,5	3035,99	87,9
14	Кызыльская	4,4		7,0			7,5	6,5	6,67	6,7	1061,55	146,6
15	Адардашская	3,5		7,0			7,5	6,5	5,39	6,5	10768,37	66,7
16	Восточно-Танну-Олинская	4,2		7,5			7,5	7,0	5,93	7,0	8558,55	113,3
17	Западно-Танну-Олинская	4,8		7,5			7,5	7,0	7,30	7,5	1405,89	129,4
18	Убсунурская	3,9		7,5			7,5	7,5	6,68	7,5	3588,81	159,0
19	Ханхухийнс-кая	4,8		8,0			7,5	8,0	6,52	8,2	22062,77	274,5
21	Хяргаснурская	3,3		7,0			7,5	6,5	6,02	6,5	2378,48	121,8
25	Бухтарминская	4,4	5,9	7,5	7,8	6,2	7,5	6,5	4,68	6,5	182999,5	215,8
26	Коргонско-Холзунская	5,6	5,9	8,0	7,8	6,2	6,0	6,0	6,22	6,5	1626,86	145,7
27	Теректинско-Коргонская	5,4	5,3	8,0	7,0	5,3	7,0	7,0	7,00	7,0	999,54	171,4
28	Ануйская	2,4	5,3	6,5	5,3	5,3	6,0	7,0	4,68	6,5	46950,57	92,4
29	Семинско-Сарасинская	4,1		6,5	5,3	5,3	7,0	7,0	5,10	6,5	19482,74	121,0
30	Чойская	3,3		6,5			6,0	6,0	5,66	6,0	2011,68	50,2
31	Абаканская	3,4	4,0	6,5	7,0	4,4		7,5	6,23	7,0	3705,95	126,4
32	Шапшальская	6,0		8,5			7,5	7,5	7,18	8,0	3550,67	145,3
33	Цаганшувутин-ская	7,0		8,5			7,5	7,0	7,85	8,0	1270,87	146,0
34	Урегнурская	4,9		8,5			7,5	7,0	6,32	8,0	21552,62	82,0
35	Тургенская	4,3		8,5			7,5	7,5	6,00	7,5	26354,21	155,5
36	Ачитнурская	4,0		8,5			7,5	7,5	5,83	7,5	15363,85	61,5
37	Кобдинская	4,3		8,5			7,5	7,5	6,49	7,5	7151,55	200,3
40	Катунская	4,4	6,0	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	4,76	7,5	208597,9	136,0
41	Чемальская	3,3	4,9	7,0	7,0	5,4	7,0	7,0	5,45	7,0	22171,75	94,1
42	Иолго-Сумультинская	2,8	4,9	7,0	5,0	5,4	7,0	7,5	5,54	7,0	19656,22	121,7
43	Улаганская	3,0		7,0	5,0	4,0	7,0	7,5	5,63	7,0	10013,13	55,4
44	Курайская	3,6		8,0	4,0	5,4	7,5	7,5	6,02	8,0	62849,24	144,7
45	Северо-Чуйская	7,3	3,5	8,5	5,3	5,4	7,5	7,5	6,15	8,0	30647,85	187,0
46	Согостын-Укокская	4,0	6,0	8,5	7,5	6,4	7,5	7,5	6,02	7,5	10865,51	88,4
47	Южно-Чуйская	6,0	3,5	8,0	5,3	5,4	7,5	7,5	5,86	8,0	38397,24	133,4

Примечание - Mobs – максимальная наблюдённая магнитуда по каталогам АСФ ГС СОРАН; Mobs Рейснер – то же по данным Рейснера; Mmax геолог. – максимально возможная магнитуда по геологическим оценкам; Mmax(A) Рейснер - то же по Рейснеру (версия 1995 г.); Mmax(B) Рейснер - то же по Рейснеру (версия 1996 г.); Mmax Имаев то же по данным Имаева; Mmax Уломов - то же по данным Уломова; Mmax теор. за 1000 лет - максимально возможная магнитуда, рассчитанная по графикам повторяемости для периода в 1000 лет; Mmax – итоговая максимально возможная магнитуда, использованная при расчётах карт сейсмической опасности; повторяемость Mmax (лет) – расчётная частота возникновения землетрясений с Mmax; L - продольный размер зоны ВОЗ (гкм).

Построение функции затухания сейсмических колебаний для среднего грунта на основе макросейсмических наблюдений

В качестве фактических данных при определении зависимости параметров затухания сейсмических колебаний с расстоянием по Алтае-Саянскому региону были взяты макросейсмические наблюдения по 25 землетрясениям. Часть наблюдений выполнена сотрудниками АСФ ГС СОРАН (Филина А.Г.), остальная - собрана из архивных данных и скорректирована [3]. При решении поставленной задачи не учитывалось влияние, оказываемое на затухание колебаний различными неоднородностями в среде, а также тип грунта в местt регистрации колебаний, хотя известно, что это влияние может быть довольно существенным [19]. Полученные результаты соотнесены со средними характеристиками среды в целом по Алтае-Саянскому региону.

Данные макросейсмических обследований в виде зависимости I (Δ) были пересчитаны по обобщенной эмпирической формуле [37]:

$$LgPGA = 0.3I + 0.014 . \qquad (3)$$

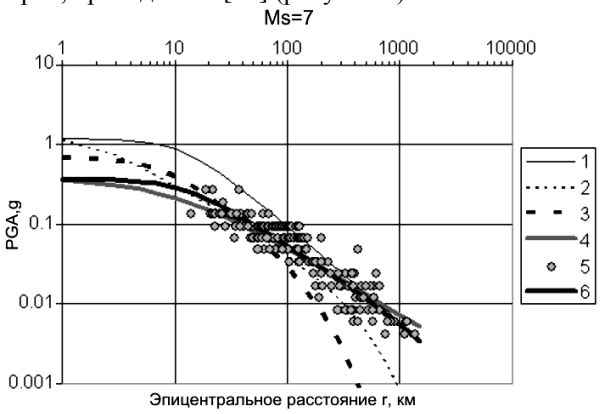
Здесь: Δ – гипоцентральное расстояние; PGA (peak ground acceleration) – максимальное ускорение колебаний грунта в горизонтальной плоскости в пункте наблюдения.

Выражение (3) для сотрясаемости широко применяется и удобно при выполнении сравнения результатов. Недостатком преобразования интенсивности I в PGA с использованием соотношения (3) являются большие неопределенности [33]. Более детальные исследования этой зависимости ведут к многомерным зависимостям вида $PGA = f(I, D, M)$, т.к. магнитуда, эпицентральное расстояние и локальные условия сильно влияют на уровень пиковых

колебаний грунта при заданной интенсивности. Хотя PGA характеризует колебания грунта не полностью, не включая влияние частоты, количество циклов, продолжительность колебаний, пиковые ускорения грунта, параметр широко используют во всем мире в качестве основного критерия. Макросейсмическая интенсивность также остаются удобным параметром для оценки ущерба от землетрясений. В данной статье используется стандартный вероятностный подход к оценке сейсмической опасности, предполагающий использование соотношений для затухания пиковых ускорений грунта. Закон, выражающий зависимость интенсивности колебаний от энергии землетрясения и гипоцентрального расстояния, может быть получен из формулы плотности сейсмической энергии [14, 15] и с учётом (3) выглядит как [29]:

$$LgPGA_i = aM_s + bLg\Delta_i + c\Delta_i + d\ . \qquad (4)$$

Коэффициенты a = 0.247, b = -0,9, c = -0.0001 и d = -1,19 определены методом наименьших квадратов по полученным фактическим данным. За глубину очага при расчёте эпицентрального расстояния $\Delta_i = \sqrt{(r_i^2 + h^2)}$ взято фиксированное значение h = 12 км - среднее по региону [1]. Затухание сейсмических сотрясений с расстоянием определено совместным действием геометрического расхождения фронта волн, рассеивания энергии на неоднородностях и поглощения. Различные вариации соотношения (4), используемые в качестве закона затухания рядом авторов, приведены в [30] (рисунок 9).



1 - Жалковский, 1975; 2 - Ambraseys, 1995; 3 - Joyner&Boore, 1981; 4 - Quijada et al., 1993;
5 - макросейсмические наблюдения; 6 - соотношение (4).

Рисунок 9. Сравнение фактических данных по землетрясениям с 6,6≤ Ms≤ 7,5 и различных соотношений затухания PGA

Полученная зависимость PGA (r, Ms) в виде (4) использована при построении карт сейсмической опасности.

СОЗДАНИЕ КАРТ ПИКОВЫХ УСКОРЕНИЙ ГРУНТА С РАЗНЫМИ ВЕРОЯТНОСТЯМИ ЗА РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ

Для вычисления вероятностной сейсмической опасности использована программа SEISRISK III [21]. Программой реализован расчет значений пикового ускорения грунта, которое может быть превышено с определенной фиксированной вероятностью за фиксированный промежуток времени в предположении о том, что каждая точка зоны ВОЗ может быть очагом землетрясения, а повторяемость землетрясений подчиняется закону Пуассона. Переход от пиковых ускорений грунта (PGA) к макросейсмическим интенсивностям по шкале MSK (сотрясаемость) осуществлен с использованием обобщенного эмпирического соотношения (3). Таким образом, значения макросейсмической интенсивности рассчитывались по формуле (5):

$$I_S = \frac{log(PGA) - 0.014}{0.3}\ , \qquad (5)$$

и усреднялись до целочисленных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований создан комплект карт для территории Кузбасса, позволяющих оценивать степень сейсмической опасности для объектов разных сроков службы и категорий ответственности. Карты построены для трех уровней вероятности не превышения – 90%, 95% и 99% (или 10%, 5% и 1% возможного превышения) в течение 50 лет расчетной сейсмической интенсивности в баллах для средних грунтовых условий (рисунок 10).

Условия построения этих карт соответствуют условиям карт ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С. Карты с вероятностью превышения 10% могут быть использованы при строительстве объектов, повреждение которых не повлечет за собой человеческие жертвы. Карты с вероятностью 5% предназначены для массового гражданского и промышленного строительства. Карты с вероятностью превышения 1% необходимы для выбора мест и строительства особо ответственных сооружений.

Построенные карты для территории юга Кузбасса отличаются от карт сейсмического районирования ОСР-97. Основные изменения изолиний произошли за счёт учета • различий в наклоне графиков повторяемости для зон ВОЗ, уточнения положения зон ВОЗ с использованием данных о землетрясениях из регионального каталога, а также использования данных о затухании колебаний, построенных по материалам изучения макросейсмики в Алтае-Саянской области.

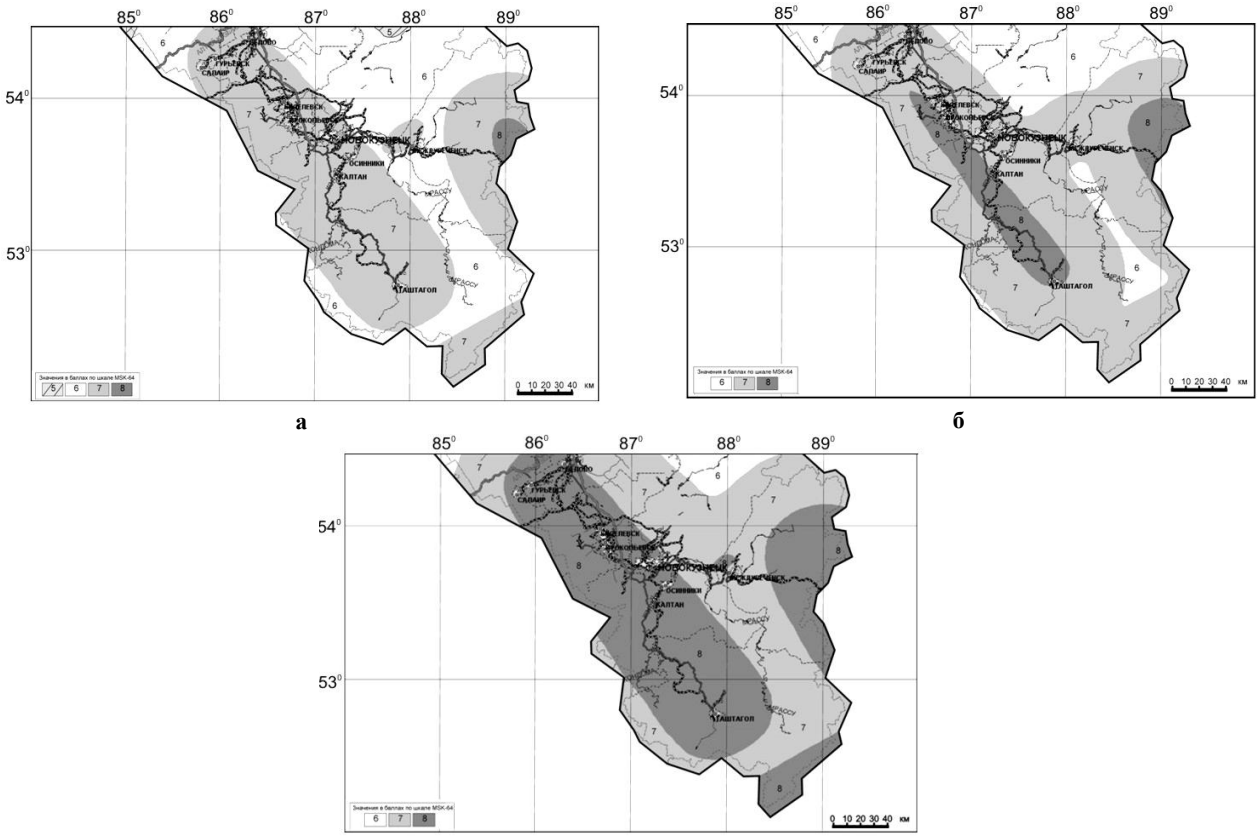


Рисунок 10. Карты балльности по шкале МСК с 10% (а), 5% (б) и 1% (в) вероятностями превышения в течение 50 лет

Наиболее сильное влияние на полученный результат оказал учёт различий в наклоне графиков повторяемости землетрясений. При использовании среднего для региона графика повторяемости, что было обоснованным при малом объёме информации о региональной сейсмичности, наиболее опасной для юга Кузбасса выглядела Новокузнецкая зона, где уже произошло семибальное землетрясение в 1903 г. По материалам данного исследования сейсмическая опасность на юге Кузбасса в большей степени определяется Прокопьевско-Салаирской и Кузнецко-Алатаусской зонами. В этих зонах вероятность возникновения крупных землетрясений выше, чем в Новокузнецкой зоне. Данный факт оказывает существенное влияние на детализацию изолиний на картах сейсмического районирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 05-05-64439), Президиума СО РАН (Интеграционный проект № 6.18), Президиума РАН (Интеграционный проект № 16.3) и Государственного контракта № 02.445.11.7416.

Литература

1. Гайский, В.Н. Распределение очагов землетрясений разной величины в пространстве и во времени / В.Н. Гайский , Н.Д. Жалковский // Изв. АН СССР, Физика Земли, 1972. – № 2.
2. Гусев, А.А. О сейсмологической основе норм сейсмостойкого строительства в России / А.А. Гусев // Физика Земли, 2002. – № 12. – С. 56 – 70.
3. Еманов, А.А. Сейсмические активизации блоковой структуры в условиях сжатия (на примере Алтае-Саянской области) / А.А. Еманов // Дисс. на соискание ученой степени канд. г. - м. н., ─ Новосибирск, 2006. – 159 с.
4. Еманов, А.Ф. Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны / А.Ф. Еманов [и др.] // Физическая мезомеханика, 2005. – Т. 8, № 1. – С. 49 – 64.
5. Жалковский, Н.Д. Некоторые результаты макросейсмических исследований сильных землетрясений Алтае-Саянской области / Н.Д. Жалковский, В.И. Мучная // Сборник научных трудов Сейсмичность Алтае-Саянской области, ИГиГ СО АН СССР, Новосибирск, 1975.
6. Имаев, В.С. Архитектоника Алтайского региона и ее потенциальная сейсмическая опасность / В.С. Имаев [и др.] // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения: Материалы XII международной конференции 18-23 сентября 2006 года. Том 1. ─Воронеж, ВГУ, 2006. – С. 220 – 223.

7. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000: Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах.- М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 57 с.
8. Мучная, В.И. Карты сотрясаемости Алтае-Саянской области / В.И. Мучная // Сейсмичность Алтае-Саянской области.- Новосибирск: Изд-во ИГиГ, 1975. – С. 42 – 48.
9. Новиков, И.С. Морфотектоника Алтая / Науч. ред. Е.В. Девяткин, Г.Ф. Уфимцев // Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. – 313 с.
10. Раутиан, Т.Г. Затухание сейсмических волн и энергия землетрясений / Т.Г. Раутиан // Труды Института сейсмологии и сейсмостойкого строительства АН таджикской ССР, т.7. - Душанбе, 1960.
11. Раутиан, Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км / Т.Г. Раутиан // Экспериментальная сейсмика. - Труды ИФЗ АН СССР, № 32 (199). М.: Наука, 1964.
12. Рейснер, Г.И. Алтайское землетрясение 27 сентября 2003 г.: прогнозы и реальность / Г.И. Рейснер // Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2003 г. Материалы предварительного изучения. – М.: ОИФЗ РАН, 2004. – С. 5 – 13.
13. Ризниченко, Ю.В. Проблемы сейсмологии, избранные труды / Ю.В. Ризниченко // М.: Наука., 1985. – 408 с.
14. Ризниченко, Ю.В. Энергетика макросейсмики / Ю.В.Ризниченко // Изв. АН СССР, Физика Земли, 1974. - №8.
15. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии (Отв. ред. В.И.Уломов). / М.: ИФЗ РАН, 1993. – Вып. 1
16. Сыдыков, А. Сейсмический режим территории Казахстана / А. Сыдыков- Алматы: «Ғылым», 2004. – 270 с.
17. Уломов, В.И. Сейсмичность / В.И.Уломов // Большая Российская Энциклопедия (БРЭ). Том 1. 2004. С. 34 - 39.
18. Фатеев А. В. Представительность и точность определения параметров эпицентров в АСОМСЭ СО РАН / А.В. Фатеев, А.Г. Филина, А.В.Кабанник // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Материалы международной геофизической конференции в Новосибирске 15-19 сентября 2003 г.- Новосибирск: Наука, СО РАН, 2003.- С. 145 - 153.
19. Шебалин, Н.В. Затухание сейсмических сотрясений и добротность среды / Н.В. Шебалин, Д.И. Безрукова // Оценка эффекта сильных землетрясений. Вопросы инженерной сейсмологии. – М.: Наука, 1989. – Вып. 30. – С. 63 - 72.
20. Algermissen, S. A probabilistic estimate of maximum acceleration in rock in the contiguous United States. U.S. Geological Survey / S. Algermissen, D. Perkins // Open-File Report, 1976. – P. 76 - 416.
21. Bender, B, (1987). SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation / B. Bender, D. Perkins // USGS Bulletin 1772.
22. Cornell, C.A. Engineering seismic risk analysis. / C.A. Cornell // Bull. Seism. Soc. Am., 58, 1583-1606. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 84, No. 4, 1968. – P. 974 - 1002.
23. Donald L. Wells and Kevin J. Coppersmith New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, 1994.
24. Emanov, A. F. Realized seismic energy correlation of the different structures / A.F. Emanov, A.A. Emanov, A. G. Filina // 25th General Assembly European Geophysical Society, Nice, France (April 25, 2000), Geophysical Research Abstracts.─ Vol. 2.─ Katlenburg-Lindau: European Geophysical Society, 2000.
25. Gardner, K. J. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, poissonean? / K.J. Gardner, L. Knopoff // Bull. Seism. Soc. Am. 64 N. 5, October 1974.
26. Grunthal, G.: The up-dated earthquake catalogue for the German democratic Republic and adjacent areas – statistical data characteristics and conclusions for hazard assessment. / G. Grunthal // Proc. 3rd Int. Symp. on the Analysis of Seismicity and Seismic Risk. Liblice Castle, Czechoslovakia, June 17-22, 1985.
27. Gutenberg, B. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration / B. Gutenberg, and C. F. Richter // Bull. Seism. Soc. Am. 32, 1942. – P. 163 - 191.
28. Gutenberg, B. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration / B. Gutenberg and C. F. Richter // Bull. Seism. Soc. Am. 46, 1956. – P. 105 – 145.
29. Joyner, W. B. Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley / , W.B. Joyner and D. M. Boore // California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am. 71, 1981. – P. 2011–2038.
30. Julio Garci'a, (2003). Seismic Hazard Maps for Cuba and Surrounding Areas / Julio Garci'a, Dario Slejko, Leonardo Alvares, Laura Peruzza, and Alessandro Rebez // Bull. Seism. Soc. Am., 93, 6, P. 2563 – 2590.
31. McGuire R (1976). EQRISK Fortran computer program for seismic risk analysis / McGuire R // U.S. Geological Survey, Open-File Report, P.76 - 67.
32. Musson, R.M.W.: Probabilistic seismic hazard maps for the North Balkan Region / R.M.W Musson // Annali di Geofisica 42 N. 6, December 1999, P.1109-1138.
33. Reiter, L. (1990). Earthquake hazard analysis: issues and insights / L. Reiter // Columbia University Press, New York, 1-P.252.
34. Richter, C. F. (1958). Elementary Seismology, Freeman / C. F. Richter // San Francisco.
35. Slejko, D. (1998). Seismic hazard maps of Italy / D. Slejko, D., L. Peruzza, and A. Rebez // -Ann. Geofis. 41, P.183 – 214.
36. Stepp, J. C (1972). Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area and its effect on statistical estimates of earthquake hazard, in Proc. of the 1st Int. Conf. on Microzonazion / J. Stepp // Seattle, Vol. 2, P.897 – 910.
37. Trifunac, M. D.(1975). On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of ground motion records / M. D. Trifunac, and A. G. Brady // Bull. Seism. Soc. Am. 65, P.139 – 162.

ҚУЗБАСС ОНТҮСТІГІ АУМАҒЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАУІПТІЛІГІН БАҒАЛАУ

[1)]Еманов А.А., [2)]Еманов А.Ф., [2)] Кузнецов К.Г., [2)]Лескова Е.В., [3)]Новиков И.С., [3)] Сычёв И.В., [3)]Фатеев А.В.

[1)]РҒА СБ Мұнайгаз геология және геофизика институты, Новосибирск, Ресей
[2)]РҒА СБ Геофизика қызметінің Алтай-Саян филиалы, Новосибирск, Ресей
[3)]РҒА СБ Геология және минералогия институты, Новосибирск, Ресей

Кузбасс онтүстігін зерттеу үлгісінде сейсмикалық қауіптігін нақтылау бойынша жұмыстардың практикалық маңыздылығы көрсетілген. Кішкене алаңын да бағалау үшін едәуір аумақ шегінде зерттеулерін жүргізуі талап етілетін ескергенде, алынған нәтижелер Алтай-Саян тау облысының барлық аумағының сейсмикалық қауптігін зерделеуінде үлкен үлесі болып табылады.

SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF THE SOUTH TERRITORY OF KUZBASS

[1)]A.A. Yemanov, [2)]A.F. Yemanov, [2)] K.G. Kuznecov, [2)] Ye.V. Leskova, [3)] I.S. Novikov, [3)] I.V. Sychev, [3)] A.V. Fateev

[1)]Institute of Oil-and-Gas Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia
[2)]Altai-Sayansk Branch of Geophysical Survey SB RAS, Novosibirsk, Russia
[3)]Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

The example of the southern part of Kuzbass investigation shows the practical importance of the works devoted to precise the seismic hazard. Taking into consideration that during the assessment of small area it requires to carry out the investigation within the significant territory, the obtained results are the important contribution in the seismic hazard investigation of Altai-Sayansk rock region.

УДК 67.21.21

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРУНТОВЫЕ ОСНОВАНИЯ СТРОЙПЛОЩАДОК В РАЙОНЕ АШХАБАДА

Гаипов Б.Н.

Научно-исследовательский институт сейсмологии, Ашхабат, Туркменистан

Описана разработанная и опробованная методика оценки сейсмического воздействия на грунтовые основания строящихся промышленных объектов и многоэтажных зданий в условиях отсутствия макросейсмических данных. Методика основана на мониторинге слабых и умеренных землетрясений в ближней зоне и сводится к установлению характерных огибающих записей землетрясений, произошедших на окружающих однородных участках, и аппроксимации их в область максимальных землетрясений при учете расстояния и частотной характеристики в зависимости от энергии.

В Туркменистане ведется интенсивное строительство, включающее важные промышленные объекты, архитектурные памятники, многоэтажные здания. Так как многоэтажные сооружения здесь начали строиться сравнительно недавно, макросейсмические сведения о реакции таких зданий на сейсмические воздействия, вызванные сильными землетрясениями, отсутствуют. Для территории Туркменистана нет и качественных акселерограмм - записей землетрясений ближней зоны, близких по энергии к максимальным. Так, например, для района Ашхабада имеются акселерограммы землетрясений энергетического класса не выше 12-го, записанные с использованиием ИСО+С-5С для регистрации сильных движений грунта. Качественные записи сильного Ашхабадского землетрясения 1948 г. получены лишь на больших расстояниях с применением средне- и длиннопериодной аппаратуры типа СК, CKD. Поэтому представляется важной разработка методики оценки сейсмических воздействий на грунты другими способами.

В ряде работ (Аптикаев, 1983; Копничев, 1985; Раутиан, Такер, Шпилькер, 1976) для расчета акселерограмм предлагается использовать данные по слабым местным землетрясениям. Слабые землетрясения происходят чаще, что позволяет в относительно короткие сроки накопить экспериментальный материал, достаточный для статистической обработки. Район Ашхабада в этом отношении является достаточно благоприятным. Здесь существует густая сеть региональных сейсмических станций, обеспечивающая представительный уровень регистрации землетрясений с энергетическим уровнем Kmin = 6. Работу региональных станций поддерживает сеть станций Ахалской экспедиции и НИИ сейсмологии, где используется аппаратура типа «Черепаха» (Казгеофизприбор). Накоплено большое количество записей станции «Ванновская», осуществлявшей с 1982 по 1994 гг. регистрацию с использованием ЧИСС (частотно-избирательная сейсмическая станция) и установленной в п. Ванновск, в 25 км от Ашхабада, со специальной целью оценки частотного состава колебаний при землетрясениях и построения очаговых спектров. С 1992 г. в п. Ванновск в рамках международного проекта ведется регистрация землетрясений автоматической цифровой сейсмической станцией АБКТ, работающей в непрерывном режиме. Использование ее данных стало возможным после разработки в Институте специального программного обеспечения, которое позволяет, помимо основных операций, автоматически определять спектры зарегистрированных землетрясений.

Разработанная методика оценки сейсмических воздействий включает ряд элементов, используемых разными авторами (Аптикаев, 1983; Копничев, 1985; Раутиан, Халтурин и др., 1975):

1. Изучение геолого-тектонического строения района в радиусе 100 - 200 км от стройплощадки.
2. Выявление на основе геолого-тектонических и сейсмологических данных участков сейсмогенерирующих структур, потенциально опасных для стройплощадки.
3. Определение для каждого такого выявленного участка магнитуды, глубины, преобладающего механизма очага максимального возможного землетрясения.
4. Изучение с использованием слабых местных и близких землетрясений закона затухания амплитуды колебаний на разных частотах в зависимости от расстояния для приведения спектра землетрясений на различных расстояниях от станции к референц-расстоянию (ro=10 км).
5. Установление закона изменения формы и уровня спектров землетрясений на фиксированном расстоянии ro с ростом энергии и расчет переходных функций $\beta(f)$.
6. Расчет спектра максимального землетрясения для каждой сейсмоопасной зоны в окрестностях стройплощадки.
7. Расчет акселерограмм максимальных землетрясений для каждой зоны с учетом расстояния до объекта, поляризации сейсмических волн, ориентации разрыва, местных грунтовых условий и других факторов.

Данная методика апробирована на стройплощадке в Ашхабаде.

Установление зависимостей параметров спектров местных землетрясений от энергии для перехода к спектру максимального события

Сейсмограммы землетрясений Ашхабадского района имеют характерные особенности, которые отражаются как в частотном составе колебаний, так и в форме огибающих сейсмических записей. При этом особенности формы огибающих записи из конкретного района, как показали исследования (Рустанович, 1975; Петрова, 1994), сохраняются как для слабых, так и для сильных землетрясений в широком диапазоне энергетических классов. Таким образом, задача расчета синтетических акселерограмм для грунтового основания стройплощадки на основе мониторинга слабых и умеренных землетрясений в ближней зоне сводится к установлению характерных огибающих записей землетрясений из однородных участков, окружающих стройплощадку, и аппроксимации их, с учетом расстояния и частотного наполнения в зависимости от энергии, в область максимальных землетрясений. Эта задача может решаться для близлежащей станции на скальном основании (например, "Ванновская"), с последующим учетом характеристик грунтов на участке строительства.

На первом этапе на основе всех доступных спектральных данных (ЧИСС, АБКТ, региональные аналоговые станции) устанавливался характер зависимостей от энергии спектральных параметров, на основе которых строился спектр максимального возможного землетрясения (M=7.5 для Ашхабадского района). На рисунке 1 приведена полученная зависимость для трех угловых частот.

На рисунке 2 показана полученная зависимость от энергетического класса дислокационного момента Φ_o связанного с сейсмическим моментом M_o согласно формуле $\lg\Phi o(м^3) = \lg Mo(Н{\cdot}м)+10.5$.

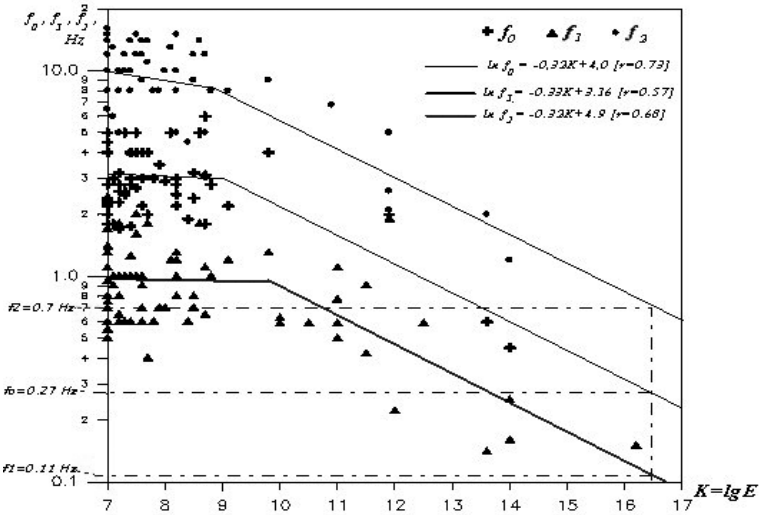


Рисунок 1. Зависимость угловых частот f_0, f_1, f_2 спектров от энергетического класса K землетрясений Ашхабадского района

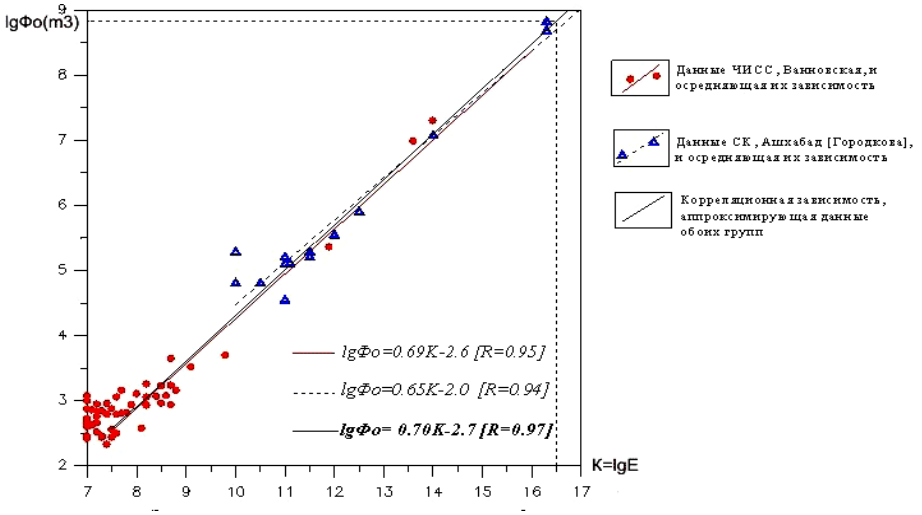
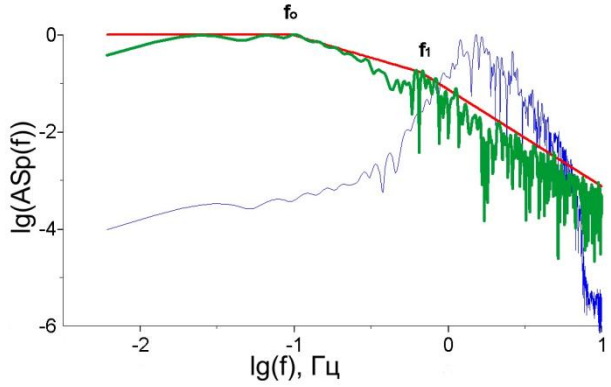


Рисунок 2. Зависимость дислокационного момента Φ_0 от энергетического класса землетрясений для Ашхабатского района (φ=37.7 – 38.3, λ = 57.9 – 58.7)

Преобразование уровня и формы спектра исходной сейсмограммы

Форма спектра Sh(ω) определяется как результат сглаживания исходного амплитудного спектра ASp(ω), выполненного в логарифмическом масштабе по оси амплитуд. Указанное преобразование проводится путем полиномиальной аппроксимации в скользящем окне частот, ширина которого подбирается в зависимости от несущей частоты конкретного сигнала. Путем перехода к билогарифмическому масштабу амплитуды и частоты, из исходного значения lg(ASp(ω)) вычитается lg(Sh(ω)) и полученная разность суммируется с теоретической кривой lg(Sho(ω)) с угловыми точками (f_1 и f_2) для заданной магнитуды (M) и очаговой зоны сильного землетрясения (рисунок 2). Пересчет полученного спектра к уровню, соответствующему землетрясению с магнитудой M, производится с помощью эмпирических зависимостей, применяемых для оценки классов энергии и магнитуд региональных землетрясений на территории Туркменистана. Рисунок 3 иллюстрирует преобразование амплитудного спектра исходного землетрясения в форму очагового спектра землетрясения с M=7.5, характерную для Ашхабадского района.



исходный амплитудный спектр, теоретическая форма амплитуды спектра для M = 7,6; трансформированный магнитудный спектр

Рисунок 3. Приведение частотного спектра S-N компоненты записи сейсмического события (22.03.2002 в 15:59:51, K=8) к форме и уровню спектра максимального землетрясения (M=7.5)

Пересчет к грунтовым условиям для заданной четвертичной толщи

Решение задачи о переходе к грунтовым условиям для заданной четвертичной толщи выполняется при ряде упрощающих предположений:

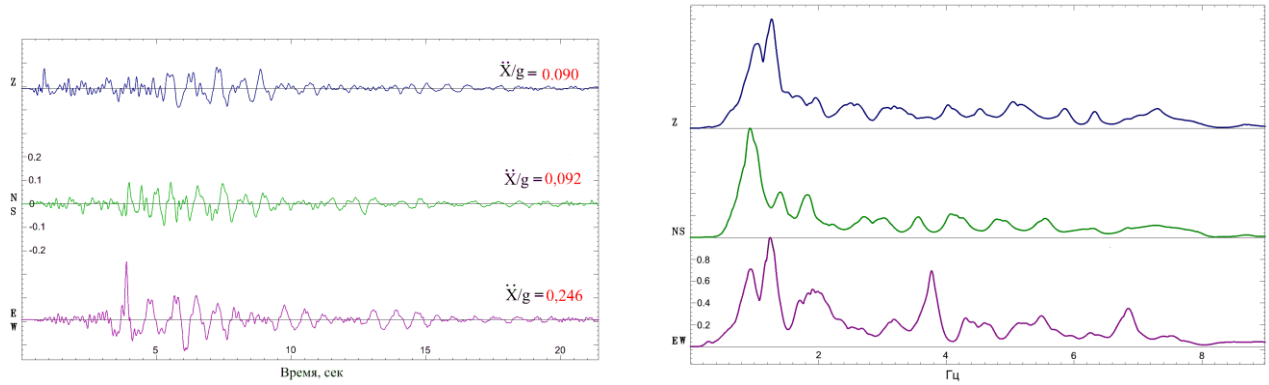
1. Упруго-вязкие свойства среды допускают локальное описание в рамках модели горизонтально–слоистой изотропной среды.
2. Эталонный участок территории и исследуемая площадка строительства имеют общее скальное основание.
3. Главная часть волнового поля от заданного сейсмического источника сформирована локально-плоскими волнами в узком интервале значений горизонтальных кажущихся скоростей.

Из вышеперечисленных упрощенных предположений следует, что колебание грунта в заданной точке исследуемой территории может быть представлено в виде результата интерференции преломленных и отраженных волн от нижнего полупространства (общего скального основания), где падающая волна однозначно определяется по основным параметрам сейсмического источника и параметрам сейсмической модели в районе эталонной площадки.

Пересчет колебаний для района эталонной площадки в поле падающих волн в нижнем полупространстве осуществляется послойно сначала сверху вниз - от свободной поверхности до нижнего уровня, - соответствующей многослойной толщи, лежащей на однородном скальном основании. Таким образом в результате получается исходное волновое поле без учета эффекта влияния вышележащих слоев со свободной поверхностью. Далее, указанный процесс пересчета обращается и осуществляется снизу вверх с учетом упруго-вязких свойств многослойной толщи для конкретной площадки строительства. В таблице представлены 4 сейсмические модели грунтов для различных площадок: п. Ванновский – коренные породы (модель 1); Берзенги (модели 2 - 4). Модели построены по данным сейсморазведочных работ для глубин 0 - 30 м, полученных НИИ сейсмологии Туркменистана и по данным сейсмокаротажа глубоких скважин (>30 м), проведенного Ахалской геофизической экспедицией ГК Туркменгеология.

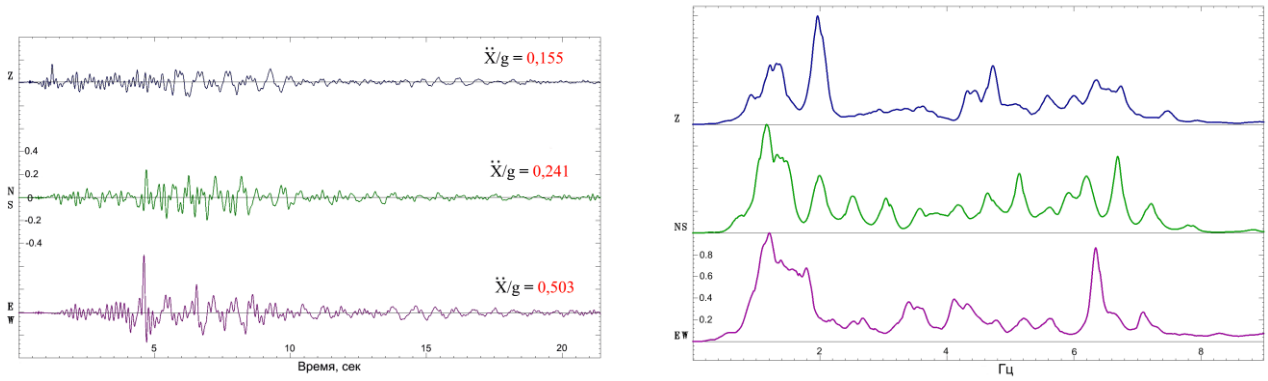
Таблица. Модели строения грунтов в местах регистрации акселерограмм

H,m	Vp, м/с	Vs, м/с	Qp	Qs	H,m	Vp, м/с	Vs, м/с	Qp	Qs
МОДЕЛЬ 1 -эталонная площадка (коренные породы)					16 - 26	1700	940	100	50
0	26 - 1026	2000	1140	175	26 - 1026	2000	1140	175	87
МОДЕЛЬ 2					1026 - 2026	4200	2425	200	100
0 - 8	670	350	50	25	МОДЕЛЬ 4				
8 - 18	1700	940	100	50	0-8	670	350	50	25
18 - 1018	2000	1140	175	87	8 - 16	750	390	50	25
>1018	4200	2425	200	100	16 - 24	900	470	50	25
МОДЕЛЬ 3					24 - 34	1700	940	100	50
0 - 8	670	350	50	25	34 - 1034	2000	1140	175	87
8 - 16	750	390	50	25	>1034	4200	2425	200	100



а б

Рисунок 4. Расчетная акселерограмма (а) и ее амплитудный спектр (б) для возможного сильного землетрясения с М=7.5 в эпицентральной точке с координатами 38.04; 58.33 (модель 1)



а б

Рисунок 5. Расчетная акселерограмма (а) и ее амплитудный спектр (б) для возможного сильного землетрясения с М=7.5 в эпицентральной точке с координатами 38.04; 58.33 (модель 4)

Влияние мощности грунтов на стройплощадке согласно моделям 1 – 4 проиллюстрировано рисунками 4 и 5 на примере акселерограмм, рассчитанных на основе землетрясения, произошедшего 05.09.2002 в 12:25:08.

Как видно из сравнения рисунков 4 и 5, с увеличением мощности осадочных отложений амплитудный уровень акселерограммы возрастает, очаговый импульс усложняется за счет наложения высокочастотной компоненты, спектр сигнала становится более изрезанным, на высоких частотах появляются дополнительные максимумы.

Поскольку гипоцентры всех исходных землетрясений являются точками одного из возможных очагов с М=7.5, каждая из них несет информацию о поляризации сейсмических волн и строении среды на пути из соответствующего гипоцентра до станции Ашхабад, и осреднение этих расчетных сейсмограмм дает интегральные характеристики очагового излучения. Однако такое осреднение само по себе является непростой задачей, включающей ряд предположений - о начальной точке, направлении, скорости вспарывания, конфигурации очага, механизме очага и др. Суммарная акселерограмма вычисляется без усложняющих предположений и при условии, что движение в очаге началось одновременно во всех его точках. Для приведения суммарной акселерограммы к уровню землетрясения с М=7.5 для каждой составляющей записи и каждой сейсмической модели были определены значения средних пиковых амплитуд путем осреднения амплитуд акселерограмм пяти ближайших к станции и максимальных по уровню событий:

$$x/gcpi = (\sum (x/g)_{ki})/5,$$

где i – составляющая записи (NS, EW или Z), k – номер землетрясения.

Полученные в результате расчетов нормировочные коэффициенты соответственно равны: kcpNScp = 0.61; kcpEW = 0.55; kcpZ = 0.37. Умножением на эти коэффициенты амплитуд ускорений суммарных акселерограмм получены осредненные акселерограммы, одна из которых (модель 4) представлена на рисунке 6.

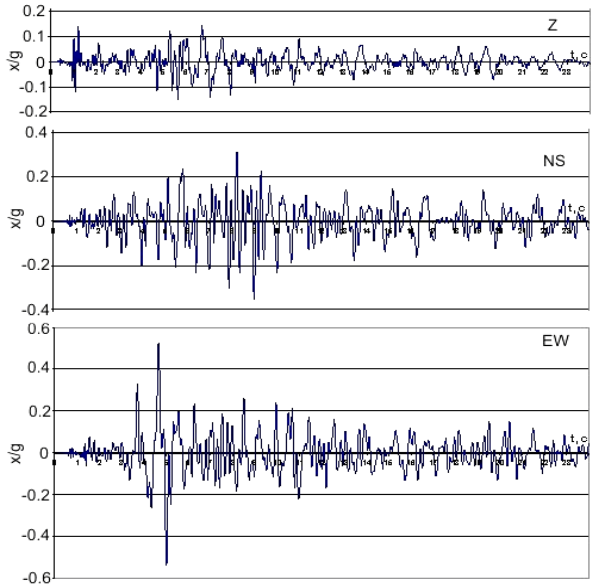


Рисунок 6. Осредненная синтетическая акселерограмма движений грунта в Ашхабаде при возможном максимальном землетрясении с MLH=7.5 для модели 4 (таблица) строения грунта в месте регистрации

Выводы

1. Установлены корреляционные зависимости спектральных параметров местных землетрясений Ашхабадского района от энергии, на основе которых методом экстраполяции построены прогнозные спектры смещения, скорости и ускорения максимального землетрясения в районе Ашхабада.

2. Разработан алгоритм расчета сильного землетрясения заданной магнитуды по записи слабого из того же очага, используя установленные экспериментально переходные функции от спектров слабых к сильным землетрясениям.

3. Предложен способ объединения акселлерограмм, полученных с использованием слабых землетрясений из разных частей протяженного очага прогнозируемого максимального землетрясения, зарегистрированных в ближней зоне.

АШҒАБАТ АУДАНЫНДАҒЫ ҚҰРЫЛЫС АЛАҢДАРЫНЫҢ ГРУНТ НЕГІЗДЕРІНЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ ӘСЕРЛЕРІН БАҒАЛАУ ҮШІН ЖЕРГІЛІКТІ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРІН ПАЙДАЛАНУ

Гаипов Б. Н.

Ғылыми-зерттеулік сейсмология институты, Ашгабат, Түрікменстан

Макросейсмикалық деректері жоқ болу жағдайында, құрылыстағы өндіріс нысаналары мен көп қабатты ғимараттардың грунт негіздеріне сейсмикалық әсерін бағалауына әзірленген және сынауынан өткізілген әдістемесі сипатталады. Әдістеме, жақын белдемдегі әлсіз және қоңыржай жерсілкінулер мониторингінде негізделген, қоршаған біртекті бөлікшелерде болған жерсілкінулердің ерекше жазбаларын белгілеуіне және оларды, қуатына байланысты қашықтығы мен жиіліктік мінездемесін есепке алуымен, максималь жерсілкінулер аумағында аппроксимациялауына саяды.

SMALL EARTHQUAKES FOR THE SEISMIC LOAD EVALUATION ON THE FOUNDATION SOIL OF CONSTRUCTION SITES IN THE ASHKHABAD AREA

B.N. Gaipov

The Research Institute of Seismology, Ashkhabad, Turkmenistan

This paper is devoted to the description of the method for seismic load evaluation on the foundation soil of construction sites and multistorey buildings in circumstances where there is no macroseismic data. The method is based on monitoring of small and average earthquakes in near zone, brining to the specific envelope curves of the earthquakes happened on surrounding homogeneous sites, and their approximation in the region of maximum earthquakes taking into account distance and frequency response depending on energy.

УДК 550.34(574.2):504.064

ИЗ ИСТОРИИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ “БОРОВОЕ”

Васильев А.П.

Служба специального контроля Министерства обороны Российской Федерации, Москва

Приводятся основные моменты становления и развития Геофизической обсерватории «Боровое» - первая сейсмическая запись ядерного взрыва на Семипалатинском испытательном полигоне в 1951 г., эксперименты в связи с трехсторонними переговорами между СССР, США и Великобританией, строительство лабораторий, создание уникальной сейсмической системы группирования и архива цифровых сейсмических записей ядерных взрывов.

В течение многих миллионов геологических и биологических лет в степных просторах Северного Казахстана сформировался уникальный по красоте и благодатный для здоровья природный островок – Кокшетау (Синегорье). Еще одним ценным и скрытым его свойством является то, что оно открыто в середине XX века в результате геофизического обследования. Инструментальные исследования, проведенные в национальном заповеднике Бурабай (Боровое) недалеко от горы Кокше (Синюха) на берегу озера Боровое, выявили уникальные возможности для организации здесь постоянных наблюдений за геосферами, в первую очередь, для создания высококлассной сейсмической станции, позднее превратившейся в Геофизическую обсерваторию “Боровое”.

Истории ГО «Боровое» посвящено много работ [Султанов,1995; Рубинштейн,1997; Ан, Коновалов,1998; Адушкин, Ан и др. 2000]. Целью настоящей публикации является освещение малоизвестных фактов и ранее не упомянутых фамилий специалистов, причастных к строительству станции, ее взаимодействию со Службой специального контроля, превращению станции в Экспедицию Спецсектора ИФЗ АН СССР и позднее - в Геофизическую обсерваторию Института геофизических исследований НЯЦ РК. Использованные воспоминания непосредственных участников событий, отдельные публикации и фотографии из личных архивов дополняют историю 55-летнего периода геофизических работ на берегу озера Боровое - от первого зарегистрированного сигнала ядерного взрыва до организации непрерывных современных наблюдений.

Сигнал в пещере Кенесары

В середине 1951 г. сотрудники Геофизического института АН СССР (ГЕОФИАН) проводили в пос. Боровое полевые работы по испытанию нового высокочастотного сейсмографа Гамбурцева, предназначенного для обеспечения неискаженной записи высокочастотных составляющих спектра ближних землетрясений и сигналов сейсморазведки. По воспоминаниям участницы этих работ, старейшего сотрудника ГЕОФИАН и летописца по призванию Хаси Давидовны Рубинштейн *“…в 1950 г. И.П. Пасечник, только что переведенный в отдел по прогнозу землетрясений, руководимый Г.А. Гамбурцевым, защитил кандидатскую диссертацию на тему “Исследования контакта сейсмографа с почвой”*[3]. Работа была посвящена исследованию природы явлений резонанса, возникающих в системе “почва-сейсмограф”, оптимизации параметров сейсмографа (веса, радиуса основания, соотношения между подвижной и неподвижной массами) и способов его установки. Практической реализацией результатов исследований стало применение сейсмографов в практике сейсморазведки и в разработке совместно с Е.В. Карусом нового геофизического метода для изучения малых глубин на частотах от 100 до 3000 Гц и получившего название сейсмоакустического метода или сейсмоакустики [5]. *«…В развитие диссертационной работы И.П. Пасечнику в 1951 г. было поручено руководство экспедицией на курорте Боровое по проведению всесторонних испытаний высокочастотного электромагнитного сейсмографа Гамбурцева с большой инертной массой. В состав отряда экспедиции входили сотрудники ГЕОФИАН Н.Е. Федосеенко, Х.Д. Рубинштейн, Н.М. Нефедов, М.Г. Шешеро, А.Б. Шофлер, механик Михайлов, шофер и практикант, запомнившийся всем по прозвищу “флейтист” (рисунок 1).*

Слева направо: механик Михайлов, практикант-студент, шофер, Х.Д. Рубинштейн, Н.М. Нефедов, М.Г. Шешеро, А.Б. Шофлер

Рисунок 1. Участники первой экспедиции в Боровом (лето 1951 г.)[фото Н.Е. Федосеенко]

Испытания проводились в различных местах вокруг озера Боровое: в горах, в лесу и пещере Кенесары. В пещере на выходах кристаллических пород сейсмографы были установлены в палатке под скалой (рисунок 2). Рядом в палатке жили операторы, а остальные - в пионерлагере на противоположном берегу озера. Во время круглосуточной регистрации в период с 1 августа по 30 сентября 1951 г., а именно 24 сентября оператор Нефедов, зайдя в палатку с регистрирующей аппаратурой, увидел “бегающие” по ленте “зайчики». Заподозрив, что кто-то ходит возле пещеры, он стал кричать, но кругом никого не было”. После проявления фотоленты оказалось, что записаны сейсмические волны.

а – в 1951 г. (отмечено крестиком)

б – в 2004 г

Рисунок 2. Вид на место установки сейсмоприемников в пещере Кенесары

Возможно, на снимке 1951 г (рисунок 3) Н.Е. Федосеенко рассматривает эту запись. В Москве было установлено, что источником случайно записанных сейсмических волн 24 сентября 1951 г. был второй советский ядерный взрыв, произведенный на вышке Семипалатинского полигона» [3]. Как теперь известно, мощность взрыва была 38 кт [11]. Несмотря на плачевную участь той сейсмограммы (сожжена по режимным соображениям), она сыграла важную роль в становлении в СССР сейсмического метода обнаружения ядерных взрывов и нового направления в прикладной геофизике - сейсмологии ядерных взрывов.

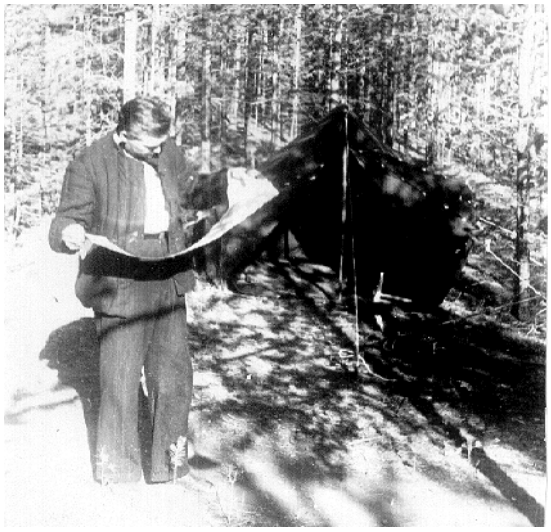


Рисунок 3. Федосеенко Н.Е рассматривает одну из сейсмограмм, полученных в пещере Кенесары в 1951 г.

На основе сейсмических сигналов от первого и второго отечественных атомных взрывов, а также зарубежных публикаций, уже в декабре 1951 г. Г.А. Гамбурцев внес в Первое Главное управление при Совете Министров СССР предложение о создании в стране системы обнаружения ядерных взрывов, производимых на всем Земном шаре. Эта идея начала реализовываться 6 февраля 1954 г., когда по инициативе Президента АН СССР академика А.Н. Несмеянова и директора ГЕОФИАН академика Г.А. Гамбурцева вышло распоряжение Совета Министров СССР о создании в ГЕОФИАН сейсмометрической лаборатории (позже - лаборатории 5”С”) и строительстве для нее двух высокочувствительных сейсмических станций. 6 февраля 1954 г. можно считать датой создания в СССР системы дальнего обнаружения ядерных взрывов. И.П. Пасечник с тех пор бессменно, вплоть до 1988 г., возглавлял эту лабораторию, развивавшую сейсмологию ядерных взрывов и сейсмический метод их обнаружения. Правда, самые первые специальные сейсмические станции ГЕОФИАН были построены в 1954 - 1955 гг. в Михнево и Кульдуре, а не в Боровом, так как в первой половине 50-х годов XX века большинство испытаний ядерного оружия США и Великобритании приходилось на Тихоокеанские полигоны, и местом на территории Советского Союза, максимально приближенным к этим полигонам, стал Кульдур, а станция в районе Михнево вблизи Москвы была базовой для сейсмометрической лаборатории не только для регистрации сигналов ядерных взрывов, но и для отработки новых образцов аппаратуры и методик дальнего обнаружения взрывов.

Начиная с 1957 г. в США наметилась тенденция к проведению испытаний ядерного оружия под землей на полигоне в штате Невада. Это привело к проведению экспериментальных работ в ИФЗ АН СССР (преемнике ГЕОФИАН) по поиску мест для наиболее эффективной регистрации сигналов подземных ядерных взрывов (ПЯВ) сейсмическим методом, ставшим практически единственно возможным для регистрации ПЯВ на больших расстояниях. Об этом времени Х.Д. Рубинштейн вспоминает: *«В Боровое в 1958 г. была снаряжена вторая экспедиция. Возглавляла ее сотрудница сейсмометрической лаборатории Е.И. Люкэ. В состав отряда входили также А.М. Поликарпов, Л.Н. Ворожцов, Х.Д. Рубинштейн, шофер и повариха. Остановились у подножья пещеры Кенесары, где поставили палатки с регистрирующей аппаратурой и для жилья (рисунки 4, 5). Сейсмографы поставили в том же месте, что и в 1951 г. Связь с Москвой была только по телеграфу на почте. Машина каждый день ездила в поселок на почту. Ждали условный текст: “Встречайте груз Ивана Петровича тогда-то (что означало дату взрыва), № квитанции такой-то (что означало время взрыва). Но чтобы никто на почте не догадался, о чем идет речь, к данным телеграммы надо было прибавлять +1 и +2. В общем, прожили мы целый месяц, но ни одного взрыва не записали, так как телеграммы приходили с опозданием».*

Рисунок 4. Вид на лагерь экспедиции в Боровом в 1958 г.

Рисунок 5. Жилые палатки и камералка под открытым небом экспедиции в Боровом в 1958 г.

В то же время анализ записанного микросейсмического шума в полосе регистрации сигналов от ядерных взрывов показал, что место регистрации в Боровом относится к “тихим”, что вполне соответствовало требованиям к контрольным станциям, согласованным на совещании экспертов в 1958 г. в Женеве. В советской делегации экспертами по сейсмическому методу были М.А. Садовский, И.П. Пасечник, К.Е. Губкин, Ю.В. Ризниченко, В.И. Кейлис-Борок.

В 1960 г. со времени избрания директором ИФЗ АН СССР члена-корреспондента АН СССР М.А. Садовского начинается строительство сейсмической станции “Боровое”, о чем Х.Д. Рубинштейн, назначенная начальником экспедиции № 3 для осуществления этого строительства, пишет в своих воспоминаниях: «*…В состав отряда входил мой муж Р.А. Аляутдинов, отвечавший за строительство, и шофер Медведев. Пока завозили на место строительства 2 финских домика, мы жили и работали на берегу Голубого залива. Приборы установили в подвале правительственной дачи, а жили на даче Управления угольной промышленности Казахской ССР. Так что сейсмическая станция в Боровом фактически начала работать в 1960 г. Весной 1961 г. переехали на место строительства, где в настоящее время располагается ГО “Боровое”. Построили сарайчик для регистрирующей аппаратуры, а сейсмографы поставили в яму, где предполагалось строительство станции. Сами жили в железном фургончике. Построенная сейсмическая станция (рисунок 7) начала работать с 7 ноября 1961 г. на месте, где сейчас стоит новый жилой дом на горке”.*

Рисунок 6. Первое здание сейсмостанции в Боровом. Ноябрь 1961 г.

На месте первой сейсмостанции “на горке” в настоящее время расположено административно-жилой комплекс № 4 (рисунок 8).

Рисунок 7.Гостиничный корпус № 1 (слева), первое здание сейсмостанции в Боровом (справа)

Рисунок 8. Гостиничный корпус № 1 (слева), административно-жилой корпус, построенный на месте первого здания сейсмостанции (справа)

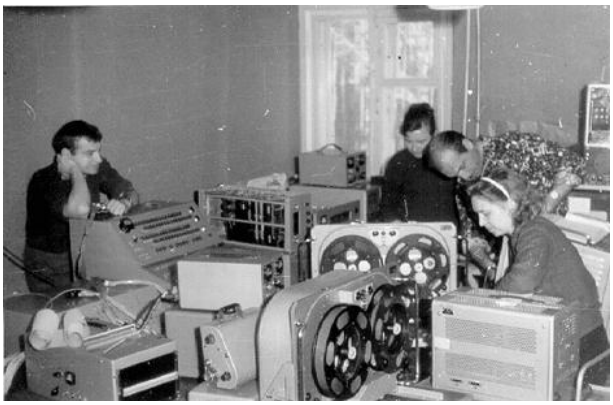
Рисунок 9. Первый начальник сейсмостанции в Боровом Х.Д. Рубинштейн на месте расположения первых углубленных сейсмических датчиков

Самый первый ПЯВ из произведенных в Неваде и зарегистрированный в Боровом, был взрыв 15 сентября 1961 г. (mb=4,7; q=2,6 [18]). Первые надежные оценки эффективности станции относительно взрывов на полигоне Невада были сделаны по результатам, полученным с помощью приборов, установленных в накрытом крышкой “приямке” (рисунок 9). В 1962 г. - первом году наиболее интенсивных подземных ядерных испытаний в Неваде (59 взрывов за год), на сейсмостанции в Боровом было зарегистрировано 22 взрыва. Это был лучший результат по сравнению со всеми остальными сейсмическими станциями СССР и, тем более, лабораториями ССК МО.

В 1962 г. в Боровом была организована регистрация возмущений электромагнитного поля Земли от высотных ядерных взрывов, положившая начало многочисленным геофизическим наблюдениям. Расширились работы по испытаниям цифровой регистрирующей аппаратуры. Лабораторных помещений стало не хватать. Примитивные приборные сооружения не удовлетворяли требованиям высокой чувствительности датчиков. Началось совершенствование сейсмических наблюдений за подземными ядерными взрывами малой мощности на Невадском полигоне, и усилились работы по автоматизации геофизических наблюдений. Инициатором этих исследований выступил П.В. Кевлишвили - начальник лаборатории электронной автоматики и фактический руководитель Спецсектора ИФЗ АН СССР, переведенного в 1963 г. из ИХФ в ИФЗ АН СССР. Для реализации планов по модернизации сейсмостанции в 1965 г. была создана Экспедиция № 4 Спецсектора. Как шутит старейшина Спецсектора Д.Д. Султанов, номер «4» экспедиция получила с учетом всех экспедиций, проведенных в Боровом с участием Х.Д. Рубинштейн: № 1 - в 1951 г., № 2 - в 1958 г., № 3 - в 1960 - 1961 гг. На самом деле, в 1965 г. в Спецсекторе ИФЗ АН СССР было 4 экспедиции: № 1 работала в Михнево, № 2 – в Кульдуре, № 3 – на временных выносных пунктах вокруг Семипалатинского полигона и № 4 – в Боровом.

Под руководством П.В. Кевлишвили, бессменного научного руководителя Экспедиции № 4, уже в 1965 - 1966 гг. было построено и введено в эксплуатацию двухэтажное здание лабораторного корпуса № 1 (рисунок 10).

Рисунок 10. Здание лабораторного корпуса № 1 (2006 г.)



Слева направо: В.Н. Бурчик, И. Кондратьева, Р.Р.Маркарян (руководитель группы), В.Н. Кузнецова

Рисунок 11. Настройка аппаратуры в здании лабораторного корпуса № 1. 1966 г.

Помимо регистрирующей аппаратуры в лабораторном корпусе устанавливалось все больше новых образцов измерительных приборов и технических средств. Так, здесь начали работать одни из первых образцов цифровой аппаратуры и здесь же началось накопление цифровых записей ядерных взрывов и землетрясений (рисунок 11). В 1965 - 1966 гг. стали обновляться приборные сооружения, начиная со строительства капитальной штольни (рисунок 12а). Однако место, выбранное под штольню, не обеспечило высокочувствительную регистрацию, особенно длиннопериодными каналами, поэтому в 1972 - 1973 гг. ниже штольни была пройдена шахта глубиной около 18 м (рисунок 12б).

До строительства штольни сейсмоприемники устанавливались во временном обвалованном приборном сооружении (теперь – овощехранилище, рисунок 13).

а – в штольню (первое капитальное приборное сооружение)

б – в приборную шахту (снимки 2006 г.)

Рисунок 12. Вход в приборные сооружения в Боровом

Рисунок 13. Вход во временное приборное сооружение (снимок 2006 г.)

Здание первой сейсмостанции (рисунок 14а) прослужило более 10 лет. Для сотрудников ИФЗ АН СССР (рисунок 14б) на протяжении многих лет, вплоть до разборки здания в 1974 г., сейсмостанция являлось таким же рабочим местом как здания на Большой Грузинской и на Ленинском проспекте в Москве.

В лабораторном корпусе № 1 (рисунок 10) продолжали регистрировать сигналы от ядерных взрывов на полигонах США, СССР, Франции, КНР и Индии. Здесь велись наблюдения магнитного поля Земли, теллурических токов, акустических колебаний атмосферы, метеорологических явлений, скорости распространения радиоволн. Здесь же были проведены испытания новых комплексов аппаратуры цифровой регистрации и обработки геофизической информации с использованием вычислительной техники. Экспедиция по существу превратилась в основной экспериментальный полигон по отработке автоматизированных цифровых геофизических средств и систем для Единой сети сейсмических наблюдений СССР, тесно взаимодействующей с соответствующими отделами ИФЗ и Комплексной сейсмологической экспедицией. Зачастую командированных на станцию (в экспедицию) прибывало больше, чем был основной состав.

а – 1970 г

Слева направо: В.А. Коновалов, В.П. Точиловский, Л.В. Точиловская, А.А. Васильев [фото С.К. Дарагана]

б – один из последних снимков. перед разборкой здания в 1974 г

Рисунок 14. Первое здание сейсмостанции в Боровом

Порядок и четкую организацию работ обеспечивал небольшой коллектив станции, начальником которой после Х.Д. Рубинштейн стал Маслов. Первым начальником экспедиции был назначен Ю.В. Фесенко-Навроцкий. В 1968 г. его сменил В.А. Ан, который до 1975 г. в должности начальника, а затем до 1991 г. в должности заместителя начальника по научной работе, сумел организовать интенсивную работу по всем направлениям при постоянном внимании и научном руководстве со стороны П.В. Кевлишвили. Все эти годы почти не прекращалось строительство жилых и гостиничных зданий, приборных и лабораторных корпусов, служебных и вспомогательных сооружений. Большой вклад в строительство и функционирование экспедиции был внесен ее начальниками, последовательно, Е.Н. Вишняковым, А.А. Голубевым и В.К. Лампеем. Плоды интенсивного строительства по планам П.В. Кевлишвили можно увидеть воочию. Кроме уже упомянутых приборных сооружений, сохранились павильон абсолютных магнитных измерений (рисунок 15), павильон магнито-вариационной станции В.Ф. Шельтинга (рисунок 16), приборные сооружения для вертикальных и горизонтальных датчиков измерения электромагнитных вариаций Земли (рисунок 17), павильон автоматизированного сейсмического комплекса «Парус-2» (рисунок 18).

Сооружено большое количество скважин разного диаметра для вертикальных и трехкомпонентных скважинных сейсмических датчиков (рисунки 19, 20).

Рисунок 15. Павильон абсолютных магнитных измерений

Рисунок 16. Павильон магнитно-вариационной станции В.Ф. Шельтинга

Рисунок 17. Павильоны для датчиков измерения вариаций электромагнитного поля Земли (вертикальных и горизонтальных)

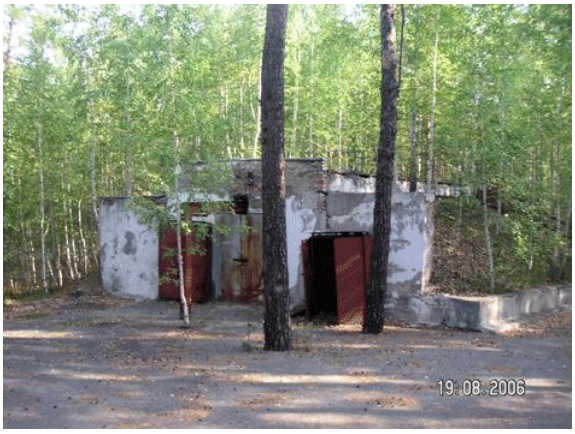


Рисунок 18. Павильон над скважинами комплекса «Парус-2»

Рисунок 19. Устья скважин диаметром 128 мм

Наиболее современное здание - лабораторный корпус № 2, - построено в 1978 г. (рисунок 21).

Все приборные сооружения связаны с лабораторными корпусами № 1 и № 2 кабельными каналами из асбестоцементных труб и большого количества промежуточных кабелесборных колодцев.

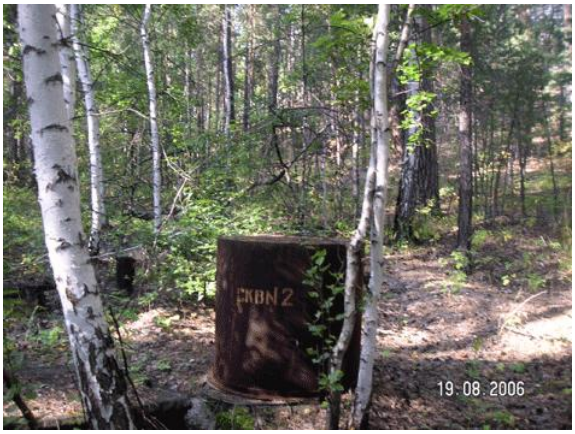


Рисунок 20. Колпак над устьем скважины большогодиаметра

Рисунок 21. Здание лабораторного корпуса № 2

В годы, непосредственно предшествующие развалу СССР, облик территории украсило кирпичное здание пансионата «Сатурн» (рисунок 22), построенное силами Минсредмаша для приема зарубежных представителей в связи с расширением международного сотрудничества по контролю за ядерными испытаниями. Главный инженер проекта - А.А. Григорян. Вместительная и удобная гостиница оригинальной архитектуры удивительно органично вписалась в красивый береговой ландшафт (кстати, основные художественно выразительные детали - круглые башни впереди и сзади здания, окна с полуарками, балкончики с дутыми решетчатыми перилами, высокая фигурная красная черепичная крыша и др., - узнаваемы в другом сооружении, построенном в Москве по проекту А.А. Григоряна для «ПромНИИПроект», ныне - торговый центр «Москва», рисунок 23).

Рисунок 22. Пансионат «Сатурн» в Боровом (по проекту А.А. Григоряна)

Рисунок 23. Автомобильный торговый центр «Москва» на фундаменте и стенах здания «ПромНИИпроект» (по проекту А.А. Григоряна)

ЭКСПЕДИЦИЯ № 4 И СИСТЕМЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ГРУППИРОВАНИЯ В БОРОВОМ

На высокую эффективность Борового относительно ядерных взрывов на полигоне Невада обратил внимание основатель Службы специального контроля (ССК) генерал-майор А.И. Устюменко. По его инициативе в Боровом в 1961 г. была организована экспедиция группы специалистов Научно-исследовательского центра спецконтроля (НИЦ СК) с целью регистрации ядерных испытаний, возобновившихся после моратория, во время трехсторонних переговоров между СССР, США и Великобританией. Тогда были опробованы разработанные НИЦ СК образец комплекта сейсмической аппаратуры с электромеханическим фильтром (т.н. “видимая запись”) и макет лабораторного микробарографа, защищенного от помех с помощью корреляционного приема сигналов воздухозаборниками, разнесенными по площади. С получаемыми материалами сейсмической регистрации ядерных взрывов с начале 60-х годов в Боровом работал научный сотрудник НИЦ СК Ю.В. Морокко.

Как только ССК получила самостоятельность в составе 12 Главного управления МО в 1966 г., было принято решение о строительстве лаборатории спецконтроля (ЛСК) в районе Борового. П.В. Кевлишвили, владевший информацией о более высокой эффективности регистрации сигналов в Зеренде (примерно в 100 км от Борового), рекомендовал организовать ЛСК там. Однако рекогносцировочная комиссия ССК, возглавляемая В.А. Лаушкиным, для сохранения ранее подтвержденной высокой эффективности регистрации сигналов с полигонов Невады, выбрала «место посадки» приборного сооружения в непосредственной близости от экспедиции № 4 (рисунок 24).

Рисунок 24. Вход в бывшую штольню радиосейсмической лаборатории ССК МО в Боровом (РСЛ-0). Гора Воробьиха. Снимок 2004 г. (ныне штольня не используется, но может пригодиться науке)

Взаимодействие экспедиции в Боровом с военными службами, начиная с 1969 г., составило отдельную главу ее истории. Передача опыта регистрации ядерных сигналов в условиях Борового способствовало быстрому становлению лаборатории спецконтроля. Благодаря вкладу этой лаборатории эффективность обнаружения подземных ядерных взрывов наблюдательной сетью ССК, в том числе взрывов малой мощности, проводимых в штате Невада, с 1970 г. резко возросла. Сотрудничество ученых и военных не прерывалось в течение более 20 лет. С целью снижения порога регистрируемых сигналов в Боровом шло совместное освоение построенной в воинской части сейсмической группы «Крест», затем первых в Советском Союзе групп «Большой треугольник» и «Ожерелье». Одновременно проходило внедрение в практику геофизических наблюдений технических и вычислительных средств цифровой регистрации и обработки сигналов, разработка и отладка математического и программного обеспечения автоматизированных каналов регистрации и обработки данных в режиме реального времени. Картина тесного многолетнего сотрудничества экспедиции № 4 и ЛСК, отраженная ранее в [4, 7 - 10], может быть дополнена несколькими фрагментами воспоминаний коренного боровчанина Юрия Григорьевича

Кравченко, работа которого более 30 лет была неразрывно связана с обоими коллективами [по письму Ю.Г. Кравченко из личного архива автора]. *«…В 1969 г. судьбе было угодно познакомить меня с Вадимом Александровичем Аном. Он определил меня механиком по датчикам. Основной упор был сделан на скважинные сейсмоприемники большого увеличения СБУ-В. Сроки были сжатые, Павел Васильевич Кевлишвили торопил с запуском «Треугольника» Боровое – Жукей - Бармашино.* (на этом «Треугольнике» - предтече будущего «Большого треугольника», - Спецсектор и экспедиция отрабатывали методические основы большебазового группирования сейсмометров. – комментарий в скобках здесь и далее - авторский). *Работала группа специалистов ИФЗ и мы – работники экспедиции: начальник отряда В.Е. Морозов, инженер В.К. Лампей и я. Трудно было разбираться с новой техникой, но, несмотря на это, в октябре 1969 г. «Треугольник» заработал. Регистрацию вели на фотобумагу* (на самом деле регистрация проводилась с помощью цифровой станции «Код» [4]). *К этому времени я полностью освоил датчик СБУ-В со всеми его «нюансами» настройки и эксплуатации. В.А. Ан говорил тогда, что в этом мое будущее, хотя сам я толком еще не понимал, в чем оно. Но вот в конце 1969 г. в экспедиции появились военные в гражданской форме. Это были В.В. Ляхов, В.И. Красильников, Л.Р. Максимов, В.В. Сухотин, Н.В. Цыбанов и другие офицеры. Они очень внимательно знакомились с работающей у нас аппаратурой и перенимали наш опыт. Теперь стало ясно, что мы работаем на военных* (здесь Ю.Г. несколько преувеличивает. Экспедиция выполняла обширную программу геофизических исследований, в том числе ряд НИР в интересах ССК, помогала коллективу ЛСК наладить регистрацию сейсмических сигналов во временных сооружениях). *Так продолжалось до 1973 г. В это время развертывалось строительство объектов сейсмического группирования Боровской ЛСК, которую вскоре стали называть радиосейсмической лабораторией (РСЛ). Особенно много было разговоров о множестве скважин, которые бурились на территории заповедника «Боровое». И вот 12 декабря 1973 г. вызывает меня В.А. Ан. Я думал, что «на ковер», но, оказалось, по другому поводу. В.А. познакомил меня с находившимся у него командиром воинской части-ЛСК Виталием Ивановичем Васневым и объявил о моем временном прикомандировании к воинской части для запуска и настройки датчиков СБУ-В* (начинались работы по установке в скважинах и настройке датчиков СБУ-В на центральной группе “Крест”, состоявшей из 21 скважины, распределенных по двум взаимно перпендикулярным профилям с расстоянием между скважинами 2,25 км). *Эта «командировка» продлилась 20 лет со всеми вытекающими последствиями! За это время офицеры группы обслуживания «Креста» и «Ожерелья»* (3 кольцевые группы диаметром по 6 км из 6 скважин и шахты на каждом выносном пункте в вершинах «Большого треугольника) *менялись, а я оставался один с аппаратурой, которую необходимо было изучать, запускать и обслуживать, а также все время учить других. Особенно трудным был этап становления, а в нем 1974 г. Параллельно с запуском группы «Крест» были начаты строительные работы на выносных пунктах «Чкалово», «Зеренда» и «Восточный». Группа В.В. Сухотина пополнилась молодыми офицерами А.Л. Колесниковым и В.Н. Корниенко, на которых была возложена задача по вводу и обслуживанию группы «Крест», строительству и монтажу оборудования на выносных пунктах, соответственно. Работать приходилось много и напряженно, не считаясь с рабочим временем и погодно-климатическими условиями. Особо осложняли работы суровые морозы «оазиса Казахстана - Борового» зимой и круглогодичное бездорожье на профилях «Креста». Техника отказывала, а люди выдержали. Приходилось быть изобретательным. Бурильщики после сдачи скважин, сразу же демонтировали буровые установки. Каротажная машина в часть еще не поступила. Пришлось сконструировать и изготовить перевозимую лебедку с барабаном большой емкости для каротажного кабеля. С ее помощью мы поднимали и опускали датчики СБУ-В на глубину от 90 до 210 м. Когда получили опытный образец многоканального усилительного комплекса «Рубин», начали вводить его в эксплуатацию. Мозговым центром и техническим координатором всех работ стал В.И. Красильников. Он отвечал за промежуточные и оконечные усилители, за дополнительные устройства. Мы с А.Л. Колесниковым – за датчики и выносные усилители. 105 км кабельных линий были под контролем Л.Р. Максимова. Каждый отвечал за свой участок, но чаще нам приходилось работать вместе. Надо отдать должное «парням» - они меня, старшего по возрасту, щадили. Я всегда выполнял роль «следящего ока» на центральном пункте «Креста» и поддерживал связь с периферийными пунктами и штабом…» (рисунок 24).*

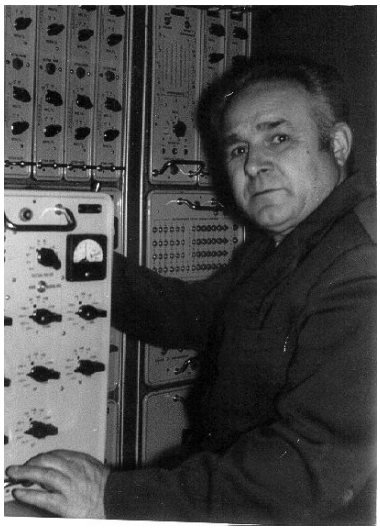


Рисунок 25. Кравченко Ю.Г. проводит регламентные работы на аппаратуре «Рубин»

Ю.Г. Кравченко до последнего дня службы и после развала СССР продолжал поддерживать группу «Крест» и большебазовую систему группирования в работоспособном состоянии, придумывая новые устройства и усовершенствования. Им внедрено 52 рационализаторских предложения, часть которых была принята разработчиками и реализована в серийных образцах аппаратуры.

Итак, к 1980 г. в Боровом рядом с экспедицией № 4 военными при непосредственном участии Спецсектора и Экспедиции № 4 была создана РСЛ ССК МО. Площадка со штабом и казармой, солдатской столовой и автопарком, складами и другими вспомогательными сооружениями находилась прямо в центре поселка. Поблизости поднялись три пятиэтажных жилых дома. Основная техническая площадка с двумя двухэтажными техническими зданиями, оснащенными аппаратурой радиотехнического и геофизических методов обнаружения, располагалась примерно в 1 км от экспедиции № 4. Здесь были сосредоточены также антенные сооружения для радиотехнического метода и службы единого времени, немагнитный павильон для размещения датчиков магнитного метода, площадка для аэрозольного метода с вертикальным и горизонтальным планшетами и с павильоном для фильтро-вентиляционной установки (акустическая система усреднения «Паук» на входе аппаратурного комплекса инфразвукового метода РСЛ была предоставлена Экспедицией № 4). Непрерывная сейсмическая информация поступала на обработку в техническое здание по кабелю от сейсмодатчиков, установленных в уже упоминавшихся штольне и скважинах группы «Крест». От выносных пунктов системы «Большой треугольник» информация поступала по радиорелейным линиям связи.

Сотрудничество ученых и военных продолжалось также в области совершенствования математического и программного обеспечения автоматизированной многоканальной регистрации и обработки сейсмической информации в режиме реального времени. К середине восьмидесятых годов прошлого века в Боровской РСЛ функционировал семимашинный аппаратурно-вычислительный комплекс на базе СЦВМ «Планета-3» - плод совместных усилий разработчиков математического и программного обеспечения из НИЦ СК МО, аппаратурщиков Спецсектора, ОКБ ИФЗ АН СССР, НИИ автоматической аппаратуры Минсредмаша и инженеров РСЛ.

РСЛ-0 (такое обозначение имела Боровская РСЛ, как основная среди других РСЛ ССК МО) превратилась не только в передовую лабораторию спецконтроля, имеющую межмашинный обмен с Вычислительно-обрабатывающим центром ССК МО, но и в кузницу офицеров-специалистов, распространявших передовой опыт цифровой регистрации и обработки непрерывной сейсмической информации в другие воинские части и центр ССК МО. Не случайно из РСЛ-0 вышли два начальника Службы специального контроля: генерал-майоры Ю.В. Черепанов (1994 - 1998) и А.Л. Колесников (1998 - 2003).

Когда в конце 80-х от РСЛ-0 командование ССК потребовало поднять чувствительность регистрации событий по Неваде еще больше, чем давали все сейсмические группы, вместе взятые, руководство РСЛ вспомнило рассказы старожилов о замечательных свойствах скалы, в которой находится пещера Кенесары. Ю.Г. Кравченко осуществил в пещере с питанием от аккумуляторов двухсуточную непрерывную регистрацию с миллионным увеличением. Однако сопоставление полученных результатов показало, что выигрыш по сравнению со штатными каналами не получен, а сверхчувствительность пещеры относится, по-видимому, к области легенд. В конце XX века Ю.Г. Кравченко был привлечен к участию в проекте Международного научно-технического центра (МНТЦ) по восстановлению и модернизации сейсмической группы «Большой треугольник». После нескольких лет работы, в 2000 г. во время I Международной конференции в Боровом, он демонстрировал участникам конференции аппаратуру работающих выносных пунктов «Зеренда», «Чкалово» и «Восточный» (рисунок 26).

Справа налево: Пол Ричардс (США), А.Л. Колесников (РФ), Ш.Т. Тухватулин (РК), И.А. Тюрин (МНТЦ), Ю.О. Старовойт (ОДВЗЯИ)

Рисунок 26. Ю.Г. Кравченко знакомит участников I Международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий» с модернизированным аппаратурным оснащением на выносном пункте «Чкалово» большебазовой системы группирования

Среди участников присутствовал и генерал-майор Колесников А.Л., не скрывавший удовлетворения от успехов своего бывшего наставника и подчиненного.

Об уникальности сейсмических записей ГО “Боровое”

Широкую известность ГО “Боровое” приобрела не только благодаря особым сейсмогеологическим условиям, но и полноте архива цифровых записей за три десятка лет. Архив, в том числе цифровых записей, несмотря на многие модернизации аппаратуры магнитной записи и воспроизведения, оставался не тронутым и всегда воспроизводимым. В этом большая заслуга П.В. Кевлишвили и В.А. Ана, которые возвели хранение и поддержание полученных материалов в ранг важнейшей задачи экспедиции. Благо-

даря инициативе П.В. Кевлишвили и В.А. Ана фрагменты непрерывной сейсмической информации от ядерных взрывов и землетрясений со всех датчиков сейсмических групп “Крест” и “Большой треугольник” с помощью переносимых магнитных лент переписывалась в Экспедиции № 4, где обрабатывалась и хранилась. В результате удалось сохранить уникальные данные сейсмических групп о сигналах от взрывов и землетрясений. В ряде случаев эта информация сыграла бесценную роль при повторном анализе ситуаций, подозреваемых на проведение ядерных испытаний. Об уникальности данных Борового автор знает не понаслышке. В 1971 - 1975 гг. в ССК проводились исследования интерференционных особенностей продольных сейсмических волн от подземных ядерных взрывов в Неваде. Были собраны формы Р-волн от ПЯВ, записанные во всех ЛСК на различных эпицентральных расстояниях, от 6000 до 12000 км. Анализировалась форма первого цуга Р-волны длительностью до 5 - 10 сек (в зависимости от величины магнитуды источника). В то время уже были опубликованы работы ученых Великобритании и США [15 - 17] по оценке глубины источника и его распознаванию способом определения времени запаздывания отраженной рР-волны от прямой Р-волны. На записях сигналов в Боровом очень четко просматривался «излом» на первых двух-трех квазиполупериодах сигнала, по которому операторы практически безошибочно идентифицировали сигнал, относящийся к подземному ядерному взрыву на Невадском полигоне. С использованием этого излома, как проявления интерференции Р- и рР-волн, в результате нескольких итераций (3 - 5) удалось вручную разделить эти волны для примерно десятка сигналов. Оказалось, что вступление отраженной волны было значительно раньше видимого излома, а все способы разделения волн, основанные на теоретическом предположении о сходстве прямой и отраженной волн, не продуктивны. Отраженная от поверхности земли волна имеет более высокочастотный состав. На рисунке 27 приведен пример разделенных сигналов вместе с прямой и отраженной волнами. К сожалению, работу по разделению волн не удалось завершить практической методикой и программой для ЭВМ [14]. В более поздних публикациях приходилось встречать подтверждение выводов исследований о разном частотном составе прямой и отраженной от поверхности земли Р-волны, хотя до конца данная проблема все еще не решена.

В последнее время в ГО “Боровое” работают как малобазовая, так и большебазовая системы сейсмического группирования в составе сети станций ядерного мониторинга Национального ядерного центра Республики Казахстан, находящихся под управлением Института геофизических исследований. Ее архив цифровых сейсмограмм ядерных взрывов, начиная с 1966 г, частично переписанный на современные магнитные носители, является уникальным. Архивные записи приобретают новую значимость в исследовании внутреннего строения Земли. Получены многочисленные данные о зависимости параметров сейсмических волн от календарного времени, что дает теоретикам возможность для пересмотра современных моделей внутреннего строения Земли. Кроме того, продолжается дальнейшее пополнение архива цифровых записей в Боровом, начало которому было положено случайной регистрацией в 1951 г. сигнала ядерного взрыва в пещере Кенесары.

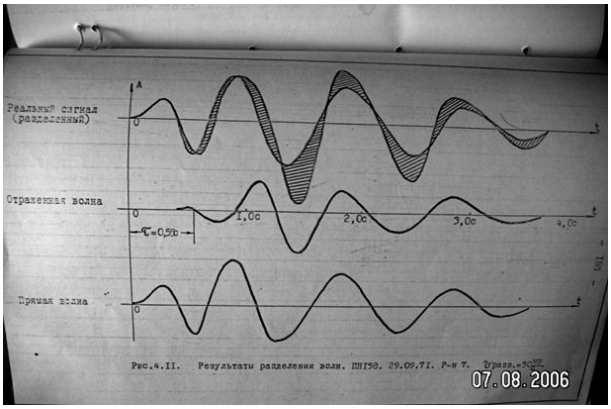


Рисунок 27. Пример записи и разделенных Р и рР-волн сейсмического сигнала от подземного ядерного взрыва на полигоне Невада, зарегистрированного в РСЛ-0 29.09.1971 г.

Заключение

И все же, что явилось причиной выбора Борового для исследований нового сейсмографа Гамбурцева, во время которых был случайно зарегистрирован ядерный взрыв? Посоветовать Г.А. Гамбурцеву использовать Боровое для этих целей мог Президент Академии наук Казахской ССР Каныш Иммантович Сатпаев, геолог-металлогенист, с которым он был в хороших отношениях и от которого часто получал советы при выборе мест проведения работ по глубинному сейсмическому зондированию. Грамотное и тщательное испытание нового сейсмографа проведено опытным полевиком, защитившим диссертацию под научным руководством Г.А. Гамбурцева, И.П. Пасечником, организовавшим испытания в трех разных местах с разными породами: от крепких кристаллических до мягких осадочных. Наблюдения в месте с кристаллическими породами пещеры Кенесары привели к случайной регистрации сигнала ядерного взрыва 24 сентября 1951 г. Они положили начало работам по регистрации ядерных взрывов и землетрясений в Боровом, сплотили на длительный период усилия коллективов Экспедиций, многочисленных подразделений ИФЗ АН СССР, учреждений Минсредмаша и Минобороны СССР, что привело к созданию уникальной обсерватории.

Благодарности. Автор благодарен В.А. Ану, В.А. Коновалову, Х.Д. Рубинштейн и Д.Д. Султанову за заинтересованное обсуждение материала и полезные советы; Н.Н. Беляшовой и Л.Е. Подгорной за предоставленную возможность апробации доклада на пленарном заседании IV Международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий».

Литература

1. Геофизическая обсерватория “Боровое – из прошлого в будущее (к 40-летию создания) / В.В.Адушкин [и др.] // Вестник НЯЦ РК. – 2001. – Вып. 2. - С. 15 – 19.
2. Султанов, Д.Д. Роль Г.А. Гамбурцева в создании сейсмического метода контроля за ядерными взрывами, 1995 / Григорий Александрович Гамбурцев (1903 - 1955). Воспоминания, очерки, статьи / Д.Д. Султанов // М.: ОИФЗ РАН, 1998. – С. 188 – 193.
3. Рубинштейн, Х.Д. Г.А. Гамбурцев – человек и ученый: воспоминания современников / Григорий Александрович Гамбурцев (1903-1955). Воспоминания, очерки, статьи / Х.Д. Рубинштейн // М.: ОИФЗ РАН, 1998. – С. 140.
4. Ан, В.А. О разработке и внедрении в практику геофизических исследований и контроля за ядерными взрывами цифровой аппаратуры / В.А. Ан, В.А. Коновалов // Рожденная атомным веком. – 1998. – изд. 1. – С. 132 – 139.
5. Пасечник, И.П. Исследование контакта сейсмографа с почвой (части 1 и 2). Влияние условий установки сейсмографов на сейсмоакустические замеры (ч .3) / И.П. Пасечник // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, ГЕОФИАН, 1950.
6. Васильев, А.П. У истоков отечественной системы дальнего обнаружения ядерных взрывов / А.П. Васильев // Бюллетень по атомной энергии. – 2001. – № 10. – С. 67 – 70.
7. Васильев, А.П. Освоение и развитие в ССК сейсмического метода обнаружения ядерных взрывов (Исторический очерк) / А.П. Васильев, В.А. Лаушкин // Сборник рожденная атомным веком – 1998. – С. 104 – 106.
8. Бегун, Л.И. На острие проблемы сейсмического группирования / Л.И. Бегун // Рожденная атомным веком – С. 139 – 148.
9. Михеев, Г.М. На волнах службы в спецконтроле / Г.М.Михеев // Рожденная атомным веком – С. 360 – 363.
10. Мансуров, З.З. Боровое: особенности создания первой в СССР автоматизированной системы группирования / З.З. Мансуров // Рожденная атомным веком. – 2002. – С. 87 – 99.
11. Ядерные испытания СССР, ИздАТ. – 1997. – С. 146.
12. Круглов, А Как создавалась атомная промышленность в СССР / А.Круглов // ИздАТ. – 1992. – С. 9.
13. Развитие идей и научного наследия Б.Б. Голицына в сейсмологии: к 140-летию со дня рождения / М.: ОИФЗ РАН, 2003. - С. 4.
14. Александров, А.В. Исследование возможности разделения интерферирующих прямой и отраженной продольных сейсмических волн / А.В. Александров, А.П. Васильев // Отчет ССК – 1974, Инв. № 838.
15. Marshall, P.D. Yield Estimates. Estimates of Emplacement Depths / P.D. Marshall // AWPE, 0-49/72,1972. – P. 10 – 15
16. Estimating Thefiring Depth of Underground Explosoins / A.Douglas et al // NATURE,1972, v.237, N 5349; P. 26 – 28.
17. Gribbin, J. Measuring Undergrund Explosions, Spetrum / .J.Gribbin // 1972 – N96. – P. 14.
18. PIDC Nuclear Explosion Datebase (Revision 2) / CMR Technical Report CMR-99/16 – 1999.

Использованы также материал из личных архивов В.А. Ана, В.А. Коновалова, Х.Д. Рубинштейн и автора, переписка автора с Ю.Г. Кравченко и А.Г. Гамбурцевым.

«БУРАБАЙ» ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ОБЕРВАТОРИЯСЫ ТАРИХЫНАН

Васильев А.П.

Ресей Федерациясы Қорғау министрлігінің Арнайы бақылау қызметі, Мәскеу, Ресей

«Бурабай» геофизикалық обсерваториясының қалыптасу және дамуының негізгі кезеңдері келтірілген – 1951 ж. Семей сынау полигонындағы ядролық жарылыстың бірінші сейсмикалық жазбасы, КСРО, АҚШ және Ұлыбритания арасындағы уш жақты келіссөздеріне байланысты эксперименттер, лабораториялар құрылысы, бірегей сейсмикалық топтастыру жүйесін және ядролық жарылстардың сейсмикалық жазбаларының цифрлық мұрағатын құру.

SOME HISTORY OF “BOROVOYE”GEOPHYSICAL OBSERVATORY

A.P. Vassiliev

The special Monitoring Service of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow

The paper outlines the bases of “Borovoye” Geophysical Observatory establishment and development – the first seismic record of the nuclear explosion on the Semipalatinsk Test Site in 1951, experiments because of trilateral negotiations between USSR, USA and Great Britain, laboratories construction, creation of unique seismic grouping system and the archive of digital seismic records of the nuclear explosions.

СПИСОК АВТОРОВ

Ан В.А., 27
Аристова И.Л., 38
Башилов И.П., 13
Беляшова Н.Н., 5
Брагин В.Д., 33
Васильев А.П., 133
Великанов А.Е., 72
Габсатарова И.П., 9, 103
Гаипов Б.Н., 128
Гвоздарев Ю.К., 68
Годунова Л.Д., 27
Гордиенко Д.Д., 90
Еверс Л., 38
Еманов А.А., 113
Еманов А.Ф., 113
Знаменщиков Б.П., 49
Каазик П.Б., 27
Кальметьева З.А., 108
Каримов Ф.Х., 64
Колдыбаев Т.К., 33
Коломиец М.В., 9
Коновалов В.А., 13
Косякин И.И., 80
Кузнецов К.Г., 113
Кунаков А.В., 19
Лескова Е.В., 113
Маловичко А.А., 103
Мехрюшев Д.Ю., 103
Михайлова Н.Н., 5, 44, 96
Николаев А.В., 13
Новиков И.С., 113
Орешин В.П., 49
Погода Э.В., 103
Полешко Н.Н., 96
Рыбаков Е.Н., 58
Смирнов А.А., 38
Старовойт О.Е., 9, 103
Сычёв И.В., 113
Сычева Н.А., 33
Тарасенко Ю.Н., 33
Уткин В.И., 58, 80
Фатеев А.В., 113
Чеховская Р.А., 108
Шепелев О.М., 19
Щапов В.А., 58
Юрков А.К., 80

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 20 мм; справа 20 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi). Горизонтальное расположение листов не допускается.

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков. Пожалуйста, для заголовков используйте стили (Заголовок 1, 2…) и не используйте их для обычного текста, таблиц и подрисуночных подписей.

Текст печатается через одинарный междустрочный интервал, между абзацами – один пустой абзац или интервал перед абзацем 12 пунктов.

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 2 пустых абзаца или с интервалом перед абзацем 24 пункта, 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 7.1-2003;
- Иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере (ширина рисунка 8 или 14 см), либо в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата А4. Особое внимание обратите на надписи на рисунке – они должны быть различимы при уменьшении до указанных выше размеров. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка. Рисунки должны быть представлены отдельно в одном из форматов *.tif, *.gif, *.png, *.pcx, *.dxf с разрешениями 600 dpi.
- Математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation или MathType. Химические формулы и мелкие рисунки в тексте должны быть вставлены как объекты Рисунок 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;
- акт экспертизы (экспертное заключение);
- 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: 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.
http://www.nnc.kz/vestnik

© 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
071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.