ISSN 1729-7516



ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 2(22), ИЮНЬ 2005

Издается с января 2000 г.

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

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

HP-MID JAYMED II)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

2(22) ШЫҒАРЫМ, МАУСЫМ, 2005 ЖЫЛ



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

ISSUE 2(22), JUNE 2005



В сборнике продолжена публикация статей (Вестник НЯЦ РК, 2004, вып. 2) по докладам, представленных на Третью международную конференцию «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий» (09 – 13 августа 2004 г., Боровое, Казахстан), посвященную 10-летию создания Института геофизических исследований НЯЦ РК



- Тухватулин Ш.Т. (председатель сессии), НЯЦ РК, Эльтеков А.Ю., НИИ импульсной техники, РФ
 Девез П., ОДВЗЯИ, Вена
 Эритьер Т., Комиссариат по атомной энергетике Франции
 Беляшова Н. Н., Варнум Б.Р. сопредседатели Казахстанско-Американской Рабочей группы (подписание Протокола ввода в экс-трителиче общиновски билати. плуатацию сейсмической группы Акбулак в Казахстане)





- 2. Барриентос С., ОДВЗЯИ, Вена
- 4. Кемерайт Р., Центр прикладных технологий воздушных сил, США
 6. Шацилов В.И., Институт сейсмологии, РК
- 8. Группа участников конференции

СОДЕРЖАНИЕ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБНАРУЖЕНИЮ СИГНАЛОВ НА СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА15 Старовойт Ю.О. Барриентос С.П.
учение инспекции на месте в рамках двзяи: ценный опыт, полученный в казахстане
СИСТЕМА ПАССИВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АФТЕРШОКОВ: ПРОГРАММА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЗА СБОРОМ И ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ В ЦЕНТРЕ ДАННЫХ ИГИ НЯЦ РК
ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОБЕГА ПРОДОЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ В КАЛЕНДАРНОМ ВРЕМЕНИ
Ан В.А., Годунова Л.Д., Каазик П.Б., Михайлова Н.Н., Овчинников В.М.
ОБ ОЦЕНКАХ АЗИМУТОВ И МЕДЛЕННОСТИ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ФАЗ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ РS23-МАКАНЧИ
АНАЛИЗ ЗАПИСЕЙ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 27 СЕНТЯБРЯ 2003 г., ПОЛУЧЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИМИ И ИНФРАЗВУКОВЫМИ СТАНЦИЯМИ НЯЦ РК
БАЗА ДАННЫХ ЭТАЛОННЫХ СОБЫТИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА 62 Михайлова Н.Н., Аристова И.Л.
ПРОБЛЕМА РЕВИЗИИ ДОГОВОРА О ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕМ ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ВОЗОБНОВЛЕНИЯ МИРНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ
РЕЗУЛЬТАТЫ РЕЖИМНЫХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ПЛОЩАДКЕ БАЛАПАН
ЗЕМНАЯ КОРА И ВЕРХНЯЯ МАНТИЯ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ ПЛОЩАДНЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ
СКОРОСТНЫЕ МОДЕЛИ ЛИТОСФЕРЫ ВЫСОКОЙ АЗИИ ПО СИСТЕМЕ ГЕОТРАВЕРСОВ 109 Нусипов Е.Н., Оспанов А.Б., Шацилов В.И.
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ S-ВОЛН В ОЧАГОВЫХ ЗОНАХ СИЛЬНЫХ И СИЛЬНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 122 Копничев Ю.Ф., Гордиенко Д.Д, Соколова И.Н.
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВЯЗИ СЕЙСМИЧНОСТИ С РЕЛЬЕФОМ МЕСТНОСТИ ДЛЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ
О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

ПОДЪЕМ МАНТИЙНЫХ ФЛЮИДОВ В РАЙОНАХ ОЧАГОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И КРУПНЫХ РАЗЛОМНЫХ ЗОН: ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н.	147
ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАК ОСНОВЫ КРАТКО– И СРЕДНЕСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ Ужкенов Б.С.	156
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА	160
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАПИСЕЙ ОПОЛЗНЕЙ НА СЕЙСМОГРАММАХ Соколова И.Н., Шепелев О.М.	165
ПАМЯТИ Беляшова Д.Н	169

УДК 504.064.36(100)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Барриентос С.П.

Международная система мониторинга Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, Вена, Австрия

Характеризуются работы по созданию Международной системы мониторинга Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний: строительство сейсмических, инфразвуковых, гидроакустических станций и радионуклидных лабораторий на новых площадках; прогресс в передаче данных в связи с переходом на использование инфраструктуры глобальной связи (GCI); сертификация наблюдательных станций и радионуклидных лабораторий. Оценивается состояние и будущие пути доступа к данным Международной системы мониторинга.

Организация по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ) прогрессивно развивает работы по созданию режима ядерного контроля. Основная цель учрежденного режима – контроль за соблюдением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных взрывов, 1996 г.

В структуру режима контроля за ядерными испытаниями входят:

1. Международная система мониторинга, вклю-чающая:

- 337 станций Международной системы мониторинга (МСМ);
- Международный центр данных (МЦД);
- Инфраструктура глобальной связи (ИГС).
- 2. Консультации и разъяснения.
- 3. Инспекция на месте (ИНМ).
- 4. Меры укрепления доверия.

На рисунке 1 показаны полная система наблюдательных станций для обеспечения соблюдения Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.

Международная система мониторинга разработана для контроля за любыми ядерными испытаниями – в атмосфере, под водой, под землей (рисунок 2).

МСМ использует в основном 4 технологии – сейсмическую, инфразвуковую, гидроакустическую, радионуклидную. В основу контроля за атмосферными испытаниями положено изучение инфразвуковых волн, возможного взаимодействия сейсмических и гидроакустических волн, выброса радионуклидов. При контроле подводных ядерных взрывов используются гидроакустические волны, возможное взаимодействие сейсмических и инфразвуковых волн, подводный выброс радионуклидов. Контроль подземных взрывов основан на изучении сейсмических волн, возможного взаимодействия инфразвуковых и гидроакустических волн, выброса радионуклидов.

Наблюдательные станции, обеспечивающие применение различных технологий, распределены по всему миру, как это можно видеть на рисунке 3.



Рисунок 1. Средства международной системы мониторинга ДВЗЯИ



а – атмосферные

б – подводные Рисунок 2. Ядерные испытания

в – подземные





Наблюдательные станции: 1 – сейсмические, первичной сети; 2 – сейсмические, вспомогательной сети; 3 – радионуклидные; 4 – гидроакустические; 5 - инфразвуковые

Рисунок 3. Полная международная система контроля за ядерными испытаниями

В состав системы входят сейсмические станции первичной и вспомогательной сетей, радионуклидные лаборатории, гидроакустические станции и инфразвуковые станции. Все станции - 50 первичных и 120 вспомогательных сейсмических, 60 инфразвуковых и 80 радионуклидных лабораторий, - объединены в единую сеть через спутниковые каналы глобальной системы связи, благодаря которой данные со станций поступают сначала в Международный центр данных в Вене, а затем по Национальным центрам данных.

Прежде чем обратиться к современному состоянию строительства наблюдательных станций, рассмотрим этапы создания станций. Как следует из рисунка 4, такими этапами являются оценка площадки размещения, установка оборудования, тестирование и оценка станции, ее сертификация, эксплуатация в сопровождении технического обслуживания.

Этапы могут выполняться государством, т.е. страной, которая непосредственно занимается установкой станции, или по контракту с Временным техническим секретариатом ОДВЗЯИ. Однако, начиная с этапа сертификации, станция рассматривается как часть Международной системы мониторинга. Все данные, поступающие с сертифицированной станции, являются общим достоянием, отражаются в соответствующих бюллетенях и становятся доступными для всех Национальных центров данных.



Рисунок 4. Процесс создания станции

Система сейсмического мониторинга

Система сейсмического мониторинга состоит из 50 первичных и 120 вспомогательных станций. Имеются сейсмические группы и 3-х компонентные станции. На рисунке 5 показаны сейсмические группы (красные точки) и трехкомпонентные станции: (синие точки) среди первичных (рисунок 5а) и вспомогательных (рисунок 5б) станций.

К сожалению, на рисунке 5а показано 49 из 50 станций, так как одна станция находится на стадии рассмотрения.



Рисунок 5. Сейсмические станции международной системы мониторинга





б – вспомогательной сети

Рисунок 6. Состояние сейсмических станций международной системы мониторинга

На рисунке 6 отражено состояние сейсмических станций. Из 50-ти первичных станций сертифицировано только 27, остальные - либо находятся на стадии строительства, либо на стадии тестирования и оценки (рисунок 6а). Из 120 станций вспомогательной сети 15 имеют сертификаты, 61 станция построена и передает данные в Центр данных в г. Вена. До конца 2004 г. планируется сертифицировать еще, как минимум, 15 станций (рисунок 6 б).

В Восточном Казахстане (рисунок 7) построена сейсмическая станция первичной сети PS23-Маканчи. Сейсмическая группа AS057-Боровое построена в Центральном Казахстане в составе вспомогательной сети. Станция прошла тестирование, оценку и, благодаря хорошему качеству, сертифицирована как запасная станция первичной сети.



Рисунок 7. Сейсмические станции Международной системы мониторинга в Казахстане

Совершенствование станции AS058-Курчатов в г. Курчатове в Восточном Казахстане запланировано в 2005 г. В Актюбинске, кроме имеющейся трехкомпонентной станции вспомогательной сети, строится еще одна трехкомпонентная станция AS059-Актюбинск. Остальные сейсмические станции, имеющиеся на территории Казахстана, были построены при содействии сторонних организаций.

Гидроакустические станции

Гидроакустические волны, генерируемые во время ядерного взрыва, позволяют вести контроль и распознавание подводных взрывов и других подводных событий (рисунки 26, 8).

Для гидроакустического контроля в составе Международной системы мониторинга имеются 6 гидрофонных и 5 – Т-фазных станций, различающихся тем, что на гидрофонных станциях установлены датчики давления, а Т-фазные станции оснащены Тфазными датчиками, устанавливаемыми на островах. Наряду с сейсмическими станциями гидроакустические станции используются для отслеживания сейсмической активности.

Состояние гидроакустических станций отражено на рисунке 10. Из 11 гидроакустических станций сертифицировано 4 (черные точки).

Зеленые точки – это те станции, которые будут сертифицированы в скором времени, часть других станций находятся в процессе строительства.



Рисунок 8. Гидроакустические волны, генерируемые при ядерном взрыве



Ось абсцисс – скорость звука, м/с; ось ординат – глубина, м **а** – профиль звуковой скорости



береговая установка; 2 - магистральный кабель;
 подводная электроника (узловая сборка); 4 - межузловой кабель;
 притопленный буй; 6 - гидрофон; 7 – вертикальный кабель;
 межузловой кабель; 9 - хвостовой кабель
 пидрофонная станция МСМ



Гидрофон Т - фаза Г – приемники звука

Рисунок 9. Звуковой мониторинг в океанической среде



Рисунок 10. Состояние гидроакустической сети станций

Инфразвуковые станции

Полезным диапазоном для обнаружения ядерных взрывов являются инфразвуковые частоты 10 – 0,02 Гц. На рисунке 11 приведены примеры конструкций инфразвуковых элементов, обеспечивающих шумоподавление высокочастотных и низкочастотных регистрируемых сигналов.

Расположение инфразвуковых станций в разных уголках мира и их состояние показано на рисун-



a – IS17 - Димбокро, кот-д'Ивуар



в – IS07-Варрамунга, Австралия

ке 12. Из 60 станций построены и сертифицированы 21 (черные точки). Зеленые точки – это построенные станции, передающие данные в Международный центр, но не получившие сертификаты.

В Западном Казахстане построена инфразвуковая станция IS31-Актюбинск (рисунок 13), которая проходит стадию тестирования и оценки.



б – IS26 - Фрайунг, Германия



Г – IS07-Варрамунга, Австралия

Рисунок 11. Примеры конструкций элементов инфразвуковых групп



Рисунок 12. Состояние сети инфразвуковых станций



Рисунок 13. Инфразвуковая группа IS31 – Актюбинск, Казахстан

Радионуклидные лаборатории

Проведение радионуклидного мониторинга предусмотрено с использованием 80 станций (в том числе 40 станций по обнаружению благородных газов) и 16 радионуклидных лабораторий. Структура станции приведена на рисунке 14.

Целью станции является отбор проб воздуха для определения содержания в нем радиоактивных частиц, образуемых взрывами в атмосфере и выбрасываемых в атмосферу при взрывах под водой и под землей. Воздух с большой скоростью прогоняется через фильтры, радионуклидные частицы улавливаются камерой и проверяются на наличие техногенных изотопов с помощью гамма-спектрометра. Режим работы радионуклидной станции: 24 часа ведутся наблюдения в камере распада, затем в течении 24 часов проводится анализ. Результаты анализа по спутниковому каналу поступают в Международный центр данных. На рисунке 15 показаны радионуклидные станции в разных частях мира.

На рисунке 16 дано расположение и состояние радионуклидных станций.

Из 80 станций 23 сертифицированы (черные точки). Зеленые точки – это построенные станции, передающие данные в Центр данных в Вене, но не сертифицированные.



Рисунок 14. Структура радионуклидной станции



a – RN04-Мельбурн, Австралия



в – RN23-Раротонга, Острова Кука



б – RN06-Таунсвилл, Австралия



г - RN47- Каитана, Новая Зеландия





Рисунок 16. Сеть радионуклидных станций

Заключение

Современное состояние сети международной системы мониторинга с использованием всех четырех технологий по состоянию на 23 июля 2004 г. приведено в нижеследующей таблице.

Данные о первичных и вспомогательных сейсмических станциях в таблице разделены. Основная причина этого состоит в том, что вспомогательные станции используются для подтверждения данных по запросу, тогда как первичные станции ведут сбор данных на постоянной основе.

Ситуация с сертификацией станций в 2004 г. следующая - сертифицировано 24 станции. Прогресс в сертификации станций по технологиям показан на рисунке 17.



Рисунок 17. Сертификация станций

	Peero	Построено		В процессе		
Станции/лаобратории	BCero	сертифицировано	не сертифицировано	строительства	другое	
Первичные сейсмические	50	27	5	8	11	
Гидроакустические	11	4	2	4	1	
Инфразвуковые	60	21	5	11	23	
Радионуклидные	80	23	14	12	31	
Итого	201	75	30	35	61	
	Bcero	Построено по требованиям,		R moulocco		
Станции		отвечающим запасной станции		строитоп стра	Другое	
		сертифицированы	не сертифицированы	строительства		
Вспомогательные сейсмические	120	15	75	8	22	

Таблица. Сеть Международной системы мониторинга по состоянию на 23 июля 2004 г.

Станции Международной системы мониторинга имеют большие потенциальные возможности для использования в гражданских и научных целях. Можно привести следующий перечень задач, в решении которых возможно участие станций ядерного моиторинга.

Сейсмические станции:

- предупреждение о цунами;
- исследование землетрясения;
- предсказание извержения вулкана;
- изучение строения земли.
- Гидроакустические станции:
- локализация подводных вулканических событий;
- мониторинг температуры океана и признаков глобального потепления;
- мониторинг климата.
 Инфразвуковые станции:
- обнаружение вулканических извержений и их возможного влияния на авиацию;
- исследование океанической поверхности;
- атмосферное и метеорологическое изучение;
- обнаружение влияния метеоров на атмосферу. Радионуклидные станции:
- радиоактивный мониторинг возможных радионуклидных выбросов;



а – остров Тристан-да-Куньо

- изучение естественной радиоактивности;
- мониторинг атмосферы и биологическое изучение;
- слежение за изменением окружающей среды.

В качестве примера можно привести выявление подводных вулканических событий, относящееся к одному из отдаленных, но важных для мореплавания, мест на Земле - острову Тристан-да-Куньо (Соединенное королевство) – рисунок 18.

Здесь установлены три станции: гидроакустическая НА09, инфразвуковая IS49, радионуклидная RN68. В 1961 г. в северной части острова произошло извержение вулкана. 29 июля 2004 г., благодаря работе станций была замечена сейсмическая активность в контролируемой зоне. Т-фазная станция позволила определить время события (рисунок 18 б). Это пример того, как можно отслеживать сейсмические события на расстоянии от станций и делать предупреждение о возможной сейсмоактивности и ходе ее развития.

В руководящих органах Организации по ДВЗЯИ проходит обсуждение путей доступа к данным МСМ. Предполагается, что данные МСМ будут предоставляться для научных и гуманитарных целей.



б – событии, зарегистрированное Т-фазной станцией H09W

Рисунок 18. К мониторингу подводных событий

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ МОНИТОРИНГЖҮЙЕСІНІҢ ҚАЗІРГІ ЗАМАНДАҒЫ КҮЙІ

Барриентос С.П.

Ядролық сынауларына бәрін сыйдыратын тыйым салу туралы шарты бойынша Ұйымының Халықаралық мониторинг жүйесі, Вена, Австрия

Ядролық сынауларына бәрін сыйдыратын тыйым салу туралы шарты Үйымвнвң Халықаралық мониторинг жүйесін жасау бойынша жұмыстары сипатталады: жаңа алаңдарында сейсмикалық, инфрадыбыстық, акустикалық станциялврын, радионуклидті лабораторияларын құру; глобаль байланысының (GCI) инфрақұрылымын пайдалуымен байланысты деректер беруіндегі прогресс; бақылау станцияларының және радионуклидті лабораторияларының сертификаттауы. Халықаралық мониторингі жүйесінің деректеріне қол жеткізу жолдарының күйі мен келешегі бағалауда.

CURRENT STATUS OF THE INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM

S.P. Barrientos

Comprehensive Nuclear Test-Ban-Treaty Organization, Vienna, Austria

Activities on creation of International Monitoring System within Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization are being characterized: construction of seismic, infrasound, hydroacoustic stations and radionuclide laboratories at new sites; progress in data transmission in connection with shift to the Global Communication Infrastructure (GCI); certification of observatory stations and radionuclide laboratories. The status and future ways of access to the international monitoring system data are being estimated.

УДК 550.83:621.039.9(24)

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБНАРУЖЕНИЮ СИГНАЛОВ НА СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Старовойт Ю.О., Барриентос С.П.

Организация по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, Вена, Австрия

Приводятся сведения об основных общих испытаниях и требованиях к различному сейсмическому оборудованию, предназначенного для станций Международной системы мониторинга. Объяснен подход, используемый при интерпретации результатов испытаний

Качество сигналов, зафиксированных сейсмическими станциями мониторинга, зависит от соотношения сигнала и земного сейсмического фона. Сейсмический фон на станциях и инструментальная помеха вносят общий вклад в шумы системы сбора данных, в связи с чем, можно утверждать, что сейсмометр и дигитайзер являются ключевыми элементами в системе сбора данных.

Для обеспечения наиболее благоприятных условий регистрации сейсмических явлений в Руководстве по эксплуатации станций сформулированы Технические требования к оборудованию стандартной станции MCM, которые выражены как количественные критерии, что требует детального тестирования аппаратуры. Ниже коротко освещаются вопросы, относящиеся к такому тестированию: почему, где, как тестируют аппаратуру и каков получаемый результат.

До настоящего времени МСМ выполняла тестирование в основном дигитайзеров, предложенных для использования в МСМ исходя из предположения, что сейсмометры (короткопериодные и широкополосные) достаточно хорошо протестированы в Сейсмологической лаборатории Альбукерке (ASL), Геологической службе (USGS) или Сандийской Национальной лаборатории (SNL), США.

Применительно к дигитайзерам создана соответствующая процедура тестирования для целей МСМ. Сначала проверяются параметры дигитайзера, которые специфицированы и отражены в инструкциях фирм-производителей. Далее оценивается совместимость этих параметров с требованиями, разработанными для МСМ. По результатам тестирования готовятся рекомендации по использованию аппаратуры, либо обеспечивается обратная связь с фирмой производителем, для того чтобы фирма, в случае необходимости, улучшила качество продукции. Тестирование аппаратуры проходит в Лаборатории по приемке, калибровке и тестированию, которая находится в штате Нью-Мексико в США. Это - Сандийская Национальная лаборатория. На рисунке 1 а можно видеть место размещения этой лаборатории, в том числе вагончик, в котором реализованы очень хорошие условия для тестирования аналоговоцифровых преобразователей. На рисунке 16 показан внутренний вид этой лаборатории.

В частности, на переднем плане - генератор сигнала с малыми искажениями, набор фильтров, блоков питания и другие атрибуты, необходимые для лаборатории.

На рисунке 2 запечатлены некоторые аналогоцифровые преобразователи, которые используются или предполагаются для использования на сейсмических станциях MCM.



а – общий вид



б – внутренний вид лаборатории тестирования аналогово-цифровых преобразователей

Рисунок 1. Сандинийская национальная лаборатория, штат Нью-Мексика, США



a - GD2 (Canadian Geological Survey, Canada)



B - Alpillines (Department of Environment Analysis and Survey, France)



6 - Trident (Nanometrics Inc, Canada)



Γ - SAN2003 (Science Applications International Corporation, USA)

Рисунок 2. Некоторые аналого-цифровые преобразователи для станций Международной системы мониторинга Таблица 1. Некоторые технические требования для первичных и вспомогательных сейсмических станций

N⁰	Параметр	Значение
1	Внутренний шум сейсмометра, дБ	≥ 10 ниже минимума земного сейсмического шума
		в месте расположения станции в используемом частотном диапазоне
2	Разрешающая способность, дБ	≥ 18 ниже минимального уровня местного микросейсмического шума
3	Внутренний шум системы, дБ	≥ 10 ниже шума сейсмометра в используемом частотном диапазоне
4	Динамический диапазон, дВ	≥ 120
5	Абсолютная точность временной привязки, мс	≤ 10
6	Относительная точность временной привязки, мс	≤ 1 между элементами группы

На рисунках показано тестирование в лабораторных условиях дигитайзеров *GD2*, производства Канадской геологической службы (рисунок 2 а), *Trident*, производства фирмы *Nanometrics Inc*, Канада (рисунок 2 б); *Alpillines*, производства французской фирмы *DASE* (рисунок 2 в); *SAN2003*, производства компании *SAIC*, США, который используется на первичной станции PS-45 на Украине.

Установка оборудования на сейсмической станции для контроля за выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний осуществляется в случае выполнения определенных технических требований, разработанных Рабочей группой Б для Международной системы мониторинга (МСМ). Часть этих требований отражена в таблице 1.

Тестирования сейсмометров

Как следует из таблицы 1, внутренний шум сейсмоприемника должен быть не менее чем на 10 дБ ниже минимального сейсмического шума, регистрируемого на месте расположения станции. Разрешающая способность аналого-цифрового преобразователя должна быть как минимум на 18 дБ ниже минимального шума, регистрируемого на станции. Внутренний шум системы должен быть не менее чем на 10 дБ ниже шума сейсмометра. Динамический диапазон системы должен быть не менее 120 дБ. Точность привязки к сигналам точного времени не должна быть более 10 миллисекунд, тогда как относительная точность временной привязки для сигналов от элементов группы не должна превышать одной миллисекунды. Перечисленным требованиям удовлетворяет ряд сейсмометров, которые используются или будут использоваться на станциях МСМ. К ним относятся широкополосные сейсмометры типа STS-2 фирмы Streckeisen (Швейцария), CMG3T фирмы Guralp Systems Limited (Великобритания), KS-54000GS-13,21 фирмы Teledyn Geotech (США), а также короткопериодные сейсмометры GS13 фирмы Teledyn Geotech (США), CMG-3ESP, CMG-40T фирмы Guralp Systems Limited (Великобритания).

Большинство сейсмометров (широкополосных и короткопериодных) прошли тестирование либо в Сейсмологической лаборатории Альбукерке (ASL, США), либо в фирмах-производителях. Примеры результатов тестирования в виде спектральной плотности мощности шумов в полосе частот 0,02 – 10 Гц представлены на рисунке 3.



Рисунок 3. Собственный шум сейсмоприемников

На рисунке 3 а показаны модель сейсмического шума Питерсона (NLNM, красный цвет) и собственные шумы сейсмометров разного типа (другие цвета): широкополосных трехкомпонентных – KS-54.000 (установлен на станции PS23-Маканчи), CMG-3T (установлен на станции AS57-Боровое); короткопериодных однокомпонентных - STS-2, GS21 и ряда других. При тестировании сейсмометров используется метод параллельной установки сейсмометров. Алгоритм тестирования дан на рисунке 3 б. Он основан на использовании 3-х уравнений, которые позволяют оценить автоспектр каждого канала, а также взаимный спектр сигнала на выходе двух каналов. В предположении равенства шумовых характеристик каждого из каналов решение системы уравнений позволяет получить оценку собственного шума сейсмометра. Данный метод применяется, например, на сейсмостанции PS22-Мацусиро (Япония). На рисунке 4 приведены фрагменты записей сигналов от двух короткопериодных сейсмоприемников по идентичным каналам. Сигналы на них неразличимы, по крайней мере, на первый взгляд.



б – оценка собственного шума методом параллельного тестирования



К фрагментам сейсмических записей (рисунок 3а) был применен метод тестирования, который после решения уравнений (рисунок 3б) дал оценку шумов сейсмометров, показанную на рисунке 4б. Можно видеть, что имеется разница между собственным шумом станции и оценкой собственного шума сейсмоприемников не менее 10 дБ.

Тестирование дигитайзеров

Основными параметрами, проверяемыми для дигитайзеров, являются:

- разрешающая способность дигитайзера или аналого-цифровое преобразование нижнего уровня шумов - определение цены младшего разряда (LSB), оценка уровня ограничения амплитуды (DCA);
- системный шум (электронный собственный шум дигитайзера) – оценка уровня входного шума (ITN);
- динамический диапазон оценка максимально возможного динамического диапазона (MPDR);
- привязка во времени оценка точности привязки к меткам времени (TTA);

7

• нелинейные искажения и наводки.

При определении разрешающей способность дигитайзера цена младшего разряда (бита) может быть оценена приблизительно (LSB_c) и боле точно (LSB_m), в зависимости от проведенных измерений:

$$\mathbf{LSB}_{\mathbf{e}} = \frac{\left\langle V_{p-p} \right\rangle}{2^{24} - 1}; \ \mathbf{LSBm}_{\mathbf{m}} = \frac{+\mathbf{V}_{\mathrm{DC}}}{+\tilde{\mathbf{O}}_{\mathrm{ent}}} \ \dot{\mathbf{e}} \ddot{\mathbf{e}} \dot{\mathbf{e}} \frac{-\mathbf{V}_{\mathrm{DC}}}{-\tilde{\mathbf{O}}_{\mathrm{ent}}}$$

Результаты определения цены младшего разряда для некоторых моделей дигитайзеров приведены в таблице 2.

аблица 2. Результать	і тестирования	некоторых	дигитайзеров
----------------------	----------------	-----------	--------------

N⁰	Модель	Цена бита, мкВ	Примечание
1	HRD24 (Nanometrics)	2,58	Настраиваемая
2	Reftek 72-07A	1,92	Настраиваемая
3	Quanterra 4120	2,41	Фиксированная

Собственный шум дигитайзера определяется методом закороченного входа. На рисунке 5 приведен пример фрагмента исходных данных при тестировании дигитайзера HRD24 (Nanometrics) методом закороченного входа.



Рисунок 5. Результаты тестирования собственного шума дигитайзера HRD24 (Nanometrics)

Собственный шум дигитайзера при закороченном входе - это порог разрешения, который данный дигитайзер обеспечивает при регистрации сейсмических сигналов. На рисунке 5 б для того же фрагмента показана спектральная плотность мощности собственного шума в интервале от 0,01 до 20 Гц. Это частотный диапазон данного дигитайзера.

На рисунке 6 приведены результаты тестирования привязки к сигналам точного времени.



Рисунок 7. Пример результатов тестирования дигитайзера на точность привязки к меткам времени



Рисунок 8 Пример результатов тестирования дигитайзера на нелинейные искажения

Оцифрованный сигнал с GPS, поступает на дигитайзер и показывает, где должен быть отсчет, если оцифровка сигнала с точки зрения привязки к точному времени выполняется верно. На рисунке 7 видно, что отсчет оцифрованных сигналов с GPS совпадает с центральной частью сигнала, что означает, что сигналы с дигитайзера привязаны к сигналам точного времени верно (с погрешностью 3,43 мкс, что соответствует требованиям, приведенным в таблице 1, строка 5).

На рисунке 8 приведен пример результатов тестирования на нелинейные искажения. Видны основная гармоника (частота 2,339 Гц), а также вторая и четвертая гармоники. Уровень нелинейных искажений в данном примере составляет 112 дБ.

Общее тестирование аппаратуры

Проверка соответствия аппаратуры различных фирм техническим требованиям МСМ позволяет обеспечить совместимость аппаратурного оснащения станций первой линии и обеспечить обратную связь с производителями аппаратуры, в том числе, позволяет рекомендовать улучшение качества продукции.

Для оценки чувствительности регистрирующих каналов при комбинациях различных сейсмометров и дигитайзеров проводится определение ряда параметров:

- разрешающая способность в единицах смещения грунта. Оценивается спектральная плотность мощности

$$R(f) \cong \frac{LSB^2}{12 \cdot \Delta F \cdot |H(f)|^2}$$
, где: $\Delta F = (0 - f_N)$,

 f_N -частота Найквиста.

- среднеквадратическая погрешность определения (rms) шума системы дигитайзера в используемом диапазоне частот (в Вольтах):

rms =
$$\sqrt{\tilde{O}^2} = \sqrt{\int_{fl}^{fh} INT(f) \cdot df}$$
, где $f_{h,l}$ – верхняя и

нижняя частоты полосы пропускания сейсмоприемника, соответственно.

- шум системы в единицах смещения грунта

$$S_{N} = \frac{INT(f)}{|H(f)|^{2} \cdot G^{2}}$$
, где: H(f) – частотная характе-

ристика сейсмометра; G – коэффициент усиления предусилителя.

$$\mathbf{MPDR} = \frac{\sqrt{p-p}}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot rms_{INT}} \,.$$

На рисунке 9 показаны результаты тестирования аппаратуры станции МСМ, на которой обеспечена чувствительность 20 000 В/м/сек.

На рисунке 9 показаны минимальная модель шума (LNM), собственные шумы аналогоцифрового преобразователя Trident (Nanometrics), собственные шумы сейсмометра STS2. В случае, если используется предварительный усилитель в цепи коротропериодного канала, что часто бывает, получают подобные оценки собственных шумов канала и собственных шумов сейсмометра. На рисунке 10 это показано на примере сейсмостанции AS101-Хагфорс (Швеция).



Рисунок 9. Характеристика Trident (Nanometrics) и STS2 в режиме большого усиления



б – предельный входной шум (ITN) канала и сейсмоприемника при использовании предусилителя (G=30.23; 2000В/м/сек)

Рисунок 10. Станция AS101-Хагфорс, Швеция

Рисунок 11 относится к сейсмостанции PS45-Малин (Украина). Демонстрируется вся информация - минимальный шум станции, модель минимального шума Питерсона, собственный шум сейсмометра СМG3Т и собственный шум аналогово-цифрового преобразователя SAN2003. При этом все характеристики соответствуют требованиям МСМ.



Рисунок 11. Пример соответствия требованиям МСМ характеристик станции PS45 - Малин (Украина)

Подобные зависимости дают информацию о том, какое соотношение сигнал-шум можно ожидать на наблюдательных станциях при регистрации сейсмических сигналов. Однако не всегда тестирование технических средств приводит к положительным результатам. При тестировании дигитайзеров проблемы часто обнаруживаются по спектральной плотности собственных шумов. На рисунке 12 можно видеть пример спектральной плотности мощности шума со значительным числом выбросов.

Это означает, что дигитайзер системы имеет не очень хорошее качество, что является поводом для обращения к производителю. На рисунке 12 б приведен пример неудовлетворительного результата исследования нелинейности аналогово-цифрового преобразователя. Из рисунка видно, что гармоники вторая, третья, четвертая, пятая, - имеют значительную амплитуду. Уровень нелинейных искажений составляет здесь всего 70 дБ, тогда как для дигитайзера хорошего качества, как на рисунке 8, он должен быть больше 100 дБ.

Таким образом, тестирование оборудования: дигитайзеров, сейсмометров, - на станциях в Сандийской Национальной лаборатории – это очень эффективное средство для проверки соответствия приборов техническим требованиям МСМ. Тестирование позволяет проверить, насколько параметры аппаратуры соответствуют характеристике, заявленной производителем, и обосновать рекомендации по улучшению фирмами качества своих изделий, когда это необходимо. Кроме того, благодаря тестированию, каждая сейсмическая станция первичной и вспомогательной сети MCM снабжена изученными характеристиками шума, отражающими степень соответствия требованиям MCM.



Рисунок 12. Примеры неудовлетворительных результатов при тестировании дигитайзера

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІНІҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ СТАНЦИЯЛАРЫНДА БЕЛГІЛЕРІН ТАБУЫНА ТЕХНИКАЛЫҚ ТАЛАПТАРЫ

Старовойт Ю.О. Барриентос С.П.

Ядролық сынауларына бәрін сыйдыратын тыйым салу туралы шарты бойынша Ұйымы, Вена, Австрия

Жалпы сынаулар туралы деректер және Халықаралық мониторинг жүйесінің станциялары үшін арналған әр түрлі жабдықтарына талаптары келтіріледі. Сынаулар нәтижелерін бағалауына көзқарасы түсіндірілген.

TECHNICAL REQUIREMENTS TO SIGNAL DETECTION AT SEISMIC STATIONS OF THE INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM

Yu. Starovoit, S.P. Barrientos

Comprehensive Nuclear Test-Ban-Treaty Organization, Vienna, Austria

Data on basic general tests and requirements to different seismic equipment, intended for International Monitoring Stations, are given. An approach, which is applied for test results interpretation, was explained.

УЧЕНИЕ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ В РАМКАХ ДВЗЯИ: ЦЕННЫЙ ОПЫТ, ПОЛУЧЕННЫЙ В КАЗАХСТАНЕ

Гоу Р.Г., Девез П.

Организация по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, Вена, Австрия

Описано планирование и проведение учения Инспекции на месте (ИНМ) в Казахстане в 2002 г. Иллюстрируются уроки, полученные Временным техническим секретариатом (ВТС) и государствами-участниками. Даются рекомендации по другим планируемым реалистичным полевым учениям ИНМ, как часть подготовки ВТС к проведению полномасштабных эффективных инспекций в случае, если в них возникнет необходимость.

ДВЗЯИ И РЕЖИМ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ

Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний запрещает проведение ядерных испытаний где-либо и осуществляет поддержку запрета в рамках единого режима контроля. Глобальная сеть, состоящая из более 320 сейсмических, радионуклидных, инфразвуковых и гидроакустических станций, данные которых пересылаются в Центр данных в Вену для анализа, является основным компонентом этого режима. В случае, если у Государств-участников Договора возникнет подозрение о проведении запрещенного ядерного взрыва и нарушение выглядит правдоподобно, возможно проведение Инспекции на месте (ИНМ). Для проведения инспекции могут быть отправлены до 40 междуинспекторов (резервистов) и народных тонны вспомогательного оборудования чтобы можно было исследовать площадь размером в 1000 км² в течение срока от 30 до 130 дней. Так как некоторые из доказательств, которые инспекторы будут искать, являются короткоживущими, Договором предусмотрены сжатые сроки - всего несколько дней, - для прибытия инспекторов в район выполнения своих инспекционных задач. Предполагается содействие и необходимая поддержка со стороны государства-участника Договора, с тем чтобы инспекционная команда могла своевременно и эффективно выполнить свои задачи. В соответствии с положениями относительно регулируемого доступа могут применяться предварительно одобренные технологии.

Основная поисковая стратегия Инспекции на месте – это проведение серии направленных поисковых действий (рисунок 1): 1- «Обнаружение» - выявление отдаленного события на территории, вызвавшего запрос об Инспекции на месте, 2 – «Сужение» - поиск района инспекции размером до 1000 кв. км; 3 – «Локализация» - исследование локальной площади размером 5 -10 кв. км; 4 – «Местонахождение» и «Классификация» - детальные исследования в пределах участка размером порядка 0,5×0,5 км для определения места события и его классификации. Состав работ, рекомендуемых к применению на перечисленных этапах, приведен на рисунке 1.

Комплексное обеспечение полевых работ при Инспекции на месте включает (рисунок 2) материально-техническое обеспечение, инфраструктуру, персонал технической поддержки, проверенное оборудование, обученных инспекторов, оперативные методы и процедуры.



Рисунок 1. Поисковая стратегия Инспекции на месте



Рисунок 2. Комплексное обеспечение полевых действий Инспекции на месте

При проведении основной части Инспекции разрешается применение следующих оперативных методов и соответствующего оборудования: пассивный мониторинг афтершоков с целью локализации поискового района и содействия определения природы явления, отбор экологических проб, гаммамониторинг, визуальные наблюдения с земли и с воздуха.. Последующие этапы Инспекции позволяют использовать ряд современных геофизических методов, включая подповерхностную радиолокацию, магнитометрию, активную сейсмометрию, мультиспектральное построение изображения и др.

Чтобы быть готовой к инициированию и проведению эффективных инспекций, Подготовительная комиссия ОДВЗЯИ протестировала различное оборудование, спланировала расписание для обучения потенциальных инспекторов, разработала план материально-технического обеспечения и инфраструктуры, а также оказала содействие государствамучастникам в составлении оперативных руководств инспекторов для использования при выполнении задач по инспекции.

полевой эксперимент инспекции на месте в Казахстане - ПЭ02

Проведено несколько реалистичных учений по важным аспектам ИНМ. Одно из таких учений состоялось осенью 2002 г в Казахстане вблизи г. Курчатова. При содействии и с участием многих казахстанских институтов, министерств и отдельных лиц проведено наиболее крупное и всеобъемлющее инспекционное учение, сокращенно ПЭ02,. которое было первым комплексным полевым экспериментом по Инспекции на месте.

50% имитация

27 человек имитировали Инспекционную команду из 17 государств-подписантов ДВЗЯИ (Аргентина, Австралия, Бразилия, Германия, Израиль, Иор-Коста-Рика, Италия, Китай, дания, Иран, Российская Федерация, Словакия, Нидерланды, Филлипины, Финляндия, Франция, Эквадор, Япония). В течение 12 дней исследовалась площадь для расшифровки неизвестного сценария события, которое произошло на площадке Балапан, расположенной в пределах бывшего Семипалатинского ядернокачестве базового лагеря для го полигона. В инспекционной команды были использованы здания на угольном карьере, расположенном в 20 км от инспектируемой области. В процессе инспекции были применены технологии первой фазы:

- сейсмометрия (с использованием 12 портативных полевых сейсмических станций), замер радиоактивности (на уровне грунта и на высоте 1 м.) и отбор проб окружающей среды (почв, воздуха, воды);
- визуальные наблюдения, включая 6-ти часовой облет территории на вертолете;
- Географическая информационная система;
- коммуникационные каналы связи;
- процедуры обеспечения здоровья и безопасности.

По прибытию на место инспекции руководителем Инспекционной команды принимались решения по размещению Инспекционной команды и организации ее работы.

Сценарий события

14 сентября 2002 г. в нарушение обязательств, взятых по ДВЗЯИ, некая предполагаемая странанарушитель «Полигония» произвела небольшой ядерный подземный взрыв на бывшем ядерном полигоне, похожий на химические взрывы, производимые на угольном карьере, расположенном вблизи места взрыва. Международный центр данных заявил о двух взрывах, произошедших с разницей во времени 52 сек в районе бывшего ядерного полигона, которые были зарегистрированы тремя станциями Международной системы мониторинга.

Некая соседняя страна «Азурия» обнаружила сейсмическую активность в районе бывшего ядерного полигона и сделала запрос для прояснения ситуации. «Полигония» ответила, что в заявленное время произведены небольшие химические взрывы на угольном карьере. Азурию не убедило объяснение Полигонии и она сделала запрос в ОДВЗЯИ на проведение Инспекции на месте, который был принят и одобрен.

Инспекционная зона охватывала часть бывшего полигона площадью порядка 550 кв. км, включающую некоторую часть полигона, но не сам угольный карьер. Эта площадь была включена в имитированный инспекционный мандат, выданный для проведения ПЭ02.

Нулевая точка для ПЭ02

В действительности, по договоренности между ВТС и НЯЦ РК, в скважине площадки Балапан был произведен химический взрыв мощностью 12,5 т на глубине 200 м. (рисунок 3). Кроме того, в результате договоренности с руководством угольного карьера, был проведен небольшой 4-х тонный химический взрыв в карьере с разницей во времени менее минуты относительно имитированного ядерного взрыва.



а – оголовок основной и вспомогательной скважин весной 2002 г.



 $\mathbf{6}$ – 12.5 - тонный взрыв в основной скважине, произведенный 14 сентября 2002 г., с расстояния 1,5 км

Рисунок 3 Место проведения имитированного ядерного взрыва

Для того, чтобы сценарий был более реалистичным, кроме взрыва на угольном карьере, были приняты другие меры для маскировки события. Так, воронка, образовавшаяся в результате взрыва в скважине, была заполнена почвой, местности был придан почти тот же вид, что был до взрыва. Кроме того, были имитированы афтершоки путем проведения многочисленных мелких химических взрывов. Как выглядело место события – «нулевая точка», сразу после взрыва в скважине и после завершения подготовки к приезду инспекционной команды, показано на рисунке 4. Роль инспектируемого государства - участника (Полигонии) выполняли партнеры ВТС – представители НЯЦ РК и Центра содействия нераспространению Республики Казахстан под руководством одного из разработчиков сценария от ВТС. Согласно сценарию, представители Полигонии, знавшие о нарушении своей страной обязательств, взятых по ДВЗЯИ, были проинструктированы вести себя «невраждебно и в целом показывать готовность к сотрудничеству» с Инспекционной командой, но при этом имели намерение сохранить права своей страны по ДВЗЯИ.



а – 14 сентября 2002 г.



б – 23 сентября 2002 г.

Рисунок 4 Место события

Начало работ

После получения запроса на инспекцию от Азурии отдел ВТС по Инспекции на месте привел в готовность Центр поддержки операций (ЦПО). Руководитель команды инспекторов и пять членов основной команды прибыли в Вену для создания первоначального плана инспекций. Руководитель инспекционной команды и руководители подкоманд в течение трех дней провели прединспекционное планирование. При этом были использованы сведения, полученные от Международного центра данных, который локализовал два сейсмических события (рисунок 5) и, тем самым, позволил определить инспекционную площадь. Коммерческие спутниковые снимки были недоступны, а карты, полученные через Интернет, оказались неполными и не совсем верными. Поэтому ВТС подготовил заранее многоисточниковую карту инспекционной зоны. В большей степени карта базировалась на коммерчески доступном изображении зоны с высоким разрешением (2,8 м), полученном со спутника (рисунок 6). На карте отображены границы инспектируемой зоны, дороги и некоторые природные особенности (солончаки, сухие русла и др.). Во время прединспекционного планирования руководитель инспекционной команды разделил ее несколько подкоманд – визуального наблюдения и облета, сейсмическую, радионуклидную и отбора проб, Географической информационной системы (ГИС), здоровья и безопасности, а также офисная для выполнения административных, материальнотехнических функций, работ по обслуживанию оборудования. В течение всего ПЭ02 руководители подкоманд являлись «управляющим ядром» вместе с руководителем инспекционной команды.



Рисунок5. Исходные сейсмические данные о событии



1 - инспектируемая зона; 2 - выборочные изолинии рельефа; 3 - полевые дороги; 4 - место предполагаемого ядерного взрыва

Рисунок 6. Многоисточниковая карта инспектируемой зоны

Для ПЭ02 были спланированы состав инспекторов, оборудования, а также поездка участников и транспортировка оборудования.

Пункт въезда

В течение трех дней после получения в ВТС уведомления о пункте въезда (г. Алматы) персонал ВТС (административный офицер, офицер по оборудованию) отправились в пункт въезда для установления контакта с инспектируемым государством-участником (Полигонией), а также для решения организационных вопросов о прибытии, размещении инспекторов и оборудования. Общий промежуток времени прибытия всех участников составил около трех дней.

На первой встрече инспекционной группы в пункте въезда были обсуждены административные вопросы, стратегия поведения на встречах с представителями инспектируемого государства, начальный план, разработанный в ЦПО при прединспекционном планировании. Проверка инспекционного оборудования была отложена до прибытия в базовый лагерь.





Рисунок 7. На пункте въезда в страну

Официальная встреча представителей инспекционной команды и инспектируемого государства произошла в тот же день в Центре содействия нераспространению, являвшемся принимающей стороной в пункте въезда (рисунок 7). Во время встречи прошли представления участников, инспекционного мандата, первоначального плана инспекции. Представители инспектируемого государства дали свое объяснение событию, информацию о полигоне, о местных требованиях к безопасности. Инспектируемая сторона предоставила прибывшей команде доступ в Интернет для начальной работы (прогноза погоды и др.). На следующий день, после дополнительного обсуждения рабочих вопросов, инспекционная команда начала 20-часовую поездку на поезде (1000 км) и 4хчасовую поездку на автобусе (200 км) к базовому лагерю (рисунок 7).

Организация базового лагеря (рисунок 8)

Базовый лагерь на территории коммерческого лагеря шахтеров обустраивался в разных зданиях. Наибольшее помещение в первом здании было выделено для полевого Оперативного центра, в котором были размещены

- коммуникационное оборудование (радио и спутниковое);
- ГИС и офисное оборудование;
- центральная станция системы сейсмического контроля за афтершоками.



Рисунок 8. Обустройство базового лагеря

В соседнем здании было размещено оборудование и проведена его проверка, отложенная в пункте въезда на время прибытия в базовый лагерь. Были проверены инвентаризационные документы на оборудование, сертификаты, серийные номера. При этом присутствовали по три представителя от инспекционной команды и от инспектируемого государства.

Медицинские принадлежности и оборудование (обеззараживающие установки и др.) были размещены в отдельном помещении. Был выбран отдельный удобный участок для входа в базовый лагерь после пребывания участников в инспектируемой зоне.

В остальных помещениях были размещены члены инспекционной команды

Несмотря на то, что приоритетным для ПЭО было использование оборудования, заранее закупленного ВТС (сейсмометры, радиометры, видеокамеры, бинокли и пр.), некоторое вспомогательное оборудование и материалы закупались на месте (электрокабели, аккумуляторы, вода и др.).

Подкоманда визуального наблюдения и облета (рисунки 9, 10)

Визуальные наблюдения. Наблюдатели – 5 инспекторов, обеспечивали сопровождение каждой подкоманды. Во время поездок выполнялись необходимые визуальные наблюдения с использованием видео- и аналоговых фотокамер, камеры для моментальной съемки, простые чертежи, специально подготовленные для проведения инспекции. Использовались также бинокли, компасы, GPS-приемники.

Облеты. Инспекционная подгруппа использовала возможность шестичасового облета инспектируемой области, разделив время поровну на два дня (8 и 9 день инспекции). Полеты на вертолете МИ-8 проведены с целью получения общего представления о районе инспекции, определения мест проведения наземной инспекции и содействия сбору фактологических данных с использованием оборудования на борту вертолета. Район, охваченный облетом, не выходил за пределы инспектируемой области.

Сейсмическая подкоманда – 9 инспекторов. Для пассивного сейсмологического мониторинга афтершоков с целью локализации района поиска и содействия определению природы явления в инспектируемой зоне было размещено 12 полевых сейсмических станций (рисунок 11 а). Результаты регистрации регулярно снимались и отправлялись для проведения обработки и анализа экспертами на центральной станции, установленной в базовом лагере (рисунок 11 б).



Рисунок 9. Представляет ли интерес взрыхленная почва?



Рисунок 10. Облет инспектируемой области на вертолете МИ-8



а – в поле



б – в базовом лагере

Рисунок 11. Работа сейсмической подкоманды

Радионуклидная подкоманда - 4 инспектора, провела замеры уровня гамма-радиации, а также поиск радионуклидов, представляющих интерес для инспекции. Подкоманда использовала портативные спектрометры низкого разрешения, которые, однако, удовлетворяли техническим требованиям, согласующимся с нормами безопасности. Отбирались пробы почвы, воздуха, воды (без проведения анализа) в соответствии с проектом Оперативной инструкции по инспекции на месте (рисунок 12а).



Рисунок 12. Работа радионуклидной подкоманды



 а – проверка участников инспекционной команды, возвратившихся с инспекционного задания



б – увлажнение почвы для уменьшения пыли



Дополнительно, для обеспечения здоровья и безопасности, проводилось радиационное обследование поверхностей с использованием альфа/бета/гамма датчика. Все подкоманды, выезжающие из базового лагеря, использовали радиометры в дополнение к персональным дозиметрам во избежание любого возможного радиационного облучения.

Подкоманда, отвечающая за здоровье и безопасность - два инспектора, включая врача, использовали приборы для регистрации α , β , и γ -излучения для проведения мониторинга и выявления возможных случаев, в которых потребуется обеззараживание. Работы проводились с использованием Оперативного руководства по здоровью и безопасности, предусматривающего, в том числе, радиационную защиту.

Распределение работ среди организаторов ПЭ-02

Мероприятия, выполненные для эксперимента ПЭ02, были распределены следующим образом:

- Центр поддержки нераспространения (Республика Казахстан):- организация проезда внутри страны, проживания и Интернет-услуг;
- Национальный ядерный центр Республики Казахстан - разработка и осуществление сценария учений, включая проведение химического взрыва и организацию базового лагеря;
- Государства подписанты ДВЗЯИ предоставление инспекторов, оценщиков и наблюдателей, предоставление портативных сейсмических станций, пробоотборников окружающей среды, медицинского оборудования для проведения α-, β-, и γ- мониторинга;
- ПРООН/Алматы обеспечение наличных финансовых средств для покупок на месте и помощь в работе с таможней;
- ВТС ОДВЗЯИ: разработка сценария учений, предварительное обеспечение, приобретение и обслуживание оборудования.

Общими усилиями в связи с экспериментом ПЭ02 организована поездка 40 участников из 17 стран, проживание в пункте въезда и в базовом лагере; переезды самолетом, поездом, автотранспортом внутри страны. Упаковано и доставлено к месту эксперимента 2 тонны груза, приобретено на месте еще 2 тонны.

Выполнена инспекционная работа, включая облеты, сопровождение, транспортирование; аренду оборудования по обеспечению здоровья и защите.

Уроки ПЭ02

Полезно было выявить ряд важных уроков во время проведения ПЭ02. Таких уроков оказалось более 140, в том числе, 15 относительно здоровья и безопасности; 42 относительно планирования инспекции; 69 относительно оборудования, юридических задач, материально-технического обеспечения; 35 относительно действий инспекционной команды; 5 - по другим вопросам. Разрабатывается база данных по полученным урокам для сохранения и управления внедрением этих уроков. Проведение ПЭ02 подтвердило значение и необходимость реалистичных, практических полевых экспериментов как важного элемента в построении режима ИНМ. Уроки и упущения ПЭ02 должны помочь сформировать цели будущих экспериментов.

Будущие полевые эксперименты по ИНМ

ПЭ02 продемонстрировал, что для эффективного проведения Инспекции на месте необходимо решение большого числа задач в ограниченное время. Полезно рассмотреть программы будущих экспериментов, направленных на уточнение и оптимизацию этих задач, управляемые основными целями, чтобы обеспечить к 2009 г. необходимую оперативную способность. Масштаб, место, сценарий, реализм, сложность, стоимость, планирование, число и компетентность участников и. др. должны определяться целями каждой такой программы. Они могут быть меньше по масштабу и объему, чем ПЭ02, и сосредоточены на решение конкретных узких вопросов ("Ориентировочная тренировка"), тогда как другие на более обширных, целостных проблемах ("Полевой эксперимент/тренировки"). Например, предполагается, что ПЭ04 в Словакии будет сосредоточен на решении вопросов по сейсмометрии, программному обеспечению, лабораторному анализу, а ПЭ05 в Казахстане будет связан с гамма-мониторингом и облетами. Предполагается продолжение тестирования оборудования в 2005 и 2006 гг. Крупномасштабный, всеобъемлющий полевой эксперимент, сравнимый с ПЭ02, планируется провести в 2007 г. Его масштаб, местность, сценарий, место проведение и другие вопросы находятся в процессе обсуждения. Полномасштабная Контрольная инспекция, возможно, будет проведена в 2009 г.

Выводы

Запуск, проведение и поддержка эффективных Инспекций на месте потребует возрастающих стратегически сфокусированных возможностей со стороны ВТС. Необходимой частью станет программа операций при полевых работах. Поддержка от принимающей стороны, например, такая как от Казахстана при ПЭ02, в значительной степени необходима и неоценима.

ПЭ02 показал, что существуют отличия между теорией и практикой проведения Инспекции на месте. И доказал еще раз известную истину, что "В теории нет разницы между теорией и практикой ... на практике она есть"

ЯСБТШ ШЕГІНДЕ ОРНЫНДАҒЫ ИНСПЕКЦИЯСЫНЫҢ ОҚУЫ: ҚАЗАҚСТАНДА АЛЫНҒАН ҚҰНДЫ ТӘЖРИБЕ

Гоу Р.Г., Девез П.

Ядролық сынауларына бәрін сыйдыратын тыйым салу туралы шарты бойынша Үйым, Вена, Австрия

2002 ж. Қазақстанда өткізілген Орнындағы инспекциясының оқуларын жоспарлауы мен өткізуі, УТХ мен қатысқан мемлекеттер алған тәжрибесі сипатталады, сондай-ақ, қажеттілігі болуында тиімді инспекцияларын бастау және өткізуіне, УТХ дайындалу бөлігі ретінде, жоспарлаудағы өзге нақты далалық ОИ оқулары контекстіндегі көзқарастары келтіріледі. Қазіргі замандағы инспекциялық жабдықтарын қолдануымен дала жағдайларында ОИ қызметін зерделеуінің алдағы мүмкіншіліктері талқылауда.

SIMULATING ON-SITE INSPECTION UNDER THE CTBT: IMPORTANT EXPERIENCE IN KAZAKHSTAN

R.G. Gough, P. Dewez

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

Planning stage and conduction of On-Site Inspection (OSI) in 2002 in Kazakhstan is described. Gained experience of the Provisional Technical Secretariat (PTS) and State-Parties of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT) is illustrated. Recommendations on other planning real OSI exercises as preparation for large-scale effective inspections, in case there is a necessity, are given.

УДК 550.34:621.039.9

СИСТЕМА ПАССИВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АФТЕРШОКОВ: ПРОГРАММА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Мохтари М.

Международный институт инженерии землетрясений и сейсмологии, Тегеран, Исламская Республика Иран

Статья посвящена программе тестирования (фаза A) системы сейсмического мониторинга афтершоков с аппаратурой RefTek (Refraction Technology, Inc., США) для целей Инспекции на месте, проведенного в Международном центре в Вене в 2000 г.

Описано примененное оборудование и программное обеспечение. Проанализированы результаты тестирования, в частности, минимальные потребности в обслуживающем персонале. Обсуждены перспективы развития системы пассивного сейсмического мониторинга афтершоков для задач Инспекции на месте.

Введение

В Приложении II СТВТО/РС-7/1 [2] и отражено функциональное назначение Системы пассивного сейсмического мониторинга афтершоков (Seismic Aftershock Monitoring System - SAMS), что очень важно для определения требований к оборудованию, используемому в полевых условиях при Инспекции на месте (ИНМ). Оборудование должно быть надежным, соответствовать всем нормам и требованиям миссии ИНМ и подходить для Инспекционной команды (ИК). Система пассивного сейсмического мониторинга афтершоков отличается от Международной системы мониторинга или любых групп стационарных сейсмических станций тем, что она должна иметь более высокую точность определения координат события. Ее особенность состоит в обеспечении возможности развертывания в любых условиях - на равнинах и горных районах. Еще более значима легкость ее функционирования и минимизированная потребность в обслуживающем персонале.

Основной целью пассивного сейсмического мониторинга является обеспечение регистрации мелких сейсмических событий, которые могут возникнуть после подземного ядерного взрыва. Изучение афтершоков, вызванных подземным ядерным взрывом, необходимо для понимания динамических процессов, связанных со структурными неоднородностями геофизической среды, а также для проведения процедур контроля за ядерными испытаниями. Последнее особенно важно в связи с разработанным и подписанным Договором о нераспространении [1].

Предпосылки

Афтершоки являются результатом процессов обрушения, происходящих в полости, образовавшейся в результате подземного ядерного взрыва. Они происходят в течение нескольких недель после взрыва с постоянно уменьшающейся частотой, которая сильно зависит от реальных геологических условий и мощности взрыва. Для объяснения причин возникновения афтершоков и их поведения разработано большое число теорий, и только малая их часть неприемлема. Ядерные взрывы вызывают изменение поля напряжений в земной коре, имеющего геометрию, отличную от той, которая свойственна природным условиям. Поэтому, согласно некоторым моделям, описывающим снятие подземных напряжений, процесс затухания афтершоков после ядерных взрывов отличается от процесса их затухания после естественных событий.

Инспекционная команда (ИК) должна начать пассивную сейсмическую съемку как можно скорее, сразу же после прибытия на инспектируемый участок, и решить ряд основных задач.

Первой задачей является организация процесса измерений - выбор конфигурации сети наблюдений и мест расположения датчиков сейсмической сети. Выбор мест расположения станций очень важен, поскольку от этого зависит точность определения координат афтершоков. Для того чтобы оценить влияние размещения станций на точность локализации событий, рассчитывают времена пробега, свободные от ошибок, в узлах решетки, покрывающей эпицентральную зону события как внутри, так и за пределами сейсмической сети, для различных глубин. Рассчитывают среднеквадратические ошибки определения времени в источнике, глубины очага, широты и долготы со средними значениями стандартного отклонения, принятыми для хорошо локализованного афтершока - 0.1 - 0.15 сек. В общем случае ожидается, что за пределами сейсмической сети ошибки более значительны. Диапазон ошибок, рассчитанных в различных комбинациях (с учетом и без учета времени вступления S- волн), показывает, что в пределах области, покрытой сетью наблюдения, ошибки определения времени вступления меняются незначительно. Ошибки определения глубины - меньше рядом со станциями и внутри сети и быстро возрастают за пределами сети станций. Геометрия сети оказывает большое влияние также на ошибки определения широты и долготы события.

Второй задачей является выбор оптимальных алгоритмов анализа зарегистрированных данных для обнаружения, локализации, определения характеристик и записи слабых сейсмических событий, то есть, афтершоков, которые могут быть связаны с каким-либо сейсмическим событием. Для тех афтершоков, которые могут быть вызваны подземным ядерным взрывом, используют такие характеристики, как пространственное и временное распределение, частотный состав, глубина и магнитуда, позволяющие вести определение природы события, вызвавшего инспекцию. На рисунке 1 изображено место ядерного взрыва и воздействие взрыва на окружающие породы.



Рисунок 1. Макет ядерного взрыва

Точность определения координат сейсмических событий (афтершоков) и их глубины в значительной степени зависит от количества установленных в поле сейсмических станций. В этой связи большое значение приобретает проблема оптимизации сейсмических измерений во время Инспекции на месте, то есть получения максимального количества информации об афтершоках за минимальное время. Район размещения системы пассивного сейсмического мониторинга афтершоков, должен быть меньше 1000 квадратных километров [1]. Для этого система мониторинга должна иметь 20 или более станций. Каждая станция сети мониторинга состоит из сейсмометра, дигитайзера, обеспечена средствами телеметрии и хранения непрерывно поступающих данных.

ТРЕБОВАНИЯ ДОГОВОРА

Согласно Приложению II СТВТО/РС-7/1 функциональные требования к Системе пассивного сейсмического мониторинга афтершоков заключаются "...в обнаружении, локализации и идентификации низкочастотных афтершоков, землетрясений или любых других видов сейсмических событий с магнитудой от 2 и выше в радиусе двух километров от эпицентра подземного события. Программное обеспечение, относящееся к применяемому оборудованию, должно архивировать и выводить на монитор волновые формы для последующего анализа, а также осуществлять автоматическое обнаружение, локализацию, определение характеристик источника события и его глубину в режиме, близком к реальному времени, предоставлять возможность визуализации сейсмических событий с такой точностью, которая практически доступна ...".

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АФТЕРШОКОВ

Оборудование и программное обеспечение, требуемое для проведения Инспекции на месте, можно разделить на две группы. Первая группа включает оборудование и программное обеспечение для станций, размещаемых на участке – выносных станций, а вторая группа - оборудование и программное обеспечение для центрального пункта. Схема протестированного оборудования и программного обеспечения показана на рисунке 2.

Оборудование и программное обеспечение для выносных станций (рисунок 2 б)

На первой стадии тестирования (Фаза А) использовалась полевая выносная цифровая станция записи DAS (Digital Acquisition System) с сейсмометрами L-22. Сейсмометры L-22 - трехкомпонентные, короткопериодные, прочные и компактные устройства, имеющие размер менее 20 см, вес – около 8 кг (рисунок 3). Минимальная полоса пропускания по частоте составляет приблизительно от 1 до 40 Гц.



Рисунок 2. Схема тестируемого оборудования и программного обеспечения Системы пассивного сейсмического мониторинга афтершоков: а – оборудование и программное обеспечение на центральном пункте; б – полевая сейсмическая станция



Рисунок 3. Трехкомпонетный сейсмометр L-22

Для оцифровки сигналов использовались дигитайзеры модели RT 72А-07, по которым накоплен большой опыт использования в мировой практике. В общей сложности сейсмологами используется более 3000 экземпляров этих устройств. Дигитайзер модели RT 72А-07 аттестован Сандийской Национальной Лабораторией (США).

Система сбора данных включала датчик Глобальной системы позиционирования (GPS), устройство хранения данных, свинцово-цинковый аккумулятор, зарядное устройство, солнечные панели, кабели и корпус для транспортировки. Телеметрическая система состояла из беспроводного передатчика данных типа спреад-спектрум (передатчик данных), усилительной антенны, телескопической мачты, свинцово-цинкового аккумулятора и зарядного устройства, солнечных панелей и кабеля, соединяющего дигитайзер и передатчик.

Оборудование и программное обеспечения для центрального пункта (рисунок 2а)

Основная цель Центрального пункта - сбор и анализ данных. Использовалось следующее оборудование: ненаправленная антенна, автономный обработчик сейсмических данных. В качестве сервера использовался компьютер с установленной операционной системой Windows NT, укомплектованный пишущим CD-приводом, RAID-контроллером жестких лисков. 6 лисками. модемом. полсистемой записи на диск с противоударным корпусом для DAS, улучшенной клавиатурой (101 клавиша), трехкнопочной мышью Microsoft, 15-ти дюймовым SVGA монитором, цветным принтером, универсальным SCSI кабелем, а также компьютер Palmtop 3C с системой сохранения работоспособности при отказе отдельных элементов системы, источником бесперебойного питания UPS 220 V, свинцово-цинковым перезаряжаемым аккумулятором, зарядным устройством на 12 В.

Программное обеспечение состояло из программных пакетов Seisan (Дж. Хавсков, Л. Оттемоллер, Институт физики твёрдой земли, Норвегия) и Earthworm (рисунок 2 а), которое предусматривает обеспечение сбора данных и обслуживание сети в режиме реального времени, а также анализ записей событий в автономном режиме.

Персонал

Принимая во внимания ограничения, накладываемые Договором [1], и имея в виду ограниченность времени, выделяемого на сбор и предварительный анализ данных, для успешного выполнения задачи Инспекции на месте необходимо участие небольшой группы специалистов. Представляется, что оптимальным будет участие в работе по изучению афтершоков следующих специалистов:

 полевой сейсмолог (инспектор). Его основная задача - выбор участка для исследований, определение мест размещения станций с учетом того, инспекционная команда будет иметь предварительную информацию о координатах инспектируемого участка. При возникновении необходимости более точного определения границ инспектируемого участка, полевой сейсмолог выполнит несколько перестановок, прежде чем будет определен окончательный участок для проведения долговременного инспектирования;

- сейсмолог с опытом анализа цифровых данных локальных сетей (инспектор);
- специалист по компьютерным системам и опытом программирования (инспектор);
- помощники инспектора (до 3 человек) с опытом в установке и обслуживании переносных сейсмических систем различных производителей;
- эксперт по связи (инспектор).

Ознакомительное тестирование (фаза А)

Первоначально было проведено сравнение возможностей вышеописанного оборудования и программного обеспечения с целями и требованиями Договора по результатам ознакомительного тестирования, в котором участвовали представители нескольких стран-участников Договора. После вводкурса И ознакомления ного с общими характеристиками оборудования в течение недели в окрестности Международного центра в Вене проводилась серия различных испытаний и анализ полученных данных. Это и была Фаза А программы. В ходе этапа было установлено, что характеристики, заявленные производителями, соответствуют реальным показаниям. Особое внимание было уделено интеграции компонентов в единую систему, включающую как оборудование, так и программное обеспечение. Следует отметить, что включение оборудования Reftek в Систему пассивного сейсмического мониторинга афтершоков было сделано впервые, поэтому во время испытаний на эту часть системы обращалось особое внимание. В результате тестирования был сделан ряд предложений по более эффективному использованию системы, в частности, было рекомендовано предоставлять, помимо аппаратуры, запасные части для компонентов.

Второй задачей при тестировании была проверка целостности данных, проходящих через систему. Необходимо была такая конфигурация всей системы, чтобы пользователям было ее легко настраивать, производить анализ данных, а результаты анализа, в свою очередь, делать легко и быстро доступными для анализа совместно с остальными методами Инспекции на месте. Другим важным аспектом исследования была легкость используемого оборудования, что тесно связано с ограниченностью состава команды Инспекторов и необходимостью переноски оборудования по труднопроходимым местам даже, несмотря на то, что исследуемый участок может находиться в нескольких километрах от любой дороги. Вес оборудования может оказаться очень важным фактором при рассмотрении его функциональности. Во время проведения Фазы А можно было провести только предварительную оценку оборудования по этому критерию, тогда как более полно была рассмотрена функциональность системы по следующим критериям:

- простота в установке и использовании;
- транспортабельность в полевых условиях;
- прочность;
- самодостаточность в полевых условиях;
- возможность устранения неполадок;
- подверженность влиянию природных условий;
- время установки в заданных условиях;
- время, необходимое для анализа данных в заданных рамках;
- получение данных в печатном виде;
- конфиденциальность информации и базы данных – обсуждение возможных решений с инженерами;
- обучение операторов и аналитиков предложения по использованию программного обеспечения.

На рисунке 4 показано, как осуществлялась первая проверка оборудования и его предварительная установка. На рисунке 5 - трудности, возникшие при установке антенной мачты.



Рисунок 4. Предварительная установка и проверка оборудования



Рисунок 6. Сложности, возникшие при установке главной антенной мачты

Следует отметить, что имевшиеся в наличие аккумуляторы оказались слишком тяжелы для работ в полевых условиях, особенно с учетом ограниченного числа членов инспекционной команды.

В полевых условиях были изучены вопросы достаточности подачи питания, проведена проверка когерентности между всеми сейсмометрами (с этой целью было проведено специальное испытание), проверка полевой системы сбора данных (FDAS -Field Digital Acquisition System), шума дигитайзера, точности временной привязки по GPS, проверка правильности функционирования системы телеметрического сбора данных, проверка работы компьютеров при сборе и анализе данных, и, наконец, достаточность объема средств для хранения данных.

Результаты и выводы

После недельного исследования оборудования, программного обеспечения и анализа функционирования системы в целом, участники испытаний пришли к следующим выводам. Компьютерная система для обработки сейсмических данных в режиме реального времени оказалась вполне достаточной, чтобы обслуживать каждый пункт Системы пассивного сейсмического мониторинга афтершоков. Однако при этом оператор должен делать многочисленные перенастройки. Источник бесперебойного питания UPS 220 V поддерживает систему в течение 5 - 10 минут и после этого автоматически плавно выключается. Программное обеспечение для сбора данных является не вполне дружественным к пользователю. Не обеспечивается возможность переноса станционных параметров от одного модуля программного обеспечения к другому. Это значит, что система не является цельной и непрерывной. Программное обеспечение для анализа землетрясений Seisan позволяет заносить координаты станций только с точностью, примерно, до 0.01 минуты, то есть, от 10 до 15 м. Это приводит к требованию иметь более четкую стратегию при размещении пунктов сети. Например, инструкция пользователю должна содержать информацию об имеющихся препятствиях в зоне видимости при выборе участков. Для достижения требуемых результатов персонал должен пройти соответствующее обучение. Система анализа данных в полевых условиях должна быть более быстрой.

Рекомендации

Основываясь на результатах проведенного испытания, был сделан ряд рекомендаций для проведения Фазы В Программы (Словакия, 2001 г.). Так, было рекомендовано использовать только трехкомпонентные сейсмометры с маркировкой направлений С (север) и В (восток) для горизонтальных компонент, вести учет полярностей для всех трех компонент. Было рекомендовано модифицировать полевую систему сбора данных (FDAS) с тем расчетом, чтобы появилась возможность пересылать станционные и настроечные параметры на центральный пункт. Весьма желательной является разработка программы графического вывода на монитор. Программное обеспечение для GPS/FDAS должно быть модифицировано с тем, чтобы учитывались случайные, односекундные смещения в станционном времени. Что касается оцифровки и пересылки данных, будущие изменения в DAS должны включать в себя как пересылку данных по телеметрическим каналам, так и организацию их записи и хранения на месте. Требуемое увеличение частоты оцифровки (до 250 отсчетов в сек) в непрерывном режиме может быть достигнуто, если осуществлять непрерывную передачу только Z (вертикальной) компоненты, а горизонтальные компоненты передавать с частотой 250 отсчетов в сек только для зарегистрированных событий.

Программное обеспечение для анализа землетрясений должно иметь графический интерфейс пользователя для всех операций. Кроме того, оно должно иметь интегрированный конфигурационный файл для занесения информации о местоположении станций. Эти параметры должны заноситься только один раз, и после этого использоваться другими программами. Наконец, программное обеспечение должно позволять автоматически определять времена вступлений Р- и S-волн, используя, если необходимо, поляризационную фильтрацию, и осуществлять удобный перенос данных.

Необходимо провести всестороннюю оценку результатов недавно проведенного испытания Фазы В и сравнить их, если потребуется, с результатами ознакомительного тестирования. Если результаты окажутся удовлетворительными и будут отвечать требованиям Инспекции на месте, система может быть расширена до полномасштабной перед проведением испытания Фазы С (Великобритания, 2004 г.).

Литература

- 1. Comprehensive Nuclear-Nest-Ban Treaty (CTBT) and Text on the Establishment of a Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Nest-Ban Treaty Organization. Vienna: CTBTO, 1997 139 p.
- On-Site Inspection Workshop 7: OSI Methodology, Equipment and Operation, Beijing, China, 15 19 October 2001. Published by PTS, Vienna: CTBTO, 2003.

АФТЕРШОКТЕРІНІҢ ПАССИВТІК СЕЙСМИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІ: ПРОГРАММА ЖӘНЕ АЛДЫН АЛА НӘТИЖЕЛЕРІ

Мохтари М.

Халықараллық сейсмология және жерсілкіну инженериясы институты, Тегеран, Иран Ислам Республикасы

Мақала, 2000 ж. Венадағы Халықаралық орталығының төңрегінде өткізілген Орнындағы инспекция мақсаттрына RefTek (Refraction Technology, Inc., США) аппаратурасымен афтершоктерінің сейсмикалық мониторинг жүйесін тесттілеу программасына (А фазасы) арналған.

Жабдықтары және қолданылған программалық жасауы сипатталған. Тесттілеу нәтижелері талдап жіктелген, Орнындағы инспекциясын өткізуінде қызмет көрсету персоналының минималь қажеттілігі анықталған. Орнындағы инспекция үшін афтершоктерінің пассивтік сейсмикалық мониторинг жүйесі даму болашағы талдап жіктелген.

THE PASSIVE SEISMIC AFTERSHOCK MONITORING SYSTEM: TESTING PROGRAM AND PRELIMINARY RESULTS

M. Mokhtari

International Institute of earthquake Engineering and Seismology, I.R. Iran

The paper is dedicated to testing program (phase A) of the passive seismic aftershock monitoring system with RefTek equipment (Refraction Technology, Inc., USA) for On-Site Inspection purposes that was carried out near Vienna International Centre in 2000.

Equipment and applied software are described. Testing results were analyzed; in particular, least needs in maintenance personnel during operation. Development perspectives of passive seismic aftershock monitoring system for On-Site Inspection have been discussed.

УДК 621.039.9

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЗА СБОРОМ И ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ В ЦЕНТРЕ ДАННЫХ ИГИ НЯЦ РК

Комаров И.И., Гордиенко Д.Д., Кунаков А.В.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В центре данных Института геофизических исследований НЯЦ РК создана и успешно функционирует автоматизированная система сбора и передачи сейсмоакустических данных в режиме реального времени, контроля качества и объёма поступающей информации, а также контроля состояния системы и каналов связи. Статистические сведения о работе системы накапливаются в созданной базе данных. Оперативная информация о состоянии системы отображается на Web-сайте Центра

Введение

С 1994 г. на территории Казахстана создается сеть станций Национального ядерного центра РК [1], основными задачами которой являются обнаружение, локализация и идентификация сейсмических событий, прежде всего, несанкционированных ядерных взрывов. В 1999 г. для осуществления сбора, хранения и обработки информации, поступающей со станций сети НЯЦ РК, создан Центр обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ). Центр связан с наблюдательными станциями системой спутниковых и радиотелеметрических каналов, с помощью которых осуществляется непрерывный сбор данных и их передача в другие организации мира. Система наблюдений НЯЦ РК является составной частью Международной системы мониторинга по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), которая предъявляет жесткие требования к количеству и качеству поступающей информации. Центр несет ответственность за полноту и качество поступающей информации, своевременность передачи данных в Международный и национальные центры данных, в связи с чем, возникла необходимость в организации постоянного контроля за всеми узлами регистрации, связи, а также за объемом и качеством поступающих данных. С учетом этого, в 2002-2003 гг. создана централизованная система контроля, организации которой посвящена настоящая статья.

КОНТРОЛЬ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ И КАНАЛОВ СВЯЗИ

На рисунке 1 приведена схема сбора и передачи данных в ЦСОССИ. Как видно, использованы различные телекоммуникационные решения для системы сбора и передачи информации, такие как радиотелеметрия, спутниковые каналы связи, интернет.



Рисунок 1. Схема коммуникационной системы ЦСОССИ

В ЦСОССИ поступают данные с 11 наблюдательных станций сети (около 70 каналов), в том числе с 7 сейсмических групп. Объем поступающей информации в режиме реального времени составляет около 800 Мбайт в день (рисунок 2).



Рисунок 2. Объем поступающей информации в режиме реального времени

Для контроля работоспособности регистрирующих систем, каналов связи, поступления данных в режиме реального времени создана централизованная система мониторинга, которая помогает операторам в круглосуточном режиме отслеживать и локализовать различные сбои в работе системы.

Реализованы следующие возможности централизованного контроля работоспособности системы:

- Визуальный контроль.
- Звуковое оповещение.
- Слежение за объемом поступающих данных.
- Отображение результатов контроля.

Отображение результатов контроля за состоянием системы и поступлением данных осуществляется на Web-сайте ЦСОССИ. Реализован интерфейс к Webсайту, обеспечивающий доступ к базе данных о состоянии системы и поступлении данных. Для этих целей разработана и создана реляционная база данных в формате InterBase, включающая статистику работы каналов и объем поступающих данных. В базе данных хранится два вида информации: о количестве данных (в процентах), поступающих в ЦСОССИ, и о времени и длительности отсутствия данных по каждому каналу всех сейсмических станций, работающих в режиме реального времени. Для удовлетворения современным требованиям хранения больших объемов данных и оперативного доступа к ним, а также для их целостности в последнее время создаются серверы баз данных, построенные по технологии «клиент-сервер». По определению, серверы баз данных предназначены для организации и управления данными, а также поддержания базы данных в целостном состоянии. Такая технология, как нельзя лучше, подходит для хранения данных сейсмических событий разной степени оперативности.

Контроль поступления данных

Визуальный контроль состоит в постоянном цветовом отображении состояния поступления и отправки данных сети станций НЯЦ РК в режиме реального времени заинтересованным пользователям (рисунок 3).



Цвета: зеленый – последний пакет получен (отослан) в течение последних 20 мин; желтый - последний пакет получен (отослан) 20 мин – 4 ч назад; красный - последний пакет получен (отослан) 4 – 24 ч назад; серый - последний пакет получен (отослан) более 24 ч назад; оранжевый – база данных не обновлялась по какимлибо причинам в течение более чем 20 мин.

Рисунок 3. Контроль времени получения (со станций) и отправки (в другие центры) поступающих пакетов данных

Визуальное наблюдение за приходом данных в режиме реального времени позволяет определить наличие или отсутствие данных по какому-либо каналу, отставание данных и т. д. (рисунок 4). Наконец, обеспечена возможность слежения за работой спутниковых каналов: при наличии связи кнопка с названием станции - зеленая, при отсутствии связи красная (рисунок 5). Звуковое оповещение для операторов ЦСОССИ организовано таким образом, что при отсутствии данных с определенной станции или при отсутствии канала связи подается голосовое сообщение.



Рисунок 4. Контроль за поступлением данных


Рисунок 5. Контроль за работой спутниковых каналов

Слежение за объемом поступающих данных осуществляется систематически путем расчета статистики. Определяется относительное количество данных, пришедших в ЦСОССИ. Подготовлены и функционируют два комплекса программ - по оперативному и окончательному расчету статистики поступивших данных. Оперативный расчет производится по данным, поступившим за текущие сутки. В нем не учитываются данные, которые дозаписываются (например, из-за перерыва в работе канала связи). Результаты расчетов поступают по электронной почте специальным подписчикам – ответственным сотрудникам Центров. В расчетах отражена статистика объемов поступившей информации, а также время начала и конца перерывов в поступлении данных. Пример рассылаемой информации оперативного контроля за сутки приведен в таблице 1.

Окончательный расчет статистики производится за шесть предыдущих дней. Если по каким-либо причинам имел место перерыв в приеме данных и данные поступили, но с опозданием, это будет учтено в расчетах. По результатам формируется файл, содержащий сведения (в процентах) о работе за сутки станции и канала. Для определения времени начала и конца перерывов в поступлении данных (если такие произошли) имеется специальная программа. Результатом работы этой программы является таблица интервалов времени, в течение которых данные отсутствовали (таблица 2).

Габлица 1. Ф	<i>Ърагмент</i>	таблицы	с информацией,	поступившей в	з ЦСОССИ	I за сутки
--------------	-----------------	---------	----------------	---------------	----------	------------

C =0,000	Kauan	Кол-во	Дата начала	Время начала	Дата конца	Время конца	Кол-во
Станция	канал	сегментов	сегмента	сегмента	сегмента	сегмента	данных
AB08	SZ	18	03/17	00:00:00.000	03/17	23:59:59.975	100.00%
AB09	SZ	18	03/17	00:00:00.000	03/17	23:59:59.975	100.00%
AB31	be	18	03/17	00:00:00.000	03/17	23:59:59.975	100.00%
	bn	18	03/17	00:00:00.000	03/17	23:59:59.975	100.00%
	bz	18	03/17	00:00:00.000	03/17	23:59:59.975	100.00%
BRVK	be	6	03/17	00:00:00.005	03/17	23:59:59.990	100.00%
	bn	6	03/17	00:00:00.005	03/17	23:59:59.990	100.00%
	bz	6	03/17	00:00:00.005	03/17	23:59:59.990	100.00%
BVA0	be	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%
	bn	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%
	bz	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%
BVA1	SZ	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%
BVA2	SZ	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%
BVA3	SZ	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%
BVA4	SZ	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%
BVA5	SZ	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%
BVA6	SZ	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%
BVA7	SZ	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%
BVA8	SZ	1	03/17	00:00:00.013	03/17	23:59:49.988	100.00%

Таблица 2. Фрагмент таблицы с интервалами отсутствия данных

Станция	Канал	Дата начала сегмента	Время начала сегмента	Время конца сегмента	Длительность сегмента
MK31	be	03/14/2003 00:00:00	07:59:40.000	08:00:00.000	20
MK32	se	03/14/2003 00:00:00	07:59:40.000	08:00:00.000	20
MK31	bn	03/14/2003 00:00:00	07:59:40.000	08:00:00.000	20
MK32	sn	03/14/2003 00:00:00	07:59:40.000	08:00:00.000	20
MK31	bz	03/14/2003 00:00:00	07:59:40.000	08:00:00.000	20
MK01	SZ	03/14/2003 00:00:00	07:59:40.000	08:00:00.000	20
MK02	SZ	03/14/2003 00:00:00	07:59:40.000	08:00:00.000	20
MK32	sz	03/14/2003 00:00:00	07:59:40.000	08:00:00.000	20

Аналогичным образом формируются файлы с объемом поступивших данных от каждой станции НЯЦ РК. По истечении месяца на основании файлов с данными за сутки формируется итоговый отчет о работе станций и каналов за месяц. В качестве примера в таблице 3 приведены сводные статистические данные о работе станции PS23-Маканчи за март месяц 2003 г.

Канал	%	Канал	%	Канал	%
MK01	98,46	MK02	97,92	MK03	97,91
MK04	90,76	MK05	98,45	MK06	97,94
MK07	97,33	MK08	97,73	MK09	97,96
M31e	96,99	M31n	96,99	M31z	96,99
M32e	99,69	M32n	99,69	M32z	99,69

Таблица 3. Объем данных, поступивших в ЦСОССИ за март месяц 2003 г. от станции PS23-Маканчи

Для слежения за работой каналов связи каждые 10 мин из ЦСОССИ производится опрос основных компьютеров сейсмических станций, на которых собираются и с которых передаются данные. О случаях перебоя в работе канала связи оператор информируется по электронной почте или звуковым сигналом. Пример сообщения о перебоях в работе канала связи приведен в таблице 4.

Кроме оперативного и окончательного расчетов статистик по данным, поступившим в ЦСОССИ, имеется возможность сравнить их со сведениями, переданными в Национальный центр данных США и Международный центр данных (Вена).

Для удобства пользователей, особенно удаленных от ЦСОССИ, реализован интерфейс доступа к результатам мониторинга состояния станций и поступления данных в ЦСОССИ через Web-сайт (www.kndc.kz). На первой странице навигационной панели (в русской и английской версиях) имеются две ссылки. Первая из них - «Статистика поступления данных», направляет пользователя к странице, на которой можно сформировать запрос к базе данных (рисунок 7) и получить необходимый ответ (рисунок 8). Вторая ссылка - «Задержка поступления данных» открывает окно, в котором отображается время поступления последнего пакета данных и время отсылки последнего пакета в другие Центры данных. Цветовая кодировка, как показано на рисунке 3, информирует о временном режиме посылки (получения) последнего пакета данных. Частота обновления информации на Web-сайте составляет 12 ч.

Созданный инструмент весьма полезен, поскольку позволяет оперативно, на удалении получать информацию о поступлении и пересылке пакетов данных. Так как доступ к данным происходит через Web - сервер, то информацию можно получать при помощи любого браузера с любого компьютера, независимо от того, под управлением какой операционной системы он работает.

$\alpha 0 \beta \alpha \alpha \beta \gamma$	Габлииа 4.	Сообшение	об	отсутствии	связи п	о каналу
---	------------	-----------	----	------------	---------	----------

Имя станции	Дата	Имя станции	Дата
NO_KURK	04/15/03 03:43:58	NO_MkarRT	04/15/03 18:47:52
NO_MkarRT	04/15/03 18:25:52	NO_CHK	04/15/03 19:11:52
NO MkarOW	04/15/03 18:25:52	NO CHK	04/15/03 20:47:52



Рисунок 6. Страница запроса (а) и пример ответа на запрос (б) о поступлении данных в ЦСОССИ

Контроль качества данных

Кроме контроля за поступлением данных мониторинга и за работой каналов связи, в ЦСОССИ контролируется качество поступающих данных. Поскольку качество данных в значительной мере зависит от характеристик приборов, одной из основных реализованных функций системы является дистанционная калибровка и учет характеристик приборов [2]. Цель калибровок - получение зависимостей характеристик сигнала от параметров реального движения почвы в месте установки сейсмического датчика для разных частот. Результатом анализа калибровочных зависимостей являются динамические характеристики сигналов, период собственных колебаний сейсмометра и его затухание, а также оценка состояния других элементов станции (калибровочного модуля, дигитайзера, питания станции и др.).

Калибровки проводятся дистанционно – с терминала рабочей станции на центральном пункте сбора информации. Команда через дигитайзер посылается на сейсмометр. На рабочем месте оператора отображается графическая интерпретация результатов калибровки. После анализа и, при необходимости, изменения параметров сейсмометра калибровка может быть повторена. Результат сохраняется для дальнейшего анализа.

К основным типам калибровок, применяемым для станций, входящих в международную систему мониторинга, относятся:

- псевдослучайная двоичная калибровка (Random Binary Calibration), обеспечивающая получение амплитудно-частотной и фазовой характеристик прибора, а также контроль за их изменением (применяется только для калибровки сейсмических групп);
- синусоидальная калибровка (Sine calibration), используемая для контроля подвесной системы прибора;
- калибровка импульсом (Pulse calibration), используемая для определения и корректировки полярности прибора [3].

Калибровки позволяют поддерживать соблюдение требований, предъявляемых Международной системой мониторинга к характеристикам приборов, установленных на станциях. Так, например, для каждого короткопериодного элемента значение амплитуды на частоте 1 Гц должно равняться 0 дБ и не должно отличаться более, чем на 5% от среднего значения, полученного при калибровке всех остальных короткопериодных элементов. Значение фазы для каждого короткопериодного элемента должно равняться 90 град на частоте 1 Гц и не должно отличаться более, чем на 5% от среднего значения, полученного при калибровке всех остальных короткопериодных элементов.

Плановые калибровки станций сети НЯЦ РК проводятся из ЦСОССИ систематически, в соответствии с разрабатываемыми графиками. В случае замены аппаратуры проводятся внеочередные калибровки. Результаты калибровок заносятся в базу данных и используются при обработке данных сейсмического мониторинга.

Другим методом контроля качества состояния аппаратуры является систематический анализ параметров сейсмического шума каждой из станций, входящих в сеть НЯЦ РК. Предварительно были специально исследованы динамические параметры шума за определенные промежутки времени, его вариации за сутки и по временам года. Тем самым создана возможность сравнивать текущие оценки шума с их долговременными средними характеристиками и контролировать работу оборудования. На рисунке 8 приведен пример рассчитанной кривой спектральной плотности шума по новой станции Акбулак (Западный Казахстан).



NM - границы нижнеуровневой и верхнеуровневой моделей шума [4].

Рисунок 8. Спектральная плотность шума. Станция Акбулак (ABKAR)

УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

С октября 2002 г. в ЦСОССИ организовано круглосуточное дежурство операторов для проведения контроля за работой аппаратуры на станциях сети мониторинга, каналов связи, а также для оперативного устранения неисправностей. Разработаны инструкции для операторов с описанием действий при возникновении нештатных ситуаций, составлен список ответственных лиц, с которыми необходимо связываться в этих случаях. При невозможности дистанционно из ЦСОССИ устранить неисправность на место выезжает полевой инженер.

Заключение

В центре данных Института геофизических исследований НЯЦ РК разработано программное обеспечение, создана технология контроля за работой системы сейсмического мониторинга, которая распространяется на процедуры от получения данных на наблюдательной станции до отражения их на Web-сайте. Автоматизированная система реализована полностью и успешно действует в производственном режиме. Одновременно ведутся работы по ее дальнейшему усовершенствованию, прежде всего, для концентрации всех функций контроля на мониторе дежурного оператора.

Литература

- Беляшова Н.Н., Малахова М.Н. Сейсмологическая сеть Национального ядерного центра Республики Казахстан как составная часть международной системы мониторинга ядерных испытаний//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - С. 13 - 16.
- 2. Аппаратура и методика сейсмологических наблюдений в СССР. Л.: Наука, 1986.
- 3. TI 2S-ISA/MKAR-1. 31\01\2002-01-31
- 4. J. Peterson Observations and modeling of seismic background noise, U.S. Geological Survey Open-File Report 93 322, 1993. 42 p.

ҚР ҰЯО ГЗИ ДЕРЕКТЕР ОРТАЛЫҒЫНДА ДЕРЕКТЕР ЖИНАУ ЖӘНЕ ЖІБЕРУ БАҚЫЛАУЫНЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІ

Комаров И.И., Гордиенко Д.Д., Кунаков А.В.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

ҚР ҰЯО ГЗИ деректер орталығында нақты уақыт режімінде сеймсоакустикалық деректерін жинау және жіберуінің, сондай-ақ түсетін ақпаратының сапасы мен көлемін, жүйе және байланыс арналарының күйін бақылайтын автоматикалық жүйесі жасалып табысты іс-қимылда. Жүйе жұмысы туралы статистикалық мағлұматтары жасалған деректер базасында жиналады. Жүйенің оперативтік күйі туралы ақпараты орталықтың Web-сайтінде көрсетіледі.

SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OVER DATA ACQUISITION AND TRANSMISSION TO IGR NNC RK DATA CENTER

I.I. Komarov, D.D. Gordienko, A.V. Kunakov

Institute of Geophysical Researches, NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Automated system for seismic and acoustic data acquisition and transmission in real time was established in Data Center IGR NNC RK, which functions very successively. The system monitors quality and volume of acquired information and also controls the status of the system and communication channels. Statistical data on system operation are accumulated in created database. Information on system status is reflected on the Center Web page.

УДК550.34 (574.24/41)

ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОБЕГА ПРОДОЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ В КАЛЕНДАРНОМ ВРЕМЕНИ

¹⁾Ан В.А., ¹⁾Годунова Л.Д., ¹⁾Каазик П.Б., ²⁾Михайлова Н.Н., ¹⁾Овчинников В.М.

¹⁾Институт динамики геосфер Российской академии наук, Москва, Россия ²⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты исследования изменений времени пробега продольной сейсмической волны в календарном времени на трассе Семипалатинский испытательный полигон - сейсмическая станция Семипалатинск за период времени с 1977 г. по 1989 г. Получены оценки вариаций и линейного тренда времени пробега, которые сравнены с результатами наблюдений, выполненными на станции Боровое относительно Невадского и Семипалатинского испытательных полигонов.

Введение

В процессе контроля за проведением подземных ядерных испытаний было обнаружено непостоянство времени пробега продольных сейсмических волн в календарном времени [1-3]. При этом наблюдались как квазипериодические вариации, так и линейный тренд времени пробега. Рассматривались трассы разной протяженности, что позволило исследовать различные сейсмические фазы с существенно отличающимися путями распространения продольных волн. Так, например, в изучаемых случаях волна Р проникала почти до границы мантия – внешнее ядро, волна РКіКР отражалась от границы внутреннего ядра, основной путь волны P_n проходил в верхах мантии и земной коре. В результате выяснилось, что линейный тренд времени пробега волны Р на трассе (Д=10000 км) Невадский испытательный полигон (NTS) - сейсмическая станция Боровое (BRVK) и волны PKiKP на трассе (Д=690 км) Семипалатинский испытательный полигон (STS) - BRVK имеет положительный знак (т.е., время пробега увеличивается в календарном времени). В те же годы время пробега волны P_n на трассе STS - BRVK уменьшается [4,5]. В [3] высказано предположение ...что, как вариации, так и положительный тренд времени пробега сейсмических волн обусловлены изменениями физических параметров среды в области коры и верхней мантии...".

В настоящей работе продолжено исследование изменений времен пробега сейсмических волн в календарном времени на более короткой трассе, STS - сейсмическая станция Семипалатинск (SEM), когда волна P_g распространяется только в пределах земной коры (Δ =100-180 км).

Использованные материалы

Время и координаты подземных ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне определены с высокой точностью и опубликованы в [6-9]. В настоящем исследовании использованы данные по 66-и взрывам, произведенным на площадке Балапан (в скважинах) и 54-м взрывам, произведенным на площадке Дегелен (в штольнях) в период времени с 1977 г. по 1989 г. Кроме того, привлечены данные по 6-и взрывам на площадке Дегелен в 1964-1966 гг. Использованы записи станции SEM, которая из всех сейсмических станций бывшего СССР наиболее близко расположена к Семипалатинскому испытательному полигону (Δ= 100-180 км). Регистрация сейсмограмм велась на станции короткопериодными каналами СКМ со скоростью записи 60 мм/мин и увеличением порядка V= 30000. Методика исследования подробно описана в [2,5].

Результаты исследований

Изменение времени пробега волны P_g до станции SEM анализировалось раздельно для взрывов на площадках Балапан (bal) и Дегелен (deg). На рисунке 1 представлены локальные годографы для каждой из этих площадок (sembal, semdeg).



Рисунок 1. Локальные годографы волны P_g_npu h=0 км: sembal – на трассе Балапан – станция SEM; semdeg – на трассе Дегелен – станция SEM

Из рисунка 1 видно, что отклонение времен пробега волны Р_д от времен, соответствующих среднему годографу, для отдельных взрывов на площадке Дегелен значительно больше, чем для площадки Балапан. Этот факт, возможно, обусловлен следующими причинами. На площадке Балапан по каждой скважине известна скорость продольной волны V_p, с использованием которой время взрыва приводилось к уровню моря (при этом поправка времени по абсолютной величине не превышала 0.05 сек). На площадке Дегелен скорость V_p в месте заложения заряда в каждой штольне неизвестна, поэтому в расчетах для всех взрывов принята одна и та же скорость V_p=5.4 км/с, что, безусловно, не отвечает реальным условиям. Абсолютная высотная отметка гипоцентра взрывов, принятая при обработке данных, колеблется в пределах 530-820 м над уровнем моря, т.е., максимальная поправка времени взрыва составляет порядка 0.15 сек. Ранее, в [5] отмечалось, что аналогичная картина наблюдалась в локальных годографах на трассах Балапан - BRVK и Дегелен - BRVK.

Изменения времени пробега волны P_g, приведенного к уровню моря и к среднему эпицентральному расстоянию, в календарном времени на трассе Балапан -SEM показаны на рисунке 2. Обработка данных выполнена в двух вариантах: вверху - по каждому из взрывов отдельно, внизу - по средним значениям из всех взрывов за календарный год. В обоих вариантах величина линейного тренда оказалась одного и того же порядка – (-5.71) мс/год и (-2.81) мс/год.

Результаты аналогичной обработки для трассы Дегелен - SEM представлены на рисунке За. Различные варианты обработки дали разные знаки линейного тренда: (+6.48) мс/год и (-3.45) мс/год при больших значениях среднеквадратических отклонений (13.55 мс/год и 14.74 мс/год, соответственно), т.е. тренд статистически незначим.

Добавление к выборке по трассе Дегелен - SEM данных по шести взрывам за 1964-1966 гг. изменило параметры линейного тренда времени пробега (рисунок 3б). Получена практически одинаковая оценка линейного тренда – (-7.26) мс/год и (-7.56) мс/год – при уменьшении в два раза значений среднеквадратических отклонений (~7 мс/год). Таким образом, увеличение временного (календарного) интервала при анализе данных повысило надежность оценки линейного тренда времени пробега сейсмических волн. Этот факт необходимо учитывать в дальнейших аналогичных исследованиях.



Вверху – для каждого взрыва; внизу – для среднегодового значения. Цифры (в кружках) – использованное количество взрывов за данный год, вертикальные линии – среднеквадратическое отклонение.

Рисунок 2. Изменение времени пробега волны P_g., приведенного к уровню моря и среднему эпицентральному расстоянию на трассе Балапан – SEM (1977 – 1989 гг.)





Рисунок 3. Изменения времени пробега волны $P_{g,}$ приведенного к уровню моря и к среднему эпицентральному расстоянию, на трассе Дегелен – SEM для календарных периодов

Обсуждение результатов

В вариациях времени пробега волны P_g на трассе STS - SEM наблюдается как квазипериодическая составляющая, так и отрицательный линейный тренд. В квазипериодических среднегодовых вариациях проявляются периодичности порядка 2-4 лет с максимальными амплитудами порядка 0.3-0.4 сек. Однако синфазности в них по плошалкам Балапан и Дегелен не наблюдается, несмотря на то, что расстояние между площадками не превышает 60-70 км. Такой же результат был получен ранее на трассах STS - BRVK (волна P_n), NTS - BRVK (волна P), STS -BRVK (волна РКіКР) [3]. В отношении амплитуды среднегодовых вариаций времени пробега, которые составляют 0.3-0.5 сек на разных трассах, можно сделать вывод, что они не зависят ни от эпицентрального расстояния, ни от глубины проникновения сейсмического луча продольной волны. Можно предположить, что квазипериодические вариации обусловлены в основном изменениями плотности среды в земной коре в районах проведения взрывов и регистрации сейсмических волн. На рисунке 4 представлены линейные тренды времени пробега сейсмических волн Р и РКіКР в календарном времени на различных трассах. По Семипалатинскому испытательному полигону представлены данные только по площадке Балапан (Bal), как более надежные.

На рисунке 4 $\delta t = t - t_{const}$, где t - время пробега от полигона до станции, а t_{const} - "постоянная" времени пробега, своя для каждой из представленных трасс. Полярность линейного тренда волн P_g, P_n и P, PKiKP разная. У волн P_g и P_n наблюдается увеличение скорости во времени, а у волн P и PKiKP - уменьшение скорости, что может быть вызвано увеличением напряжений сжатия в коре и верхах мантии (в данном случае до глубины ~140 км) и расширением на глубинах более 2000 км в исследуемый период времени.



Зеленые линии – границы 95% доверительного интервала

Рисунок 4. Линейный тренд времени пробега сейсмических волн в календарном времени для различных трасс

Отметим, что в [10] на трассах Балапан-PRZ (станция Пржевальск) и Балапан-FRU (станция Фрунзе) в период времени 1969 - 1989 гг. было установлено уменьшение времени пробега волны P_n на 0.76 и 1.00 сек, что соответствует увеличению скорости пробега волны на 0.8-0.9%. При этом методика обработки данных отличалась от методики, использованной в данной работе. Результаты, приведенные [10] и полученные в этом же регионе, совпадают с оценками линейного тренда времени пробега волн P_g и P_n , приведенными в данной статье.

Авторы благодарят сотрудников Геофизической службы РАН Терехову Е.Б. и Петухову Л.С. за помощь в подборе необходимых сейсмограмм в архиве ЦОМЭ ГС РАН.

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты № 00-05-64420 и № 02-05-65002).

Литература

- Гамбурцева Н.Г., Люкэ Е.И., Николаевский В.Н. и др. Периодические вариации параметров сейсмических волн при просвечивании литосферы мощными взрывами//ДАН СССР, 1982. - т. 266. - С. 1349 - 1353.
- Ан В.А., Люкэ Е.И. Циклические изменения параметров сейсмической волны Р на трассе Невада-Боровое// Физика Земли, 1992. - №4. - С.20 - 31.
- 3. Адушкин В.В., Ан В.А., Овчинников В.М. Структурные особенности внутреннего строения Земли по
- 4. результатам сейсмических наблюдений за подземными ядерными взрывами//Физика Земли, 2000. № 12. С. 3 26.
- 5. Адушкин В.В., Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М. О динамических процессах во внутренних геосферах Земли по временам пробега сейсмических волн//ДАН, 2001. т.381, № 6. С.822 824.
- 6. Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М. Время пробега сейсмической волны Pn на трассе Семипалатинский испытательный полигон сейсмическая станция "Боровое"//Геофизика и проблемы
- 7. нераспространения/Вестник НЯЦ РК, 2002. Вып.2. С.55 58.
- 8. Бочаров В.С., Зеленцов С.А., Михайлов В.Н. Характеристики 96 подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне//Атомная энергия, 1989. т. 67, вып.3. С.210 214.
- 9. Коновалов В.Е., Грязнов О.В. Размещение объектов подземных ядерных испытаний на площадке Балапан
- 10. Семипалатинского испытательного полигона// Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК,. 2000. вып.2. С.101 104.
- 11. C. Thurber, C. Trabant, F. Haslinger, R. Hartog Nuclear explosion at the Balapan, Kazakhstan, nuclear test site: the effects of high-precision arrival times and three-dimensional structure//Phys. Earth Planet Int. 123 (2001). P.283 301.
- C. Thurber, C. Trabant, W.Leith Ground truth seismic events and location capability at Degelen mountain, Kazakhstan.//Phys. Earth Planet Int. 131 (2002) – P 155-171.
- Гамбурцева Н.Г., Кузнецов О.П., Санина О.А. и др. Анализ кинематических параметров сейсмических волн по данным просвечивания ядерными взрывами сейсмоактивных районов северного Тянь-Шаня. //Геофизические процессы в нижних и верхних оболочках Земли. - М. - 2003. - книга 1. - С.237 - 243.

ҚУМА СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОЛҚЫННЫҢ КҮНТІЗБЕЛІК УАҚЫТЫНДА ЖҮГІРУ УАҚЫТЫ ӨЗГЕРУ

¹⁾Ан В.А., ¹⁾Годунова Л.Д., ¹⁾Каазик П.Б., ²⁾Михайлова Н.Н., ¹⁾Овчинников В.М.

¹⁾Ресей ғылыми академиясының Геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей ²⁾ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

1977 жылдан 1989 жылға дейінгі уақыты кезеңіндегі Семей сынау полигоны – Семей сейсмикалық станциясы трассасында қума сейсмикалық толқынының күнтізбелік уақытында жүгіру уақыты өзгеруін зерттеу нәтижелері келтірілген. Невада және Семей сынау полигондарына қатысты Бурабай станциясында орындалған бақылауларының нәтижелерімен салыстырылатын жүгіру уақытының варияциалары мен сызықтық трендінің бағалауы алынған.

TRAVEL TIME CHANGE OF SEISMIC LONGITUDINAL WAVE IN CALENDAR TIME

¹V.A. An., ¹L.D. Godunova, ¹P.B. Kaazik, ²N.N. Mikhailova, ¹V.M. Ovchinnikov

¹⁾Institute for dynamics of geospheres of Russian Academy of Science, Moscow, Russia ²⁾Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The research results of travel time change of seismic longitudinal wave in calendar time as for Semipalatinsk Test Site trace – Semipalatinsk seismic station since 1977 to 1989 were given. Linear trend travel time variation assessments were also obtained, which are being compared with observation results, executed at Borovoye station for Nevada and Semipalatinsk Test Sites.

УДК 550.34(574.4)

ОБ ОЦЕНКАХ АЗИМУТОВ И МЕДЛЕННОСТИ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ФАЗ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ PS23-МАКАНЧИ

Синева З.И.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

На примере сейсмической группы PS23-Маканчи исследованы азимутальные отклонения и отклонения медленности для следующего набора регистрируемых региональных сейсмических фаз: первая P, Pn, Pg, Pb, первая S, Sn, Sb, Lg. Выявлены определенные закономерности в азимутальных отклонениях для событий, произошедших в разных зонах. Даны рекомендации по использованию значений азимута и медленности в отношении различных региональных фаз при обработке записей сейсмических событий.

Введение

Сейсмическая сеть Национального ядерного центра Республики Казахстан является одной из наиболее динамично развивающихся в мире среди сетей сейсмического мониторинга ядерных испытаний. Начиная с 2000 г, практически каждый год в строй действующих в Казахстане вводится новая сейсмическая станция. Регистрация данных мониторинга ведется в цифровом виде. Станции соединены системой коммуникаций с Центром сбора и обработки специальной сейсмической информации Института геофизических исследований НЯЦ РК (ЦСОССИ), созданным в городе Алматы, чем обеспечивается получение данных в режиме реального времени. В Центре проводится автоматическая и интерактивная обработка поступающих данных. На рисунке 1 показано расположение станций наблюдения НЯЦ РК и других организаций.

Сеть станций НЯЦ РК имеет ряд особенностей, отличающих ее от других сейсмических сетей, функционирующих на территории бывшего СССР. Вопервых, как видно из рисунка 1, все станции расположены, главным образом, по периметру территории Республики Казахстан и на больших расстояниях друг от друга (более тысячи км). Во-вторых, сейсмические станции НЯЦ РК представлены в основном сейсмическими группами, состоящими из 9 и более элементов, расположенных в скважинах. Апертура сейсмических групп различна, но в большинстве случаев - 3-4 км. Каждая группа оснащена высокочувствительными однокомпонентными сейсмометрами и широкополосной трехкомпонентной станцией. Особенности сети мониторинга определяют специфику получаемых данных и требования к методике и технологии их обработки. В частности, большое количество слабых событий обнаруживается и локализуется по данным только одной сейсмической группы. Так, в сейсмологическом бюллетене ЦСОССИ более половины всех событий локализовано по данным только одной из групп (например, только по данным станции Каратау или только по данным станции PS23-Маканчи). В связи с этим, чрезвычайно важной является достоверная оценка азимута прихода волны и кажущейся скорости, поскольку ошибки в их определении могут привести к серьезным ошибкам в локализации источников.



Рисунок 1. Наблюдательные сейсмические станции НЯЦ РК (звезды), СОМЭ МОН РК, Института сейсмологии Кыргызстана (треугольники)

Статья посвящена анализу достоверности определений азимута и медленности (величины, обратной кажущейся скорости) на примере сейсмической группы PS23-Маканчи. Для различных региональных сейсмических фаз исследованы закономерности отклонения значений азимута и медленности, определенных экспериментально, от их «истинных» значений. Изучен вопрос о возможности проведения идентификации региональных сейсмических фаз по наблюдаемым значениям медленности сигналов. Результаты предназначены для совершенствования практики рутинной обработки записей региональных событий при сейсмическом мониторинге взрывов и землетрясений.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ДАННЫХ

Сейсмическая группа PS23-Маканчи введена в строй действующих в 2000 г. Станция входит в число 50 первичных станций Международной системы мониторинга. Начиная с февраля 2002 г., данные станции PS23-Маканчи используются Международным центром данных (IDC, Beна) при составлении бюллетеня REB (Reviewed event bulletin). Для регионального сейсмологического бюллетеня ЦСОССИ Института геофизических исследований НЯЦ РК данные сейсмической группы используются с конца 2000 г.

PS23-Маканчи включает (рисунок 2) 9 однокомпонентных вертикальных сейсмометров, расположенных по окружностям двух радиусов, а также две трехкомпонентные станции [1].



Рисунок 2. Расположение элементов сейсмической группы PS23-Маканчи

Сравнение результатов обработки данных станции PS23-Маканчи проводилось с «истинными» параметрами очагов, каталог которых создан следующим образом. Использованы два региональных каталога землетрясений: Сейсмологической опытнометодической экспедиции (СОМЭ) МОН Республики Казахстан; Синьцзянь – Уйгурского сейсмологического бюро (СУСБ) Китайской Народной Республики. Всего за период с 09. 2001 г. по 30.04.2002 г. из каталогов выбрано 821 событие (СОМЭ) и 1171 событие (СУСБ). Каталоги были преобразованы в форматы, используемые для хранения результатов обработки данных станции PS23-Маканчи. Для этого текстовые файлы, содержащие месячные каталоги, с помощью специально написанных программ преобразованы в таблицы Origin в формате CSS 3.0 [2]. Далее произведено ассоциирование записей сейсмической группы PS23-Маканчи с событиями из каталогов. Для дальнейшего анализа отбирались. события, для которых наблюденные времена вступления сейсмических фаз хорошо согласовывались с расчетными от известных гипоцентров, включенных в каталоги. При этом теоретические времена вступлений сейсмических фаз рассчитывались с использованием программы HYPOSAT [3]. В результате было отобрано 689 событий, в том числе, 513 из каталога СУСБ, 265 из каталога СОМЭ, 89 - входящих в оба каталога. При выборе из пар событий, попавших в оба каталога, одного события с более точным определением источника, дополнительно анализировалась разница времен между наблюденными и теоретическими вступлениями различных фаз. Событие, для которого эта разница оказывалась наименьшей, оставлялось для дальнейшего анализа.

Методика обработки данных

Для всех событий, входящих в созданный каталог землетрясений были отобраны цифровые сейсмические записи станции PS23-Маканчи по всем элементам группы, что позволило создать базу данных волновых форм.

На первом этапе аналитиками произведена предварительная интерпретация волновой картины записей и идентификация региональных фаз Pn, Pg, Sn и Lg. Именно эти фазы, времена вступлений которых используются при локализации источников, являются основными в практике рутинной обработки, проводимой различными Центрами данных Казахстана, использующими региональные годографы для Северного Тянь-Шаня и Центральной Азии (годограф Горбуновой И.В., годограф КСЭ [3]). Однако в соответствии со стандартным годографом IASPEI-91 (International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior) [5] на региональных расстояниях существуют и могут быть дополнительно идентифицированы фазы Pb и Sb, что подтверждено опытом ЦСОССИ [6]. Поэтому произведено выделение фаз Pb и Sb для использования при дальнейших исследованиях. Для расстояний менее 200 км на записях выделялись также фазы, обозначаемые Р и S. Таким образом, для исследования был определен следующий набор сейсмических фаз: P, S (для расстояний < 200 км.), Pn, Pg, Pb, Sn, Sb, Lg.

Определение азимута и кажущейся скорости региональных сейсмических фаз проводилось с использованием f-к - анализа, применяемого для интерпретации данных сейсмических групп [7]. F-k – анализ проводился с использованием набора фильтров, применяемых при автоматическом обнаружении сигналов и их автоматической обработке [8]. Это 11 полосовых фильтров: 0.5-1.5 Гц (1); 0.5-2.0 Гц (2); 0.75-2.25 Гц (3); 1.0-2.0 Гц (4); 1.0-3.0 Гц (5); 1.5-3.0 Гц (6); 2.0-4.0 Гц (7); 3.0-6.0 Гц (8); 4.0-8.0 Г (9); 8.0-16.0 Гц (10); 0.8-4.5 Гц (11). Все используемые фильтры – типа Баттеруорта, порядок 3, двух видов - causal и zero-phrase (или non-causal). Расчет азимутов и медленности сигналов проведен с использованием программы ЕР, разработанной и предоставленной Норвежским центром НОРСАР [9]. Работа выполнялась полностью автоматически. Азимут (Az) и медленность (Sl) сигналов определялись для 11 выбранных полос частот и для двух типов фильтров. При этом дополнительно варьировалась ширина временного окна, для которого проводился f-k – анализ: 3 сек, 4 сек, 5 сек. Таким образом, для каждой фазы каждого события f-k анализ проводился 66 раз.

Кроме азимута и медленности, для каждого вступления фазы определялось отношение сигнала к шуму и усиление группы. Это делалось для того, чтобы определить тот фильтр, который обеспечивает наибольшее отношение сигнала к шуму и наивысшее усиление группы.

Анализ данных

Анализ данных проводился по следующей схеме. Для каждой региональной сейсмической фазы по всем событиям, для которых с применением f-k aнализа были рассчитаны азимут Az и медленность Sl ,определялась разница этих значений с их «истинными» значениями, включенными в каталог, т.е. невязка азимутов бАz и невязка медленности бSl. Такие определения получены по всем фильтрам с использованием разных временных окон. Затем по полученной выборке значений бАz и бSl для каждого фильтра построены распределения. В качестве параметров, характеризующих распределении В качестве параметров, характеризующих распределения, оценены медиана и процентили на уровне 25% и 75%. В таблице 1 даны сводные оценки по каждой анализируемой региональной фазе.

Таблица 1. Результаты оценки азимута и медленности по региональным фазам для станции PS23-Маканчи

Фаза	Число проассоцииро- ванных фаз	Предпочтительный фильтр	Медиана отклонений азимута	Медиана отклонений медленности
Pn	468	2 – 4 Hz	-2.4	0.3
Pg	64	1.5 – 3.0 Hz	-2.7	-2.9
Pb	135	1.5 –3 Hz,	-2.36	-0.8
Р	26	1.5 – 3.0 Hz	-1.8	-
Sn	311	1.5 – 3.0 Hz	-2.7	-1.7
Lg	285	1.0 – 2.0 Hz	-0.7	-2.9
Sb	111	1.5 – 3.0 Hz	-1.2	-1.7
S	25	1.0 – 2.0 Hz	-1.7	-

Как следует из таблицы, количество данных по каждой из фаз было различным. Это связано с разным количеством событий на разных расстояниях, различной четкостью проявления фаз на записях событий из разных районов. Наиболее представительными являются данные по фазам Pn, Sn и Lg, которые получены по нескольким сотням событий.

Первым результатом проведенного анализа является вывод о фильтрах, которые являются наиболее эффективными для обработки данных (столбец 3 таблицы 1). Для разных региональных фаз предпочтительны разные фильтры. Так, для Pn-волны предпочтительны наиболее высокочастотные фильтры (2 – 4 Гц), для S- и Lg-волн - наиболее низкочастотные фильтры (1 – 2 Гц). Полученный вывод согласуется с известными закономерностями о спектральном составе продольных и поперечных волн и о доминантных периодах в этих фазах [10], хотя следует отметить, что для вторичных S – P-фаз частотные фильтры совпадают. Сравнение результатов применения фильтров двух типов (causal и non-causal) пока-

зало, что разница между ними пренебрежимо мала, поэтому при дальнейшем анализе использовались данные, полученные с causal – фильтром.

Второй результат анализа относится к невязкам значений азимута бАz. В таблице 1 (столбец 4) представлены значения медианы распределения значений бАг для лучшего частотного фильтра. Видно, что для всех фаз азимутальные отклонения незначительны. Для разных типов волн значения невязок варьируют, но не превышают 2.7 град. Следовательно, азимуты для всех фаз определяются достаточно точно. Это свидетельствует об удачном выборе конфигурации группы и размещения датчиков в группе, обеспечивающем практически для любых региональных событий равноточное определение азимута. На рисунках 3а, в для волн Pn, Lg показано распределение невязок азимута $\delta Az - ме$ дианы и процентилей на 11 выбранных частотных фильтрах. Разным цветом показаны результаты для разной ширины временного окна.



Рисунок 3. Азимутальные отклонения (а, в) и отклонения медленности (б, г) для фаз Pn (а, б) и Lg (в, г) при различных фильтрах

Из рисунка За видно, что ширина окна мало влияет на точность оценок Az по фазе Pn. Влияние фильтров также мало сказывается на значениях медианы распределения невязок, однако разброс данных существенно зависит от фильтра. Наименьший разброс данных наблюдается при фильтрах номеров 5 - 8. С учетом соотношения уровней сигнала и шума для практики рекомендовано применение фильтра № 7 - 2.0-4.0 Гц. Выводы относительно распределения азимутальных отклонений для фазы Lg (рисунок 3в) практически те же. Значение медианы невязок бАz для всех фильтров близки к нулю. Однако разброс данных сильно различается для разных фильтров. Наиболее предпочтительным является фильтр № 4 - 1-2 Гц.

Рассмотрен вопрос о систематических отклонениях в значениях азимута в отношении к эпицентральной зоне. На рисунке 4а значения бАz отнесены к конкретным эпицентрам события. Величина невязки показана цветовой гаммой.

Можно отметить четкие пространственные закономерности в распределении азимутальных отклонений. К востоку от станции PS23-Маканчи азимутальные отклонения почти нулевые и отчасти положительные, в то время как к западу от станции отклонения преимущественно отрицательные. Однако во всех случаях по абсолютной величине отклонения невелики. Это говорит о том, что значения азимутов, определяемые по данным сейсмической группы PS23-Маканчи, можно использовать при локализации событий как один из определяющих параметров, наряду с временами вступления фаз.

Следующий результат исследования относится к параметру медленности SI и его отклонениям бSI. Как можно видеть из таблицы 1, значения δSl существенно зависят от сейсмической фазы, используемой при обработке. Если для фазы Pn отклонение медленности в среднем имеет вполне приемлемое значение - 0.3 сек/град (здесь в градусах измерено расстояние), то для фаз Pn и Lg медианные значения отклонения медленности составляют (- 2.9) сек/град, что очень значительно. На рисунках 4б, г показано графическое распределение невязок медленности для сейсмических фаз Pn и Lg при 11 фильтрах. Также как в случае рассмотрения бАг, результаты показаны для трех значений ширины окна f-k анализа – 3, 4 и 5 сек. Для фазы Pn и фильтров №№ 4 - 11 медианные значения отклонения медленнсти близки к нулю. Наименьший разброс значений невязок наблюдается при фильтре № 8 - 3 -6 Гц. В отличие от азимутальных невязок, где отклонения от медиан в обе стороны примерно равны, невязки медленности распределены существенно ассиметрично. Для фазы Lg отклонения медленности существенно отрицательны при всех фильтрах.



Рисунок 4. Распределения азимутальных отклонений (а. в) и отклонений медленности (б, г) для фаз Pn (а, б) и Lg (в, г)

На рисунках 4 б, г показана картина пространственного распределения значений отклонений медленности для фаз Pn и Lg, которая отличается от распределения значений бАZ (рисунок 4 a, в). Для фазы Рп и для событий, произошедших на широте 43⁰ с.ш. и севернее, отклонения медленности практически равны 0 или отчасти положительные. Для событий южнее 43° отклонения параметра медленности резко отрицательные. Поскольку распространение Pn волны тесно связано с границей Мохо, можно предположить, что в данном районе имеет место изменение глубины этой границы. Для фазы Lg картина совершенно другая. Для событий, эпицентры которых расположены на одной долготе со станцией PS23-Маканчи или немного восточнее ее, медленность незначительно отличается от теоретической. Для «запалных» событий отмечены очень большие отрицательные значения в отклонениях медленности.

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ФАЗ ПО ЗАПИСЯМ СТАНЦИИ PS23-МАКАНЧИ

На рисунке 5 показаны экспериментальные значения медленности для разных региональных фаз, а также теоретические значения, соответствующие этим фазам. Для фаз Pg и Lg нанесены по две теоретические зависимости, поскольку в разных программных пакетах годограф IASPEI 91 для этих фаз имеет разные программные версии.

Для близких событий (т.е., на расстоянии 200 и менее километров от станции) медленность волны существенно зависит от расстояния (на рисунке 5 такие события отмечены синим цветом). Результат согласуется с теоретическими значениями медленности для этих фаз - прямой Р и прямой S - волн. Следует отметить, что в практике Международного центра данных первые вступления от близких событий называются Pg и Lg. Но, как видно из рисунка 5, по экспериментальным данным на этих расстояниях волны ведут себя как прямые Р и S - волны, их медленности существенно зависят от расстояния. В то же время теоретические значения медленности фаз Pg и Lg на этих расстояниях (для обоих типов годографов) практически не зависят от расстояния. У событий, произошедших на расстояниях 2° - 4° от станции теоретически можно наблюдать 3 вступления для продольных волн (Pg, Pb и Pn волны). Теоретические значения медленности для продольных волн приведены на рисунке 5а. Однако, экспериментально полученные значения медленности для рассматриваемых расстояний у различных фаз практически неразличимы. Таким образом, медленность сигнала для идентификации различных продольных волн на расстояниях 2°-4° от станции PS23-Маканчи не может быть использована.



Рисунок 5. Сравнение теоретической и наблюденной медленности для фаз: a - P, Pn, Pg, Pb; б - S, Sn, Sb, Lg

Для поперечных волн (рисунок 5 б) наблюдается несколько иная картина. Несмотря на то, что облака экспериментально полученных значений медленности фазы Lg и фазы Sb перекрываются, в среднем значения медленности фазы Sb заметно отличаются от значений медленности фазы Lg, и близки к теоретическим значениям фазы Sb. Исходя из этого, можно сделать вывод, что медленность волны может быть использована как один из параметров для распознавания фаз Sb и Lg. Для фазы Sn медленность определяется неустойчиво, существует большой разброс в экспериментально полученных значениях. Из рисунков 5 следует еще один вывод. Для фаз Pn и Lg по экспериментальным данным наблюдается заметное уменьшение значений медленности с расстоянием, непрогнозируемое теоретическими зависимостями. Объяснение причин такого явления требует дополнительных исследований.

Выводы

На примере сейсмической группы PS23-Маканчи исследованы азимутальные отклонения и отклонения параметра медленности (разница наблюденных и расчетных значений) для следующего набора региональных сейсмических фаз: первая P, Pn, Pg, Pb, первая S, Sn, Sb, Lg. Выявлено наличие определенных закономерностей в отклонениях. Для всех сейсмических фаз азимутальные отклонения небольшие, что свидетельствует о том, что при локализации событий можно использовать азимут в качестве определяющего параметра. В то же время медленность сигнала можно использовать для локализации событий только для волны Pn и первой P. Для волн Pg и Lg наблюдается большое различие между теоретическими и экспериментально полученными значениями медленности, примерно 2.9 сек/градус, что необходимо учитывать при идентификации сейсмических фаз при обработке событий.

Литература

- 1. Неделков А.Н. Исследования по выбору площадок для новых сейсмических групп на территории Казахстана//Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК. Курчатов: НЯЦ РК, 2001. Вып. 2. С. 48 54.
- J. Andeson, W.E. Farrell et al. Center for seismic studies. Version 3 Data base: Shema refence manual//Technical Repot C 90-01.
 Arbington, 1990.
- 3. J. Schweitzer HYPOSAT An Enhanced Routine to Locate Seismic Events//Pure appl. Geophys, 2001. 158. P. 277 289.
- Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км//Труды Института физики Земли АН СССР. - М.: Наука, 1964. - № 32. - С. 63 - 87.
- 5. B. Kennett (editor) IASPEI 1991. Seismological Tables, Research Schol of Earth Sciences. Australian National University, 1991.
- Михайлова Н.Н., Аристова И.Л., Германова Т.И. Годограф сейсмических волн по результатам регистрации сигналов от химических взрывов//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК.- Курчатов: НЯЦ РК, 2002. – Вып. 2. -С. 46 - 54.
- J. Capon High-resolution frequency wavenumber spectrum analysis// Proceedings of the Institute of Electrical and Electronic Engeneers. – 57. – P. 1408 - 1418.
- Михайлова Н.Н., Синева З.Н. Обработка данных сейсмических станций НЯЦ РК//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. – Вып. 2. - С. 64 - 68.
- J. Fyen Event processor program package//NORSAR Semiannual Technical Summary. 1 Oct 1988–31 Mar 1989/ Scientific report 2-88-89. - Kjeller, Norway.
- 10. Антонова Л.В. и др., Экспериментальные сейсмические исследования недр Земли. М.: Наука, 1978. 157 с.

Р\$23-МАҚАНШЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОБЫНЫҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША АУМАҚТЫҚ ФАЗАЛАР ҮШІН АЗИМУТТАРЫ МЕН ШАБАНДЫҒЫН БАҒАЛАУ ТУРАЛЫ

Синева З.И.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

PS23-Мақаншы сейсмикалық тобының үлгісінде, тіркелетін аумақтық сейсмикалық фазаларының келесі жиынтығына: бірінші P, Pn, Pg, Pb, бірінші S, Sn, Sb, Lg, азимутальдік ауытқуы және шабандығының ауытқуы зерттелген. Әр белдемдерде болған оқиғалар үшін азимутальдік ауытқуының заңдылығы анықталған. Сейсмикалық оқиғаларының жазбаларын өңдеуінде әр түрлі аумақтық фазаларына катысты азимут пен шабандығының мәндерін пайдалану бойынша ұсыныстар берілген.

ON AZIMUTH AND SLOWNESS ASSESSMENTS FOR REGIONAL PHASES ACCORDING TO PS23-MAKANCHI SEISMIC ARRAY DATA

Z.I. Sinyova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Azimuth and slowness deviations were studied by the example of PS23-Makanchi seismic array for the following regional seismic phases: first P, Pn, Pg, Pb, first S, Sn, Sb, Lg. Regularity in deviation was specified for the events in various areas. Recommendations were given according to the possibility of azimuth and slowness values use in respect of various regional phases while seismic event processing.

УДК 550.341

АНАЛИЗ ЗАПИСЕЙ АЛТАЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 27 СЕНТЯБРЯ 2003 г., ПОЛУЧЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИМИ И ИНФРАЗВУКОВЫМИ СТАНЦИЯМИ НЯЦ РК

Смирнов А.А.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В работе приведены результаты опробования прогрессивного многоканального корреляционного метода РМСС (Progressive Multi-Chennel Correlation), разработанного специалистами департамента Комиссариата по атомной энергетике Франции, для анализа инфразвуковых и сейсмических данных, параметризации источника землетрясения, использования записей уникального землетрясения в альтернативном методе калибровки инфразвуковой сети станций.

Введение

27 сентября 2003 г. в 11:33:24.94 UTC в республике Горный Алтай недалеко от районного центра Кош-Агач на границе с Казахстаном, Монголией и Китаем произошло сильное землетрясение. Координаты эпицентра землетрясения 49.999°N, 87.852° Е, глубина 16 км [1], моментная магнитуда M_w 7,3.

Интенсивность сотрясений в эпицентре по шкале MSK-64 достигала 10 баллов. В Кош-Агачском, Усть-Улаганском районах были повреждены 1942 дома и сооружения. Сообщалось о значительных разрушениях в Онгудае и Шебалино. В районе Чаган-Узуна произошла просадка почвы, образовались котлованы, которые впоследствии заполнились водами реки Чула. Землетрясение ощущалось повсеместно в Южной Сибири. В Казахстане в Восточно-Казахстанской области максимальная интенсивность сотрясений составила 6 баллов. Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками, которые не прекратились и в 2004 г. Сильнейшие из афтершоков имели магнитуду *М*_w=6,7. Эпицентр землетрясения и станции сети мониторинга Национального ядерного центра РК, данные которых использованы в настоящей работе, изображены на рисунке 1.



Рисунок 1. Эпицентр Алтайского землетрясения 27 сентября 2003 г. и станции сети мониторинга НЯЦ РК

МЕХАНИЗМ ИСТОЧНИКА

На рисунке 2 показаны ближайшие окрестности очаговой области землетрясения и расположение разрыва в источнике по данным Геологической службы США (USGS) [1].



Сплошная линия - положение разрыва в источнике по данным Геологической службы США [1]. Звездочка - эпицентр главного толчка. Цветные точки – эпицентры афтершоков 2003 г. по данным ЦСОССИ в дни года: 271-272 - красные; 272-274 - оранжевые; 274-275 - желтые; 275-280 - зеленые; 280-290 - голубые; 290-309 - синие; 309-364 - фиолетовые

Рисунок 2. Эпицентральная зона землетрясения 27 сентября 2003 г.

На рисунке 3 дано распределение амплитуд и направлений сдвига для элементарных ячеек модели разрыва в очаге (мелкие прямоугольники), которое получено посредством инверсии телесейсмических объемных волн. Стрелками внутри ячеек показаны амплитуда и направление сдвига висячего крыла разрыва по отношению к неподвижному крылу. Амплитуда сдвигов кодирована цветом, согласно легенде. Изображен вид сверху, перпендикулярно плоскости разрыва. Размеры элементарных ячеек блока составляют 6 км в направлении простирания и 5 км по падению [1]. Простирание плоскости разрыва в очаге составляет N130°E, угол падения 85°. На том же рисунке дана стереограмма фокального механизма землетрясения. Некоторое несовпадение ориентации блочной модели сдвига с соответствующей наилучшей парой нодальных плоскостей, изображенной на диаграмме фокального механизма, вызвано применением разных методов анализа и использованием различных выборок данных.



Амплитуда (цветовая шкала) и направление (стрелки) сдвига в элементарных ячейках

Рисунок 3. Модель разрыва и стереограмма фокального механизма землетрясения

Это событие было зарегистрировано всеми станциями сети мониторинга Национального ядерного центра РК. На рисунке 3 цветными точками отмечены афтершоки, произошедшие в районе эпицентра в период с 27 сентября до конца 2003 г. по данным интерактивного бюллетеня Центра сбора и обработспециальной сейсмической информации ки (ЦСОССИ) Института геофизических исследований НЯЦ РК [2]. Все афтершоки разделены условно на группы, соответствующие семи промежуткам времени между 271 и 364 днями 2003 г. В статье приведены результаты анализа записей землетрясения двумя сейсмическими группами и двумя инфразвуковыми группами. Основные задачи, которые решались при этом:

- опробование прогрессивного многоканального корреляционного метода (РМСС), разработанного специалистами департамента Комиссариата по атомной энергетике Франции, для анализа инфразвуковых и сейсмических данных;
- параметризация источника землетрясения на основании полученных результатов;
- использование записей уникального землетрясения в альтернативном методе калибровки инфразвуковой сети станций.

Методика анализа

Анализ сейсмических и инфразвуковых данных выполнен с использованием прогрессивного многоканального корреляционного метода РМСС [2,3,4], суть которого заключается в следующем [4].

Большинство сейсмических волн может быть представлено как набор плоских волн в виде хорошо известного соотношения $f(\vec{r},t) = e^{i(\omega t - \vec{k}, \vec{r})}$, где $\left\| \vec{k} \right\| = \frac{2\pi f}{c}$ - волновой вектор, модуль которого определяется по значениям частоты f и фазовой скорости $c; \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ - угловая частота, связанная с час-

тотой f или периодом T волны.

Частота зарегистрированной сейсмической волны f может быть определена с использованием одной станции, тогда как для определения волнового вектора *k* необходим набор станций – группа (если апертура набора датчиков имеет один и тот же порядок с длиной волны) или сеть (если апертура значительно превышает длину волны). В случае сети станций, когда сигнал значительно меняется от одной станции к другой, параметр распространения может быть определен методом, предложенным Husebye [3] и основанным на инверсии времен прихода. В случае группы для расчета разности времен прихода может быть учтено преимущество сильного сходства сигналов различных станций. Набор временных задержек используется для расчета параметров распространения сейсмических волн с применением метода, выведенного из метода Husebye. Для каждого отдельного волнового вектора рассчитывается временная задержка сигналов относительно каждого датчика и выполняется суммирование соответственно всех времен задержки. Если сигнал состоит в основном из случайного фонового шума, изменения энергии суммы сигналов слабы по всему векторному полю. Напротив, если сигнал ассоциирован с

заданным вектором $\vec{k_0}$, энергия, найденная для $\vec{k_0}$, будет гораздо выше, чем для всех других векторов. Предложены различные методы нахождения волнового вектора максимума энергии, например, в [5]. Один из методов, позволяющий детектировать сигнал по двум и более записям, при частичном ослаблении требования плоской волны, назван РМСС (английская аббревиатура наименования «Прогрессивный многоканальный корреляционный метод»).

Сигнал s(t) в спектральной области может быть представлен Фурье-преобразованием его $s(f) = A(f)e^{i\phi(f)}$. Фоновый шум характеризуется резкими изменениями A(f) и $\phi(f)$ от одного элемента группы к другому, даже если элементы расположены на расстоянии меньшем длины волны. Наоборот,

в случае распространения сигнала между элементами верны отношения:

$$A_2(f) = A_1(f);$$

$$\varphi_2(f) = \varphi_1(f) - \Theta(r_2^{\rightarrow} - r_1^{\rightarrow})$$

где

$$\Theta(r_2^{\rightarrow} - r_1^{\rightarrow}) = k(r_2^{\rightarrow} - r_1^{\rightarrow})$$

в случае плоской волны.

В качестве инструмента обработки сигналов, представленных на записях в двух пунктах - $S_t(t)$ и $S_j(t)$, может быть использована корреляционная функция $Cor_{ij}(\pi)$, что верно для измерений во временной области. Функция имеет значения в интервале [-1; 1]. Принимая в расчет все частоты, $Cor_{ij}(\pi)$ измеряет в окне W сходство сигналов, взаимно сдвинутых на определенное время τ . Максимум корреляционной функции определяет временную задержку между приходом сигналов на эти пункты наблюдения.

Корреляция - это основа метода РМСС, используемого для точного детектирования и измерения параметров детектированных волн. Для измерения временной задержки Δt_{ij} между двумя сигналами $S_i(t)$ и $S_j(t)$ используется корреляционная функция. В случае распространения волны без искажения (как в случае плоской волны) задержка Δt_{ij} одинакова для всех частот, из которых состоит сигнал:

$$\Delta t_{ij} = \frac{1}{2\pi} (\varphi_j(f) - \varphi_i(f)) \,.$$

Для каждой группы из трех элементов должно выполняться соотношение замкнутости:

$$\Delta t_{ij} + \Delta t_{jk} + \Delta t_{ki} = 0$$

Совсем другая ситуация для фонового шума, фаза которого меняется с изменением частоты. Более того, временные задержки, измеренные в этом случае, определяются случайными комбинациями фаз, соотношение замкнутости не выполняется.

Метод РМСС производит детектирование сигналов на записях небольшой длительности (несколько периодов сигнала). Во избежание интерференции, вызванной множеством случайных сигналов на нескольких элементах группы, а также не единственности решения при корреляции записей, полученных датчиками, находящимися на большом расстоянии друг от друга, процесс обработки организован прогрессивно, т.е. путем увеличения количества элементов группы, зарегистрировавших сигнал. Процесс обработки инициируется сначала для подсети R_n с П датчиками. Рассчитывается взаимосогласованность набора задержек с использованием всех *R_n* датчиков группы как среднеквадратическое отклонение отношений замкнутости:

$$C_n = \sqrt{\frac{6}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i>j>k} r_{ijk}^2} \left\{ i, j, k \in R_n \\ r_{ijk} = \Delta t_{ij} + \Delta t_{jk} + \Delta t_{kj} \right\}$$

Если эта взаимосогласованность ниже определенного порога $C_{\text{Threshold}}$, на R_n наблюдается детектирование. Далее попытка может быть повторена с привлечением в состав подсети новой станции. Обработка выполняется последовательно для нескольких частотных полос в смежных временных окнах, покрывающих весь сигнал. В методе РМСС каждое элементарное детектирование описывается четырьмя параметрами: количество датчиков в финальной подсети; ассоциированная взаимосогласованность; скорость и азимут детектированного сигнала.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРОГРАММОЙ РМСС

Метод РМСС был применен для обработки записей Алтайского землетрясения, полученных сейсмическими группами Каратау, AS057-Боровое, а также инфразвуковыми группами IS31-Актюбинск и Курчатов.

Сейсмическая группа Каратау установлена в 90 км к западу от г. Тараз и 8-10 км от г. Каратау. Координаты центральной точки 43° 06' 18,3" N, 70° 30' 24,0" Е. Сейсмическая группа Каратау включает 10 пунктов наблюдения, расположенных по двум окружностям с одной центральной точкой (рисунок 4). На 9 пунктах в скважинах установлены 9 однокомпонентных сейсмометров GS21, в центре группы, также в скважине, - широкополосный трехкомпонентный сейсмометр KS54000. Апертура группы составляет 4 км.



Рисунок 4. Геометрия сейсмической группы Каратау

Расстояние от группы до эпицентра главного толчка Алтайского землетрясения составило 1530 км, расчетный обратный азимут 53,9⁰. Записи землетрясения, выполненные вертикальными скважинными сейсмометрами КК01 – КК09, использованы для расчетов по шести подсетям, геометрия которых показана на рисунке 4 различным цветом. Обработка записей проведена в 50-ти секундном окне с шагом перемещения 5 с. Полоса частот – от 1 до 10 Гц, шаг 0,9 Гц.

На рисунке 5 приведены примеры сигналов землетрясения, зарегистрированных 9 элементами группы Каратау (внизу) и результаты их обработки (вверху).



Рассчитанные диаграммы: І – количество датчиков; II – амплитуда элементарных детектирований (среднеквадратичная, Па); III – азимут элементарных детектирований (град); IV – кажущаяся скорость элементарных детектирований (км/сек). Время (по оси абсцисс) – час:мин:сек

Рисунок 5. Записи землетрясения элементами сейсмической группы Каратау и результаты обработки с использованием программы РМСС

Вверху, как функции частоты и времени, показаны количество датчиков, среднеквадратичная амплитуда, рассчитанные азимут прихода и горизонтальная компонента кажущейся скорости волны. Среднеквадратичная взаимосогласованность не превышает 0.1 с. Как можно видеть из диаграмма IV рисунка 5, цуги продольных и поперечных волн проявляются четко и могут быть идентифицированы по значениям скорости.

На рисунке ба приведены полярные диаграммы «скорость (км/сек) – азимут (град)» для элементарных детектирований, выделенных на рисунке 5 жирными линиями. Разделение детектирований по семействам произведено методом поиска ближайшего соседнего элемента, формирующего агрегаты элементарных детектирований в пространстве (t, f, V, Θ). Здесь для соединения достаточно близких точек используются взвешенные расстояния:





в – для интервала времени от 11:40:38 до 11:43:42

Рисунок 6. Полярная диаграмма «скорость – азимут» по результатам обработки данных сейсмической группы Каратау

Как видно из рисунка 5, произведенный подбор весов позволил выделить три семейства, соответствующих группам продольных, поперечных и поверхностных волн. Цветовая шкала различает времена прихода сейсмических волн. Среднее значение азимута в течение примерно 4-х минут, с момента вступления до 11:40:27 стабильно и составляет $52,3\pm2^{0}$, что хорошо совпадает с расчетным значением азимута на эпицентр (рисунок 6 б). Для больших времен при практически постоянной кажущейся скорости прихода наблюдается необъяснимое изменение азимута прихода почти на 30^{0} к направлению на север (рисунок 6 в).

Сейсмическая группа AS057-Боровое находится в Щучинском районе Акмолинской области вблизи поселка Воробьевка и в 8 км от геофизической обсерватории "Боровое", расположенной на берегу озера Боровое. Координаты центральной точки 53° 01,494' N, 70° 23,318' Е. Сейсмическая группа состоит из 10 пунктов наблюдения, расположенных по двум окружностям с одним центральным пунктом (рисунок 7). На 9 пунктах в скважинах установлены однокомпонентные сейсмометры GS21, в скважине центрального пункта - широкополосная трехкомпонентная станция CMG-3TB. Апертура группы составляет 3 км.

Расстояние от сейсмической группы AS057-Боровое до эпицентра главного толчка Алтайского землетрясения составило 1256 км, расчетный обратный азимут 98,6⁰. Для обработки выбраны записи 7 вертикальных скважинных сейсмометров BVA1_SHZ, BVA2_SHZ, BVA3_SHZ, BVA4_SHZ, BVB5_SHZ, BVB6_SHZ и BVB8_SHZ. Обработка записей проведена в 50-ти секундном окне с шагом его перемещения 5 с. Полоса частот – от 1 до 10 Гц, шаг 0,9 Гц.



Цветом выделено пять подсетей, использованных при расчетах

Рисунок 7. Геометрия сейсмической группы AS057- Боровое

На рисунке 8 внизу представлены сигналы от землетрясения, зарегистрированные элементами группы. Цуги продольных и поперечных волн четко выделены и могут быть идентифицированы по скоростям.



Пояснения к диаграммам І -IV – на рисунке 5

Рисунок 8. Записи землетрясения элементами сейсмической группы AS057- Боровое и результаты расчета с использованием программы РМСС

На рисунке 9а приведены полярные диаграммы «скорость – азимут» для элементарных детектирований, попадающих в семейства, обведенные на рисунке 8 жирными линиями. Всего выделено три таких семейства. Цветовая шкала соответствует временам прихода волн на группу. Среднее значение азимута в течение примерно 4-х минут, с момента вступления волн до 11:39:33, стабильно и составляет $103,9\pm5,5^{0}$, что хорошо совпадает с расчетным значением азимута (рисунок 9 б). Для больших времен прихода наблюдается необъяснимое изменение азимута прихода почти на 35^{0} от направления на север при практически постоянной кажущейся скорости, аналогичное эффекту, наблюденному по группе Каратау (рисунок 9 в).

Инфразвуковая группа IS31 – Актюбинск. Известно, что сейсмические события часто регистрируются инфразвуковыми станциями. Например, имеются публикации по результатам анализа инфразвуковых сигналов от сильнейших землетрясений в Китае [6] и Южной Америке [7]. В практике инфразвуковых наблюдений НЯЦ РК землетрясение зарегистрировано впервые.

Инфразвуковая группа IS31 – Актюбинск расположена на северо-западе Казахстана вблизи г. Актобе. Координаты центральной точки 50.40697⁰ N, 58.03478⁰ Е. В плане группа IS31 представляет собой треугольник со сторонами около 2 км, образованный низкочастотными элементами L2 - L4 с центральной точкой L1, окруженной дополнительной высокочастотной группой (H1-H4), которая выполнена в виде квадрата со стороной около 200 м (рисунок 10). На всех восьми пунктах установлены микробарометры MB2000. Апертура группы составляет 2 км.



В – для интервала времени от 11:39:08 до 11:43:43

Рисунок 9. Полярная диаграмма «скорость – азимут» по результатам расчета данных группы AS057- Боровое

Расстояние от группы до эпицентра главного толчка Алтайского землетрясения составляет 2117 км, расчетный обратный азимут 79,7⁰. Для обработки выбраны записи всех восьми микробарометров группы. Обработка записей проведена в 50-ти секундном окне с шагом перемещения 5 с. Полоса частот – от 0,03 Гц до 3 Гц с шагом 0,297 Гц.

На рисунке 11 внизу представлены сигналы от землетрясения, зарегистрированные элементами группы. Вверху, как функции частоты и времени, показаны количество сенсоров, среднеквадратичная амплитуда, рассчитанные азимут прихода и горизонтальная компонента кажущейся скорости волны. Среднеквадратичная взаимосогласованность не превышает 0.1 с.



Цветом выделено пять подсетей, использованных при расчетах

Рисунок 10. Геометрия инфразвуковой группы IS31 – Актюбинск

О природе записанных волн можно судить по полученным значениям кажущейся скорости. Они равны значениям, полученным для соответствующих цугов сейсмических волн для группы. Четко выделены и могут быть идентифицированы по скоростям цуги продольных и поперечных волн. Механизм их генерации следующий [6]. Вертикальное смещение сейсмических волн генерирует на месте обменные волны «поверхность – атмосфера» (ground-coupled air waves). Местное преобразование сейсмических волн в волны звукового давления, наблюденное посредством микробарометров на региональных и телесейсмических расстояниях, описано в [8, 9, 10]. В случае регистрации станцией IS31 – Актюбинск Алтайского события, имеет место именно такое преобразование.

На рисунке 12 приведена полярная диаграмма «скорость – азимут» для элементарных детектирований, попадающих в семейства, обведенные на рисунке 8 жирными линиями. Всего выделено три таких семейства. Цветовая шкала соответствует временам прихода волн на группу. Среднее значение азимута для времен в течение примерно 4-х минут, с момента вступления до 11:42, стабильно и составляет 76,3 \pm 10,4⁰, что хорошо совпадает с расчетным значением азимута (рисунок 12). Наблюдавшееся на сейсмических группах необъяснимое изменение азимута прихода на больших временах прихода здесь проявилось гораздо слабее.



Пояснения к диаграммам І -IV – на рисунке 5

Рисунок 11. Записи землетрясения элементами инфразвуковой группы IS3 – Актюбинск и результаты расчетов с использованием программы РМСС



Рисунок 12. Полярная диаграмма «скорость – азимут» по результатам обработки данных инфразвуковой группы IS31–Актюбинск

Инфразвуковая группа Курчатов расположена на северо-востоке Казахстана вблизи г. Курчатова. Координаты центральной точки 50.715⁰ N, 78,62⁰ Е. В плане группа представляет собой треугольник со стороной около 250 м (рисунок 13). На всех трех пунктах установлены станции К-301-А. Апертура группы составляет около 250 м.

Расстояние от группы до эпицентра главного толчка составляет 662 км, расчетный обратный азимут 93,3⁰. При расчете была использована единственно возможная подсеть. Обработка записей проведена в 21-секундном окне с шагом перемещения 5 с. Полоса частот – от 0,05 Гц до 10 Гц с шагом 0,995 Гц.

На рисунке 14 внизу приведены сигналы от землетрясения, зарегистрированные элементами группы. Цуги продольных и поперечных волн не выделены и не могут быть идентифицированы по скоростям. Кажущаяся скорость сигнала соответствует скорости звука, хотя время прихода сигнала соответствует временам прихода сейсмических волн на станцию. Эти результаты не соответствуют описанным выше, предположения о причинах этого явления приведены ниже.



Рисунок 13. Геометрия инфразвуковой группы Курчатов



Пояснения к диаграммам І -IV – на рисунке 5

Рисунок 14. Записи землетрясения элементами инфразвуковой группы Курчатов и результаты обработки данных с использованием программы РМСС

На рисунке 15 приведены полярные диаграммы «скорость – азимут» для элементарных детектирований, попадающих в семейства, обведенные на рисунке 8 жирными линиями. Всего выделено четыре таких семейства, скорости внутри них существенно не различаются. Цветовая шкала соответствует временам прихода волн на группу. Среднее значение азимута для времен в течение примерно 4 минут, с момента вступления до 11:42, стабильное и составляет 73,0±1,2⁰, что не совпадает с расчетным значением азимута на 20⁰ (рисунок 15).



Рисунок 15. Полярная диаграмма «скорость – азимут» по результатам обработки данных группы Курчатов

Выводы

Применение метода РМСС к сейсмическим и инфразвуковым данным станций НЯЦ РК оказалось очень продуктивным. Его использование на данных только одного события позволило:

- точно определить направление прихода и кажущиеся скорости фронтов волн как функцию от времени на ряд станций, что в принципе позволяет локализовать источники землетрясений и взрывов;
- получить данные о развитии разрыва в очаге сильного землетрясения. Так, на полярных диаграммах «скорость – азимут» по группам Каратау и AS57-Боровое для продольных волн в начальной части записей можно проследить изменение азимута со временем, согласующееся с данными реконструкции очага;
- получить новые знания о механизме распространения волн, записываемых в коде, на основе изменений азимута во времени для волн этой группы;
- сделать выводы в отношении отдельных инфразвуковых станций о несоответствии их требованиям задач мониторинга и необходимости их модернизации.

На последнем выводе остановимся подробнее. Обработка записей события группой Актюбинск дала хорошие результаты – правильно определен азимут на событие и скорости соответствующих цугов волн, выделены семейства продольных и поперечных волн. Напротив, обработка записей станции Курчатов показала, что мы не добились точного определения азимутов – ошибка составила 20⁰, значения скоростей также отличны от определений по инфразвуковой группе Актюбинск и данных сейсмических групп. Причиной этого несоответствия, скорее всего, являются разный размер ветрозащитных устройств на станции Курчатов, причем одно из них имеет апертуру, сопоставимую с апертурой самой группы. Кроме того, одна из ветрозащитных систем соединена с микробарометром слишком длинной трубой (порядка 100 м). Все эти факторы обязательно должны привести к фазовым и амплитудным различиям при записи идентичных сигналов элементами группы. Доказательством может послужить сравнение спектров участков записей, содержащих изучаемые сигналы от землетрясения для станций Актюбинск и Курчатов (рисунок 16). В рабочей полосе группы IS31-Актюбинск 0,03 Гц – 3 Гц спектры записей элементов группы практически идентичны, в то время как для группы Курчатов в рабочей полосе 0,05 Гц – 10 Гц они существенно различаются (в диапазоне примерно от 0,2 Гц до 10 Гц). Такие фазовые и амплитудные различия неминуемо должны привести к ошибкам в детектировании.



По оси абсцисс – частота, Гц; по оси ординат – log(m/Hz**0.5)

Рисунок 16. Сравнение спектров записи землетрясения элементами инфразвуковых групп

Основываясь на полученных результатах, можно сделать следующие рекомендации:

- необходимо модернизировать инфразвуковую группу Курчатов для того, чтобы сделать ее пригодной для задач мониторинга. В первую очередь, нужно добиться идентичности ветрозащитных устройств и избавиться от ненужных потерь между ветрозащитными устройствами и входами микробарометров;
- данные сильных землетрясений можно использовать для калибровки всей инфразвуковой сети. Другие источники использовать затруднительно,

поскольку сильные события в атмосфере, записываемые одновременно всеми станциями, очень редки. Запуски космических кораблей с космодрома Байконур для этих целей также не подходят, так как сигналы поступают с двигающегося источника.

Благодарность. Автор выражает благодарность сотрудникам Commissariat а l'Energie Atomique, Bruyeres-le-Chatel, France за предоставленную про-грамму РМСС и помощь в ее использовании, а также лично A. Le Pichon за полезные консультации.

Литература

- 1. Плакат землетрясения в Республике Алтай Российской Федерации 27 сентября 2003 г., магнитуда 7,3 http://neic.usgs.gov/neis/poster/2003/20030927.html.
- S.F. Ingate, E.S. Husebye, A. Christofierson Regional arrays and optimum data processing schemes//Bull. Seismol. Soc. Am. -75, 1985. – P. 1155 - 1177.
- Y. Cansi An automatic seismic event processing for detection and location: The PMCC method//Geophysical research letters. -Vol. 22. - No. 9, May 1, 1995 - P. 1021 - 1024.
- Y. Cansi and Y. Klinger An automated data processing method for mini-arrays, European-Mediterranean Seismological Centre//Newsletter. - No. 11, July 1997.
- 5. R. Capon High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis//Proc. of the IEEE, 1969. 57. P. 1408 1418.
- Le Pichon, J. Guilbert, M. Valle'e, J. X. Dessa, M. Ulziibat Infrasonic imaging of the Kunlun Mountains for the great 2001 China earthquake//Geophysical Research Letters. - 2003. - Vol. 30. - No. 0, XXXX, Doi:10.1029/2003gl017581.
- Le Pichon, J. Guilbert, A. Vega, M. Garces, N. Brachet Ground-coupled air waves and diffracted infrasound from the Arequipa earthquake of June 23, 2001//Geophysical Research Letters. - 2002. - Vol. 29. - No. 0, 10.1029/2002glo 15052.
- W.L. Donn, E.S. Posmentier Ground-coupled air waves from the great Alaskan earthquake//J. Geophys. Res., 1964. 69. P. 5357 - 5361.
- R. K. Cook Infrasound radiated during the Montana earthquake of 1959 August 18// Geophys. J. R., 1971. astr. Soc., 26. P. 191 – 198.
- Y.Takanashi, Y. Koyama, T. Isei, In situ measured infrasound at Sapporo associated with an earthquake occurring offshore in southwest Hokkaido on July 12, 1993//J. Acoust. Soc. Jpn. – 1994. – 15. – 409 - 411.

ҚР ҰЯО СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ИНФРАДЫБЫСТЫҚ СТАНЦИЯЛАРЫМЕН АЛЫНҒАН 2003 ж. 27 ҚЫРКҮЙЕКТЕГІ АЛТАЙ ЖЕРСІЛКІНУІ ЖАЗБАЛАРЫНЫҢ ТАЛДАУЫ

Смирнов А.А.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Жұмыста, инфрадыбыстық және сейсмикалық деректерін талдау, жерсілкіну көзін параметрлеу, инфрадыбыстық станцияларын калибрлеуінің баламалы әдісінде бірегей жерсілкінуінің жазбаларын пайдалану үшін Францияның Атом энергетикасы жөніндегі комиссариатының мамандары әзірлеген прогрессивті көпарналы корреляциялық әдісін, РМСС (Progressive Multi-Chennel Correlation), сынамалау нәтижелері келтірілген.

RECORDS ANALYSIS OF ALTAI EARTHQUAKE DATED SEPTEMBER 27, 2003 OBTAINED AT SEISMIC AND INFRASOUND STATIONS OF NNC RK

A.A. Smirnov

Institute of Geophysical Researches, NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

The report contains testing results of progressive multi-channel correlation (PMCC) method, which was developed by specialists from Commissariat for Atomic Energy, France for infrasound and seismic data analysis, earthquake source parameterization on the basis of obtained results and also records use of unique earthquake as alternative calibration method of infrasound chain. УДК 550.34

БАЗА ДАННЫХ ЭТАЛОННЫХ СОБЫТИЙ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Михайлова Н.Н., Аристова И.Л.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

В Центре данных Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан создана и систематически пополняется база данных так называемых «эталонных событий» (ground truth events). База включает взрывы с достоверными сведениями о месте и времени их проведения, а также землетрясения с наиболее точно локализованным гипоцентром. Эти данные успешно используется для уточнения годографов сейсмических волн, для проверки SSSC-поправок к годографу IASPEI–91 применительно к казахстанским станциям Международной системы мониторинга, для тестирования новых программных средств и методов локализации событий.

Введение

Создание базы данных эталонных событий является частью исследований по сейсмической калибровке Международной системы станций мониторинга (МСМ). Сейсмическая калибровка включает уточнение скоростных моделей в районе каждой станции либо поиск корректирующих поправок к осредненному годографу для разных направлений, разных расстояний, разных сейсмических фаз. Благодаря такой информации становится возможным повысить точность решения задачи локализации источников и, в конечном итоге, повысить эффективность мониторинга ядерных испытаний с использованием создаваемой в последние годы Международной системы мониторинга Организации по Договору о запрещении ядерных испытаний (ОДВЗЯИ). Из станций НЯЦ РК в МСМ входят сейсмическая группа PS23-Маканчи, являющаяся первичной станцией МСМ, вспомогательная сейсмическая группа AS057-Боровое, получившая статус запасной первичной станции. В систему включены также сейсмические станции AS059-Актюбинск и AS058-Курчатов, которые после их модернизации начнут функционировать как вспомогательные станции МСМ [1]. Расположение станций МСМ в Казахстане показано на рисунке 1.



Рисунок 1. Расположение стационарных станций, зарегистрировавших эталонные события В базу эталонных данных включались два типа событий:

- карьерные и калибровочные взрывы на территории Казахстана;
- землетрясения на территории Казахстана и в приграничных районах других стран.

На рисунке 1 приведено расположение всех сейсмических станций, участвовавших в зарегистрированных эталонных событиях, в том числе, станций локальной сети Института сейсмологии Министерства образования и науки Республики Казахстан (ИС МОН РК) и Киргизской национальной сети (KNET).

Эталонные взрывы

В 1997 - 2000 гг. на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне произведена серия взрывов с целью уничтожения ядерной инфраструктуры полигона. Взрывы были сосредоточены на двух площадках -Балапан и Дегелен. На площадке Балапан взрывы производились в скважинах на глубине от 2.5 м до 630 м, Мощность взрывов изменялась от 2 до 25 т. На площадке Дегелен в штольнях произведено три взрыва мощностью по 100 т каждый: Омега-1 в 1998 г., Омега-2 в 1999 г. и Омега-3 в 2000 г. Для регистрации взрывов, дополнительно к стационарной сети сейсмических станций, устанавливались временные сейсмические станции на различном расстоянии от станций - в ближней, промежуточной и дальней зонах [2], в том числе, вдоль профилей. На рисунке 2 показано размещение станций в промежуточной и дальней зонах. Регистрация взрывов осуществлялась как цифровыми, так и аналоговыми станциями. Цифровые станции это станции НЯЦ РК, KNET и временной сети Тянь-Шань Ренселлеровского политехнического института (США). В профильных наблюдениях участвовали аналоговые станции АСС 6/12 с регистрацией на магнитную ленту. При проведении калибровочных взрывов данные были получены по 87 станциям.

В базу данных эталонных событий из серии 1997-2000 гг. включено семь взрывов – четыре на площадке Балапан и три – на площадке Дегелен. Отобраны наиболее сильные взрывы – четыре по 25 т и три по 100 т. Основные параметры этих взрывов приведены в таблице 1.

Дата	to	φ ⁰ , N	λ ⁰ , Ε	Масса заряда, кг
03.08.1997	08:07:20,04	49°56′28,2″	78°47′09,6″	25000
31.08.1997	07:08:39,179	49°53′01,3″	78°48′53,1″	25000
28.09.1997	07:30:15,12	49°52′45,9″	78°50′57,6″	25000
17.09.1998	07:19:40,551	49°56′51,7″	78°45′21,2″	25040
22.08.1998	05:00:18,904	49°46'00,0″	77°59′27,0″	100000
25.09.1999	05:00:05,85	49°46′54,68″	77°57′58,68″	100000
29.07.2000	06:10:04,03	49°46′55,39″	77°57′59,97″	100000

Таблица 1. Основные характеристики источников взрывов



Кружки: розовые - станции НЯЦ РК, Тянь-Шань и временные станции; бордовые - станции ИС МОН РК; голубые - станции КСЭ. Звездочка – Семипалатинский испытательный полигон

Рисунок 2. Расположение стационарных и временных сейсмических станций, зарегистрировавших калибровочные взрывы

Координаты скважин площадки Балапан, в которых проведены взрывы, определены с точностью ± 30 м. Для штолен горного массива Дегелен точность координат взрывных камер – выше и составила ± 5 -10 м (GPS – GARMIN). Высота над уровнем моря определялась геодезическими методами с точностью ± 2 м. Точность привязки по времени составляла 10 мс. Координаты расположения станций НЯЦ РК определены с точностью ± 30 м. То же относится к станциям сетей КNET и Тянь-Шань. Координаты станций Института сейсмологии МОН РК определены с точностью от 100 м до 500 м.

Обработка записей взрывов, отобранных в качестве эталонных событий, включала в себя следующие этапы:

- расчет эпицентрального расстояния от каждой станции;
- интерпретация волновой картины записи, идентификация выделенных вступлений;
- определение времен вступлений основных региональных фаз и дополнительных четких вступлений.

Точность замеров времен вступлений для аналоговых станций ИС МОН РК составляла 0.1 с, что определялось скоростью развертки записей 120 мм/мин при регистрации на фотобумагу. Для цифровых станций точность замеров выше на 2-3 порядка.

Кроме калибровочных экспериментов 1997-2000 гг. в базу данных включены химический взрыв на угольном карьере Каражыра, расположенном на участке Балапан, а также взрыв в скважине того же участка, произведенный для учений по Инспекции на месте в 2002 г. Карьерный взрыв был произведен 12 июля 2002 г. в 11:57:33,3. Точные координаты взрыва: широта – 50.023° N, долгота – 78.717° Е, масса заряда 45 т. Взрыв для учений Инспекции на месте произведен 14 сентября 2002 г. на площадке Балапан Семипалатинского испытательного полигона с массой заряда 12,5 т. Время взрыва 06:31:04,924, точные координаты: 49.9070° N, 78.8169° Е.

Таким образом, в базу данных включено всего 9 взрывов. Результаты хранятся в ЦСОССИ в формате CSS 3.0, включающем информацию об источниках, станциях, волновые формы записей, результаты обработки.

Эталонные землетрясения

Для выбора землетрясений – кандидатов в эталонные события, принимались во внимание следующие требования:

1) землетрясение должно быть зарегистрировано как локальной сетью станций, так и станциями МСМ. Магнитуда события не должна быть меньше 3,5, поскольку станции НЯЦ РК находятся на удалении от локальных сетей до 1000 км и более, но не должна быть очень большой, поскольку наиболее сильные землетрясения имеют протяженный очаг, из-за чего возникают сложности с локализацией гипоцентра. В общем случае требование к магнитуде - $3,5 < m_b \le 5,0$;

2) гипоцентр землетрясения должен быть определен с точностью не хуже ±5 км. Эпицентр землетрясения должен находиться в пределах или, желательно, вблизи станций локальных сейсмических сетей наблюдения. Для Казахстана – это юг и юговосток территории, поскольку именно здесь происходит большинство землетрясений и здесь сосредоточены локальные сети станций. Общее количество станций, зарегистрировавших землетрясение, должно быть не менее 20;

 желательно наличие близкой станции (с эпицентральным расстоянием менее 50 км) и хорошее азимутальное окружение события станциями локальной сети; 4) в отдельных случаях в качестве эталонных событий могут быть выбраны землетрясения, не вполне удовлетворяющие вышеперечисленным требованиям. Дополнительными факторами, способствующими включению событий в число эталонных, могут быть зарегистрированные специальной сетью афтершоки и точные макросейсмические данные.

Первоначальный выбор землетрясений производился по каталогам различных сейсмических служб: Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ) Института геофизических исследований НЯЦ РК, Института сейсмологии МОН РК, REB (Международного Центра Данных), ISC (Международного сейсмического центра Геологической службы США) и других.

По записям каждого отобранного землетрясения проводились следующие работы:

- сбор записей из архивов разных сейсмологических сетей (НЯЦ РК, КNET, ИС МОН РК, Тянь-Шань);
- интерпретация волновой картины, определение времен вступлений региональных фаз;
- построение индивидуальных годографов по каждому землетрясению, по каждой фазе для исключения грубых ошибок интерпретации;
- локализация источника по данным только локальных сетей (без станций НЯЦ РК);
- выбор приоритетного решения;
- построение и анализ эллипсов ошибок, анализ сходимости решений разных центров данных;
- оценка пригодности землетрясения в качестве эталонного события.

Ниже приведен пример стандартного подхода к отбору эталонных землетрясений. Из каталога ЦСОССИ выбрано событие 02.06.2002 г. с эпицентром в районе Джунгарии (рисунок 3). Основные параметры землетрясения: t_0 =03:32:51,3, φ =44.77⁰ N, λ =78.84⁰ E, m_b=4.3. В каталоге ИС МОН РК это землетрясение имеется с параметрами: t_0 =03:32:53,0, φ =44.95⁰ N, λ =78.65⁰ E, h=10 км, K=9,8. На рисунке 3, кроме расположения эпицентра, показаны станции, по которым собраны записи. Как видно, станции достаточно хорошо окружают эпицентр события, их общее количество – 25, имеются станции, близкие к эпицентру. На рисунке 36 показан годограф основных региональных фаз этого землетрясения - Pn, Pg, Lg, Sn.

По совокупности собранных данных проведена локализация гипоцентра с использованием программных пакетов Dataskope и Seetools [3]. Среди разных решений, полученных только по Р-волнам, по Р- и S-волнам, по Р-волнам и азимутам, определенным путем F-k – анализа, по данным сейсмической группы, выбрано приоритетное решение, которое внесено в базу данных в формате CSS 3.0.

Ряд землетрясений включен в базу данных в связи с наличием дополнительной информации, уточняющей местоположение гипоцентра. Среди таких событий, например, Шалгинское землетрясение 22 августа 2001 г. [4]. Его очаг расположен в Центральном Казахстане (рисунок 5), ближайшие станции находятся на значительном расстоянии (Δ_{\min} до станций ИС МОН РК - 450 км, Δ_{\min} до станций НЯЦ РК - 700 км).







Рисунок 5. Эпицентр Шалгинского землетрясения и станции, его зарегистрировавшие

Как видно, условия регистрации землетрясения не соответствуют вышеуказанным требованиям к выбору землетрясений – кандидатов в эталонные события. Однако в эпицентральной области были проведены полевые работы по регистрации афтершоков и по макросейсмическому обследованию, которые позволили уточнить параметры гипоцентра и включить землетрясение в базу данных.





б – время 09:39:08.47

Рисунок б. Фрагменты записей событий 17.02.2002 г

К «нестандартным» эталонным событиям отнесены отдельные землетрясения, очаги которых расположены в непосредственной близости от сейсмических групп. В этом случае, даже, несмотря на отсутствие хорошего окружения эпицентра станциям, можно с большой степенью надежности определить местоположение очага. Например, 17.02.2002 г. вблизи сейсмической группы Каратау произошли два землетрясения с магнитудой 3,5. Записи этих землетрясений показаны на рисунке 6.

Разница времен вступлений S- и P-волн на элементах группы Каратау составила от 2,7 с до 4 с, что свидетельствует об эпицентральном расстоянии порядка 20-30 км. На рисунке 7 для события 17.02.2002 г показано сравнение решений, полученных ЦСОССИ (KNDC1 и KNDC2) и решений, полученных Международным центром данных (REB1 и REB2). В первом случае использованы данные сейсмической группы Каратау, во втором – данные сети станций без сейсмической группы Каратау. Эллипсы ошибок по данным ЦСОССИ достаточно малы, два эпицентра расположены в 3 км друг от друга. Положение очага определено достаточно уверенно. Эллипсы ошибок по данным МЦД не всегда покрывают истинный эпицентр и находятся в 25 км друг от друга.

В число «нестандартных» эталонных событий вошло и Луговское землетрясение 22.05.2003 г. с M_s=5,0. Макросейсмические данные о локальном месте сильных разрушений на железнодорожной станции Луговая, совпадающие с решением задачи по совокупности данных станций ИС МОН РК и НЯЦ РК, а также приуроченность эпицентра главного толчка к границе облака эпицентров афтершоков, позволили считать, что эпицентр найден довольно точно.

По состоянию на октябрь 2003 г. в базу эталонных событий включено 65 землетрясений. Каталог эталонных землетрясений и карта их эпицентров приведены в таблице 2 и на рисунке 8.



в МЦД по землетрясениям 17.02.2002 г.

N⁰	Дата (м.,ч.,г.)	to	φ, N	λ, Ε	Глубина, км	MPV
1	09.28.1995 (271)	8:32:34,4	44,53	80,03	25	4,6
2	11.04.1995 (308)	18:35:18,7	42,25	75,02	20	4,4
3	01.14.1996 (014)	18:16:28,2	42,85	74,88	34	4,2
4	01.18.1996 (018)	9:33:51,1	42,04	77,48	10	5,2
5	04.13.1996 (104)	4:28:30,6	42,14	79,68	11	3,7
6	05.11.1996 (132)	10:32:45,5	42,93	78,30	12	4,1
7	05.14.1996 (135)	12:45:27,9	41,53	75,00	19	4,6
8	06.01.1996 (153)	18:03:49,0	41,40	75,88	23	4,3
9	06.16.1996 (168)	19:39:15,5	42,57	72,93	4	4,2
10	12.16.1996 (351)	6:59:51,1	42,82	78,17	29	4,3
11	12.28.1996 (303)	7:40:32,0	43,02	77,94	13	4,4
12	02.26.1997 (059)	23.37.42,9	44,40	00,95 75.91	42	3,7
13		9.33.06,7	41,30	22.05	20	4,7
14	08 13 1997 (225)	14:30:11.9	47,07	79.61	16	4,5
16	10 20 1997 (223)	10:21:44 7	44.81	79.82	20	3.9
17	11.06.1997 (310)	2.49.22.2	47.73	81 72	32	4.3
18	12.01.997 (335)	20:54:16.3	41.62	75.83	18	4.3
19	12.27.1997 (361)	4:20:58,5	42,27	78,23	16	4,4
20	06.25.1998 (176)	6:39:20,3	41,64	80,32	0	5,1
21*	04.14.1999 (104)	12:41:22,4	43,69	74,54	19	4,4
22	05.13.1999 (133)	20:38:35,9	42,73	78,89	21	3,5
23	06.02.1999 (153)	12:57:19,9	42,13	77,06	15	4,5
24	11.23.1999 (327)	21:59:15	45,19	79,55	8	4,7
25	12.06.1999 (340)	7:33:11,4	42,71	76,30	20	5,6
26	12.06.1999 (340)	8:17:28,5	42,71	76,33	21	4,8
27	04.18.2000 (109)	23:06:13,0	41,32	77,91	8	4,8
28	05.06.2000 (127)	3:08:40,4	41,80	79,33	26	4,7
29	08.02.2000 (215)	22:44:08,4	41,97	79,51	24	4,9
30	08.08.2000 (221)	01:15:08,3	42,23	76,9	25	5,6
31	01.17.2001(017)	01:49:05,7	44,70	79,33	8	4,7
32	02.17.2001(048)	20.30.33,9	43,70	79,01	13	5,1
30	02.21.2001(052)	12.10.10,4	42,70	74,90	18	4,0
35	05.04.2001(124)	0:34:11.4	41,70	81 39	0	4,5
36	05.22 2001(142)	15:02:34.3	42 21	76 17	16	4.8
37	07 16 2001(197)	14:33:02.8	43 35	77.94	16	4.6
38	08.22.2001(234)	15.58.00.4	47.19	70.24	13	5.8
39	09.01.2001(244)	3:51:00,9	42,17	70,90	0	4,5
40	09.02.2001(245)	20:25:15,7	40,91	73,16	11	5,4
41	09.13.2001(256)	12:00:31,5	41,25	75,67	11	4,7
42	10.09.2001(282)	0:24:30,4	42,05	76,44	14	4,6
43	10.17.2001(290)	9:00:24,2	44,27	81,41	29	4,3
44	10.19.2001(292)	14:56:48,9	42,21	79,20	34	5,2
45	11.18.2001(322)	1:28:54,8	42,68	74,07	10	5,2
46	11.22.2001(326)	2:59:11,2	40,87	72,77	13	5,2
47	12.13.2001(347)	2:11:05,0	40,99	73,74	6	4,8
48	02.17.2002(048)	00:20:00 5	42,98	70,51	12	3,5
49		09.39.08,5	43,01	79.60	14	3,5
50	05.20.2002(005)	04.32.32,3	42,00 12 00	77 40	۱ ۸	4,5 // 1
52	05.02.2002(122)	15:35:06.4	42,33	74.57	<u>ل</u>	5.0
53	05.31.2002(151)	10:47:41 0	43 21	78 67	12	4.6
54	06.02.2002(153)	3:32:51 3	44.77	78.84	10	4.3
55	06.17.2002(168)	21:03:47.8	42.32	73.62	2	4.2
56	07.04.2002(185)	1:33:21,3	40,83	73,44	0	3,9
57	07.17.2002(198)	7:17:29,2	47,38	81,62	0	4,1
58	09.09.2002(252)	22:26:59,7	47,87	67,4	0	4,1
59	10.07.2002(280)	13:11:03,7	41,24	71,81	7	4,5
60	10.28.2002(301)	8:32:09,5	41,42	76,18	0	4,3
61	11.28.2002(332)	18:53:34,9	47,69	82,22	5	5,4
62	12.07.2002(341)	7:47:30,3	41,44	67,35	0	4,7
63	12.08.2002(342)	22:10:37,0	41,68	72,33	0	4,7
64	12.18.2002(352)	17:39:24,5	44,65	77,75	27	4,9
65	05.22.2003(142)	18:11:54,6	42,95	72,83	13	6,1

Таблица 2. Каталог землетрясений на территории Казахстана и прилегающих территориях, отобранных для базы эталонных событий



Рисунок 8. Эпицентры эталонных землетрясений

Все данные хранятся в CSS 3.0 формате. Пример электронных таблиц из базы данных показан на рисунке 9.



Рисунок 9. Визуализация таблиц базы данных в формате CSS 3.0

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ КАЛИБРОВКИ

Уточнение скоростных характеристик геологической среды Центрального Казахстана

Точные и подробные данные об эталонных взрывах на Семипалатинском испытательном полигоне были использованы для уточнения годографа региональных фаз Центрального Казахстана. Этому вопросу посвящена отдельная работа [2]. На рисунке 10 показан годограф, полученный в результате этих исследований.



Рисунок 10. Региональный годограф по результатам обработки данных эталонных взрывов

Использование базы эталонных событий для контроля SSSC-поправок

В 2002 г. в рамках работ, проводимых под эгидой Международного центра данных ОДВЗЯИ по сейсмической калибровке, для казахстанских станций МСМ проведен расчет поправок к временам пробега годографов IASPEI-91 (International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior, 1991) в зависимости от азимута и расстояний для региональных фаз. В Центре мониторинговых исследований США сотрудниками ИГИ НЯЦ РК рассчитаны так называемые SSSC-поправки (Source Specific Station Corrections). Расчет поправок базировался на скоростной модели CUB2.0 [5], полученной для всей Земли по сетке 2×2 градуса до глубины 400 км. Для больших глубин модель сливается с Гарвардской 3D моделью S20 [6]. Земная кора в модели CUB2.0 описана моделью CRUST2.0 [7]. SSSC - поправки рассчитаны для региональных фаз Pn, Pg, Sn. Для проверки правильности найденных поправок использована база данных эталонных событий. К сожалению, эталонные события занимают довольно ограниченный диапазон расстояний и азимутов относительно конкретной станции. На рисунке 11 показано положение эпицентров эталонных событий для станций Маканчи и Боровое на фоне рассчитанных SSSC- поправок для фазы Pn.

Проведена оценка достоверности SSSC-поправок для доступных азимутов и расстояний. По каждой станции рассматривались распределения значений величины D_{ij}, представляющей собой разницу поправок к временам пробега по IASPEI - 91, наблюденным по конкретной сейсмической фазе эталонных событий, с SSSC- поправками, рассчитанными для тех же азимутов и расстояний:

 $D_{ij} = \delta T_{ij} - (SSSC)_{ij}, \delta T_{ij} = t_{ij} - T_{ij}^{IASPEI},$

где t_{ij} – наблюдённое время пробега для і-ой фазы j-ого события; T_{ij} – время пробега для той же фазы и расстояний по годографу IASPEI; і принимает значения от 1 до 3 соответственно фазам Pn(1), Pg(2), Sn(3); ј изменяется от 1 до N в зависимости от количества эталонных событий с участием данной станции. Если поправки рассчитаны верно, то D должно стремиться к 0. Распределение значений D оценена с помощью двух параметров – медианы и процентилей на уровне 15% и 85%. На рисунке 12 показано распределение значений D _{ij} при i=1 (волна Pn) и j=35 по станции PS23-Маканчи. Медиана \overline{D}_1 =0.7 с, процентили (- 0,9 с) - (+ 2,98 с).

На рисунке 12 представлено аналогичное распределение для станции AS057-Боровое при i=1 (волна Pn) и j= 50. Медиана \overline{D}_1 =1.0 с, процентили (-1,82 с) - (+ 3,9 с). На рисунке 13 показано аналогичное распределение для волны Sn по станции AS057-Боровое. Здесь медиана \overline{D}_3 =0.8 с, процентили (-1,4 с) - (+ 4,6 с).



Рисунок 11. Распределение эталонных событий по азимутам и расстояниям. Цветная шкала показывает поправки к годографу IASPEI для волны Pn



Рисунок 13. Распределение значений D_{ij} для волны Sn по станции AS057-Боровое

Учитывая ошибки в определении координат гипоцентров землетрясений и t_0 , неточности в снятии времен вступлений и интерпретации фаз, можно в целом считать результаты расчета SSSC-поправок в рассмотренном примере удовлетвори-

тельными. Лучшие результаты получены по станции PS23-Маканчи.

Другим способом проверки SSSC-поправок является перелокализация гипоцентров с учетом SSSC-поправок и без них. Проверка выполнена на эталонных взрывах и землетрясениях. За «истинный» эпицентр землетрясений принимались результаты локализации события по данным локальной сейсмической сети. С ними сравнивались результаты локализации, полученные при использовании данных только станций МСМ Казахстана с SSSC-поправками и без них. Эффективность поправок оценивалась по уменьшению расстояния между «истинным» и рассчитанным эпицентром и по уменьшению площади эллипса ошибок с 90% вероятностью.

Перелокализация проведена по всем событиям, включенным в базу данных в нескольких вариантах – только по Pn-волнам, по Pn-, Pg-, Sn-волнам. Ниже приведены примеры полученных результатов по Pnволне для нескольких землетрясений и взрывов из базы эталонных событий. Рисунок 14 а, б иллюстрирует результаты перелокации землетрясения, произошедшего 17.02.2001 г. По данным станций МСМ расстояние до «истинного» эпицентра при использовании SSSC-поправок уменьшилось почти вдвое, площадь эллипса ошибок - на 15 %.

На рисунке 14 в, г представлены результаты по землетрясению 16.07.2000 г. Эпицентр землетрясения находится в области самой высокой концентрации станций. Использование SSSC-поправок позволило значительно приблизить эпицентр к «истинному», площадь эллипса ошибок сократилась незначительно.

Эффективность SSSC-поправок для взрывов оценивалась по уменьшению расстояния между эпицентром взрыва (координаты скважины или штольни) и результатом локализации с SSSCпоправками и без них. На рисунке 15 показаны результаты таких оценок для трех взрывов.

В таблице 3 приведены результаты перелокализации 51 события, характеризующие эффективность SSSC-поправок.



Рисунок 14. Результаты перелокализации землетрясения 17.02.2001 г., t₀=01:49:05(а, б) и землетрясения 16.07.2000 г., t₀=14:33:02 (в, г): а, в - эллипсы ошибок; б, г - система наблюдений



Рисунок 15. Результаты локализации взрывов без и с SSSC-поправками

Таблица 3. Результаты перелокализации, характеризующие эффективность SSSC-поправок

Дата (м,ч,г.)	Время	∆ с SSSC, км*	∆ без SSSC, км*	S c SSSC, м ²	S без SSSC, м ²
9.28.1995	8:32:33.894	9,98	17,33	681,78	850,93
11.04.1995	18:35:15.360	6,00	8,78	1210,90	1556,96
1.14.1996	18:16:24.616	10,65	17,70	1659,80	2244,65
4.13.1996	4:28:31.360	12,80	28,05	1581,31	2006,33
05.11.1996	10:32:46.209	54,71	47,29	2023,66	2755,14
5.14.1996	12:45:25.486	10,19	12,69	2360,64	3266,04
06.01.1996	18:03:45.135	14,39	13,01	1560,74	2066,66
6.16.1996	19:39:14.253	11,83	16,85	1412,46	1851,02
12.28.1996	7:40:31.841	32,47	37,50	3608,76	21101,23
03.05.1997	9:35:04.727	15,97	25,77	5031,73	6451,46
4.17.1997	1:29:25.512	5,30	16,66	1310,11	1700,24
08.03.1997	8:07:20.040	4,71	7,21	549,54	674,39
8.13.1997	14:30:08.604	1,55	14,44	1844,20	2446,41
8.31.1997	7:08:39.179	8,40	11,89	740,63	1452,19
9.28.1997	7:30:15.126	19,67	15,51	1641,04	2096,32
10.20.1997	10:21:46.326	12,94	34,70	1316,48	1700,17
11.06.1997	2:49:22.798	27,70	13,87	1834,36	2468,74
12.01.1997	20:54:14.750	31,38	37,12	1644,34	2023,55
6.25.1998	6:39:24.711	9,50	28,53	3096,57	4078,82
8.22.1998	5:00:18.904	4,15	5,50	445,34	567,53
9.17.1998	7:19:40.551	2,43	4,00	502,56	616,84
4.14.1999	12:41:22.102	8,24	13,92	1841,48	3187,25
5.13.1999	20:38:35.228	27,05	36,59	1966,12	2281,26
9.25.1999	5:00:05.850	4,05	7,73	369,84	464,20
11.23.1999	21:59:15.673	9,61	16,68	465,69	595,56
12.06.1999	8:17:28.792	41,30	33,15	2962,65	2726,64
4.18.2000	23:06:12.775	28,99	25,61	3275,98	4946,91
05.06.2000	3:08:34.993	13,95	5,43	2718,63	3877,59
7.29.2000	6:10:04.030	7,30	9,85	350,70	435,90
08.02.2000	22:44:06.201	13,25	20,55	1450,86	1854,22
08.08.2000	1:15:07.077	39,19	43,46	7006,42	16620,11
1.17.2001	1:49:06.093	9,63	15,41	744,17	844,34
2.17.2001	4:04:05.375	12,33	17,49	978,97	1087,48
2.21.2001	12:15:15.331	19,69	21,17	1716,35	1971,21
05.04.2001	16:39:17.768	39,79	47,73	3019,67	3886,80
05.08.2001	0:34:12.242	33,37	40,30	2885,05	3516,45
5.22.2001	15:02:35.815	39,73	40,00	11663,90	14640,04
7.16.2001	14:33:03.344	9,71	17,43	880,11	1073,18
8.22.2001	15:58:01.587	12,78	16,82	625,02	921,89
09.02.2001	20:25:13.058	13,19	14,04	1860,40	2635,35
9.13.2001	12:00:31.893	26,33	37,27	2345,89	3000,10
10.09.2001	0:24:31.423	26,35	30,96	5750,52	3160,37
10.17.2001	9:00:22.320	17,85	35,48	1121,71	1380,32
10.19.2001	14:56:45.278	31,26	43,16	1639,25	1989,29
11.18.2001	1:28:54.191	29,47	31,66	2179,92	2795,30
11.22.2001	2:59:12.443	8,83	13,80	2121,73	2801,94
2.17.2002	8:55:44.790	47,69	23,96	8909,07	2318,08
2.17.2002	9:39:03.684	31,05	29,72	1995,91	2712,75
05.02.2002	3:44:22.870	27,06	31,16	1403,35	1626,33
05.10.2002	15:35:05.572	17,32	22,25	1187,98	1558,32
5.31.2002	10:47:41.413	49,31	46,20	2732,90	2710,09

Примечание*∆ с SSSC - расстояние между эпицентрами - истинным и рассчитанным с SSSC - поправками; ∆ без SSSC - то же без поправок; S с SSSC - площадь эллипса ошибок с 90% вероятностью при учете поправок; S без SSSC - то же без учета поправок. Из анализа таблицы 3 следует, что, площадь эллипсов ошибок после учёта SSSC-поправок уменьшилась в 92,2% случаев. Все 100% эллипсов покрывают «истинный» эпицентр. Распределение площадей эллипсов ошибок показано на рисунке 16. Медиана распределений без учёта SSSC-поправок равна 2096 км², с учётом поправок – 1660 км², т.е. площадь эллипса ошибок в среднем уменьшилась на 21%. В то же время площадь эллипсов ошибок пока ещё не удовлетворяет требованиям ДВЗЯИ и превышает 1000 км² [1].



Рисунок 16. Распределение площадей эллипсов ошибок

Литература

- Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ): Подготовительная комиссия Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, Временный технический секретариат.- Австрия, 1999. – 139 с.
- Михайлова Н.Н., Аристова И.Л., Германова Т.И. Годограф сейсмических волн по результатам регистрации сигналов от химических взрывов//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК.- Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2.-С. 46 - 54
- J. Anderson, W.E. Farell et al Center for seismic studies. Version 3 Database: Schema reference manua//Technical Report C. 90-01. - Arlington, 1990.
- 4. Илихайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н., Казаков Е.Н., Беляшов А.В. Шалгинское землетрясение в Центральном Казахстане 22.08.2001г.//Геофизика и проблемы нераспространения/Вестник НЯЦ РК. Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. - С. 78 - 87

Уменьшение расстояний между расчётным и «истинным» эпицентром после введения SSSCпоправок достигнуто в 82,4% случаев. В 10% случаев расстояние незначительно увеличилось, но при этом площадь эллипсов ошибок уменьшилась. Примерно в 7% случаев после введения SSSC-поправок результаты ухудшились.

Выводы

1. Базы данных эталонных событий имеют важное значение для сейсмической калибровки, поскольку позволяют уточнять скоростные модели среды, осуществлять независимую проверку SSSC-поправок, тестировать новые программные средства.

2. База данных эталонных событий, создаваемая в Центре данных ИГИ НЯЦ РК, включает взрывы и землетрясения на территории Казахстана, которые удовлетворяют требованиям, предъявляемым к эталонным событиям. Работа по пополнению базы данных по текущим событиям проводится постоянно.

3. Поскольку землетрясения происходят, в основном, в одних и тех же районах Казахстана, для расширения диапазона азимутов и расстояний предполагается начать сбор данных по событиям на территории России. В частности, по отобранным событиям планируется дополнить базу данных результатами, полученными по станциям Алтае–Саянской опытно-методической экспедиции СО РАН.

4. Только после тщательной проверки SSSCпоправок для станций и разных типов сейсмических фаз будет начато их внедрение в практику рутинной обработки данных на региональных расстояниях. Это позволит повысить точность локализации гипоцентров и, в целом, будет способствовать повышению эффективности сейсмических методов мониторинга ядерных взрывов.

- 5. M.H Ritzwoller, N.M. Shapiro, A.L. Levshin, E.A. Bergman, E.R. Engdahl, Assessment of global 3-D models based on regional ground truth locations and travel times, submitted//Geophys. Res., 2002.
- 6. G. Ekstrom, A.M.Dziewonski. The unique anisotropy of the Pacific upper mantle//Nature, 1998. 394. P. 168 172.
- C. Bassin, G. Laske, G. Masters The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America//EOS Trans AGU, 2000. – 81.

СЕЙСМОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ МІНДЕТТЕРІ ҮШІН ЭТАЛОНДЫҚ ОҚИҒАЛАРЫНЫҢ БАЗАСЫ

Михайлова Н.Н., Аристова И.Л.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институтының Деректер орталығында «эталондық оқиғалар» (ground truth events) аталатын деректер базасы жасалып жүйелі түрде толтырылуда. База өзіне, өткізу орны мен уақыты нақты белгілі мағлұматтарымен жарылстарды, сондай-ақ гипоорталықтарын ең нақты оқшауланған жерсілкінулерін қосады. Бұл деректердің базасы Мониторингтің халықаралық жүйесінің қазақстандық станцияларына үйлестіре сейсмикалық толқындарының годографтерін дәлелдеу үшін, IASPEI–91 годографына SSSC-түзетулерін тексеру үшін, жаңа программалық құралдары мен оқшаулау әдістерін тестілеу үшін табысты қолданылады.

DATABASE OF GROUND TRUTH EVENTS FOR SEISMIC MONITORING TASKS

N.N. Mikhailova, I.L. Aristova

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

So-called ground truth events database was created and is being systematically supplemented in Data Center of IGR NNC RK. The database includes explosions with reliable data on the place of their execution and earthquakes with mostly specified localized hypocenters. The base of data is successfully used for hodograph of seismic waves specification, for SSSC-corrections verification to IASPEI-91 hodograph for Kazakhstani stations of International Monitoring System and for new software and localization methods testing.
УДК 621.039:621.039

ПРОБЛЕМА РЕВИЗИИ ДОГОВОРА О ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕМ ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ВОЗОБНОВЛЕНИЯ МИРНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Голубов Б.Н.

Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия

Предпринята попытка обобщить данные полевых, лабораторных и теоретических исследований, а также архивные и литературные данных о последствиях применения технологий подземных ядерных взрывов (ПЯВ) в мирных целях на объектах России, США и Казахстана. Рассмотрены две задачи: первая - методологическая, относящаяся к развитию процессов, возбуждаемых в недрах и других оболочках географической среды при проведении ПЯВ; вторая, связанная с систематизацией данных о последствиях ПЯВ на конкретных объектах. Показана опасность возобновления ПЯВ, аналогичных тем, которые были проведены во второй половине минувшего столетия в США и бывшем СССР в мирных целях.

Цель статьи - показать опасность возобновления мирных подземных ядерных взрывов (ПЯВ), аналогичных тем, которые были произведены в США и в бывшем СССР во второй половине минувшего столетия. Договором о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), открытым для подписания 24.09.1996 г, проведение таких ПЯВ запрещено. В статье VIII Договора предусмотрено, что «...если большинство государств - участников не примут иное решение, через десять лет после вступления в силу Договора проводится Конференция по рассмотрению его действия и эффективности... На основе запроса любого государства-участника Конференция рассматривает возможность разрешить проведение подземных ядерных взрывов в мирных целях... и начинает работу над поправкой, которая исключает любые военные выгоды от таких ядерных взрывов». Несмотря на то, что ДВЗЯИ еще не вступил в силу, имеется необходимость заблаговременной подготовки соответствующего фактического материала для ответа на коренной вопрос: безопасны ли и эффективны ли мирные ПЯВ? Исходя из этого, предпринята попытка обобщить данные, которые характеризуют последствия применения ПЯВ на ряде промышленных объектов бывшего СССР и США, а также сведения о техногенном изменении недр на военных ядерных полигонах Мира, важные в методическом отношении. Основным источником данных являются результаты полевых, лабораторных и теоретических исследований, которые проводились с конца 80-х годов минувшего века в бывшем СССР, а затем в России в рамках программы "Экологические последствия ПЯВ". В работе участвовали научные и производственные организации Москвы, Астрахани, Пермской области и Якутии во взаимодействии с институтами Минатома РФ, а также природоохранными службами разных уровней. До 1997 г. эти исследования координировались Научным советом при Президиуме РАН по проблемам биосферы [67, 68], а позднее были продолжены совместными усилиями Института динамики геосфер РАН, кафедры радиохимии химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Управления ликвидации воздействий радиации Республики Саха (Якутия), Центральной аэрологической обсерватории Росгидромета, Якутского Международного научного центра по развитию северных территорий СО РАН и др. Использованы также труды творческих коллективов по оценке деятельности Новоземельского ядерного полигона [69] и радиоактивного загрязнения России [70]. Кроме того, привлекались материалы парламентских слушаний в Государственной думе РФ "Об экологических последствиях проведенных подземных ядерных взрывов", состоявшихся 9 декабря 1997 г. [58].

Основные данные об американской программе мирных ПЯВ "Плаушер" собраны автором во время научной поездки в США в 1998 г, позволившей, кроме того, вместе с местными специалистами провести рекогносцировочное обследование зоны ПЯВ "Гном" и расположенного рядом подземного хранилища радиоактивных отходов Waste Isolation Pilot Plant (WIPP) в штате Нью-Мексико. Выполнению этих работ содействовали Флоридский государственный университет, Геологическая служба США, Институт проблем энергетики и окружающей среды, Центр охраны окружающей среды университета штата Нью-Мексико, администрация WIPP, Лаборатория Сандиа Департамента энергетики США, Агентство охраны окружающей среды США и др., а также финансовая поддержка Фонда Дж. и К. Маккартуров.

На территории СНГ обследование мест мирных ПЯВ систематически проводится лишь в Казахстане, в основном на нефтегазоконденсатном месторождении Карачаганакском (объект "Лира"). Эти исследования в методическом отношении неразрывно связаны с изучением радиационного наследия Семипалатинского ядерного полигона, результаты отражены в трудах Национального ядерного центра (НЯЦ РК), Института динамики геосфер (ИДГ РАН), Минатома России, а также международной рабочей группы, получившей поддержку Европейской комиссии.

Подспорьем в работе служили свидетельства очевидцев ядерных испытаний, опубликованные в

изданиях Службы спецконтроля Министерства обороны Российской федерации и Российского научного центра "Курчатовский институт".

Результаты обследования зон ПЯВ, произведенных Францией на атоллах Моруа и Фангатауфа в Тихом океане, приведены в многотомном отчете комплексной международной экспедиции [106]. Данные о ПЯВ на ядерных полигонах Регган и Экер в пустыне Сахара обобщены в [82]. Наконец, отрывочные сведения о ПЯВ, произведенных на ядерных полигонах Китая, Австралии, Индии и Пакистана, взяты из отдельных публикаций [62] и Интернета [91].

В процессе систематизации и обобщения собранной информации предусматривалось решение трех основных задач:

 определение методики исследований и уточнение характера процессов, возбуждаемых ПЯВ в недрах и других оболочках географической среды;

- анализ опыта промышленного применения ПЯВ;
- оценка вклада ПЯВ в техногенную дестабилизацию земной коры в локальном, региональном и глобальном масштабах, а также в дестабилизацию биосферы с её экосистемами разных уровней.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВАХ И ДРУГИХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА ЗЕМНОМ ШАРЕ

С 1945 по 1992 гг. в 90 районах земного шара произведен 2061 ядерный взрыв, в том числе, 520 в атмосфере, 8— под водой и 1533 — под землей [81, 105, 91]. Ядерные взрывы в атмосфере осуществлялись в основном на малых высотах, не превышающих первые метры, и потому также как ПЯВ, оказали существенное воздействие на недра планеты. Наиболее мощное выделение энергии ядерных взрывов пришлось на 1954 г. и на 1973 г. (рисунок 1).



Количество ядерных взрывов на земном шаре

США	CCCP	Франция	Великоб	р Китай	Индия	Пакистан	Всего	
1033	715	210	45	47	б	5	2061	
215	219							Атмосферные
		50	21	32		_		(приземные
			21	23	0	0	528	и высотные)
			24	24	<i>.</i>	-	1533	
	496	160	24	24	0	5		Подземные
818	420					Год	ы	
1945	1949	1960	1952	1964	1974	1998	Первы	й взрыв
1998	1990	1996	1991	1996	1998		После	цний взрыв

Рисунок 1. Мощность и количество ядерных взрывов, произведенных на земном шаре с 1945 г. по 1998 г.

Ядерные испытания, подавляющая часть которых имела военное назначение, осуществляли шесть стран: США, СССР, Франция, Англия, Китай, Индия, Пакистан. При этом ими были охвачены различные районы земного шара. Можно выделить ченаиболее крупных тыре группы геологотектонических элементов земной коры, в пределах которых проведены ПЯВ: 1) древние платформы -Восточно-Европейская, Сибирская, Китайская, Австралийская, Северо-Американская и Африканская; 2) молодые плиты - Скифская, Туранская и Западно-Сибирская; 3) разновозрастные складчатые области - байкалиды, каледониды и герциниды; 4) подвижный Тихоокеанский пояс.

Со времени создания ядерного оружия, наряду с военным его применением, в США и СССР разрабатывались грандиозные проекты мирного использования ПЯВ (наружного и камуфлетного действия). Реализация этих проектов началась после заключения в 1963 г. Московского Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в трех средах — в атмосфере, космосе и под водой, но была приостановлена в 1996 г после принятия Генеральной Ассамблеей ООН резолюции об открытии для подписания Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.

В США в 1961 - 1973 гг. в соответствии с программой "Плаушер" проведено 27 мирных ПЯВ. Их назначение - создания тепловых энергетических котлов

(проект "Гном"); интенсификации добычи газа ("Газбагги", "Рулисон", "Рио-Бланко", "Минэйт"); экскавации грунтов ("Седан", "Салки", Даб", "Стоддард", "Багги", "Кабриолет"); сооружение полости в соляном куполе "Татум" в штате Миссиссиппи (военные проекты "Сэлмон", "Стерлинг"); производство тяжелых элементов, испытание конструкций ядерных зарядов и др. 23 из 27 мирных ПЯВ проведены на полигоне Невада и носили в основном экспериментальный характер. Остальные четыре ПЯВ произведены в штатах Нью-Мексико и Колорадо. Кроме того, "на дружественных территориях" США планировали использовать ПЯВ для прокладки "дублеров" Суэцкого и Панамского каналов, для строительства морских гаваней у берегов Аляски и Австралии, для создания гидроэлектрического комплекса в Каттарской впадине, действующего за счет переброски вод Средиземного моря, для освоения недр Луны и др. Однако уже к началу 70-х годов стала очевидной экономическая неэффективность и радиационная опасность мирных ПЯВ-технологий. Накопилось много фактов аварийных выбросов радионуклидов при проведении мирных и военных ПЯВ, не удались попытки решения таких хозяйственных задач, как сооружение подземного энергетического котла, повышение газоотдачи битуминозных сланцев на нескольких объектах и др. В связи с этим в США была развернута открытая дискуссия профессионалов, выявившая недостатки программы "Плаушер". Начался ряд соответствующих судебных тяжб и бурный "антиядерный" протест общественности. В результате уже в 1973 г. Правительство США свернуло программу "Плаушер". Возможно, учитывая опыт США, ни Франция, ни Великобритания не развернули свои программы проведения мирных ПЯВ.

В СССР в соответствии с секретной масштабной Государственной программой № 7 "Ядерные взрывы для народного хозяйства" [81, 61] проведено 124 ПЯВ с заложением 135 зарядов. Взрывы (их число по задачам дано далее в скобках) преследовали следующие цели: глубинное сейсмическое зондирование земной коры в России (33) и Казахстане (7); интенсификация добычи нефти газа И на месторождениях Пермской (7) и Тюменской (2) областей, Ставропольского края (1), Якутии (6) и Башкирии (5); создание подземных емкостей различного назначения в Астраханской (15), Оренбургской (3), Тюменской (1) областях, в Якутии (1) и на двух объектах в Казахстане (6 и 22); глушение аварийных газовых фонтанов в Архангельской области (1), Узбекистане (2), Туркмении (1); упреждение горных ударов в угольной шахте "Юнком" на Украине (1); захоронение стоков нефтехимического производства в Башкирии (2); создание искусственных водоемов в Пермской области (1 тройной ПЯВ), Якутии (1), на Семипалатинском полигоне (4) и Мангышлаке (3). В 1988 г., когда Правительство СССР объявило мораторий на ядерные взрывы, выполнение программы было остановлено. Осталась нереализованной часть

проектов по мирным ПЯВ, предназначенных для продолжения глубинного зондирования земной коры, сооружения подземных хранилищ промышленных отходов Стерлитамакского содового завода, вскрышных работ на Удоканском месторождении меди, уничтожения накопленных запасов химического оружия и радиоактивных отходов и некоторых других. Мощность мирных ПЯВ варьировала от 0,01 кт до 140 кт. Всего в период с 1971г. по 1987г. в России на 45 технологических площадках был проведен 81 мирный ПЯВ с использованием 84 зарядов, в Казахстане на 13 площадках - 38 ПЯВ с заложением 46 зарядов, в Украине и в Узбекистане - по 2 ПЯВ, в Туркмении – 1 ПЯВ [61]. В части случаев преследовались не только мирные, но и военные цели, связанные, в частности, с отработкой способов маскировки ядерных испытаний (подобных так называемому эффекту декаплинга). Как следует из рассекреченных документов и публичных признаний специалистов Росатома, двойное назначение имел термоядерный ПЯВ "Кристалл" в Якутии.

При обобщении данных не рассматривались так называемые субкритические ПЯВ, возобновленные на военных полигонах США и России после подписания ДВЗЯИ [88, 97, 99]. Опущен также анализ политических аспектов ДВЗЯИ. Можно отметить только, следуя [56], что США вышли из Договора по противоракетной обороне, Сенат этой страны в 1999 г. не ратифицировал ДВЗЯИ, появились новая доктрина НАТО, предусматривающая применение ядерного оружия первыми и Обзор ядерной политики США в 2002 г.

МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходные постулаты теории ПЯВ

Идея промышленного применения атомных зарядов, по-видимому, впервые высказана в октябре 1941 г. П.Л. Капицой на антифашистском митинге ученых [36]. В США та же идея, высказанная позднее, приписывается математику Дж. Фон Нейману, одному из разработчиков Манхэтеннского проекта в группе Э. Ферми и [86]. Реализация идеи приходится на период холодной войной и неразрывна с гонкой ядерного вооружения. Являясь "дочерним продуктом" науки об атомном оружии, теория промышленных ПЯВ заимствовала три её основных постулата:

- известное уравнение А. Эйншейна E = mc², позволяющее утверждать, что из ничтожного количества аннигилирующего вещества массой m можно получить значительное количество энергии E;
- основные положения теории цепных реакций, сформулированные Н.Н. Семеновым в 1934 г.;
- основные положения физики нейтронов, открытых в 1932 г. и считавшихся неделимыми.

Представление о неделимости нейтрона сыграло наиболее важную роль при создании ядерных взрывных устройств (включая скважинные), конструкции которых различались мощностью заряда, габаритами, способностью выдерживать различные пластовые температуры и давления, ударные перегрузки. Предполагалось, что подрыв такого устройства обеспечивает формирование сферического источника энерговыделения, возбуждающего цепь практически мгновенных процессов (ядерное деление заряда, гидродинамическая, квазистатическая фазы), и последующих более длительных фаз (обрушения свода полости ПЯВ, образования афтершоков и др.) [78, 81, 101, 104]. Утверждалось, что практически все радиоактивные продукты ПЯВ (кроме трития и газообразных радиоактивных изотопов) сосредоточены в той части горных пород, которая подверглась во время ПЯВ испарению и плавлению. Были определены особенности распределения и фракционирования радионуклидов в зонах ПЯВ [52], эмпирические формулы для расчета параметров таких зон [4, 11, 38, 50], способы группирования ПЯВ [61] и т.д. При этом свойства геологической среды учитывались, как правило, в обобщенном виде, что позволяло успешно решать ряд военных задач (определение мощности и радиуса поражающего действия взрыва, сейсмологическая калибровка полигонов ядерных испытаний, оценка суммарных эффектов радиоактивности, наведенной в горных породах и др.). При решении этих задач не было необходимости детально учитывать поведение массива горных пород в ближней окрестности ПЯВ. особенно на больших временах. Разработанная методическая основа была привлечена для программ мирных ПЯВ. С 60-х годов минувшего века укоренялось представление о высокой экономической эффективности и безопасности ПЯВ-технологий [7, 46, 101, 104]. При этом отвергалась противоположная точка зрения исследователей, предупреждавших об опасных последствиях и бесполезности промышленного использования ПЯВ [86, 89, 90, 92, 93, 96].

В наши дни представление о том, что мирные ПЯВ могут служить спасению от экологических бед, продолжают существовать [2, 13, 40, 54, 55, 58]. Наиболее последовательно эту точку зрения отстаивает руководство Минатома России (ныне агентство Росатом), что нашло отражение в [61]. Однако, по признанию самих авторов, эта публикация освещает проблему обеспечения радиационной безопасности лишь при проведении взрывных работ и не касается вопросов оценки отдаленных последствий применения ПЯВ-технологий.

Критика постулатов теории промышленных ПЯВ

Позиция противников возобновления мирных ПЯВ, оформившаяся в последние годы, сводится к тому, что технологии проведения промышленных ПЯВ заимствованы из опыта испытаний ядерного оружия без достаточных на то оснований. Технологии не прошли надежной проверки временем и полностью игнорируют последствия ПЯВ, отдаленные во времени. В подтверждение могут быть приведены две группы данных.

1. За последние 10-15 лет на территории бывшего СССР и США (зачастую независимо от атомных ведомств) обследовано множество зон ПЯВ. Основные результаты сводятся к следующему:

- в окрестностях зон мирных ПЯВ сформировались и продолжают формироваться достаточно обширные очаги (или ореолы) радиоактивного загрязнения недр, земной поверхности и технологического оборудования. Техногенные радионуклиды, выносимые из полостей ПЯВ, распространяются на расстояния, исчисляемые иногда несколькими километрами. Часто очаги имеют мерцающий во времени и пространстве характер. Изменения установлены на месторождениях углеводородов: Осинском в Пермской области [23], Тахта-Кугультинском в Ставропольском крае [10], Карачаганакском в Казахстане [44], алмазодобывающем карьере "Удачный" в Якутии [30], апатитовом месторождении Куэльпор в Мурманской области [45] и ряде других объектов. Эффекты дальней миграции радионуклидов из зон ПЯВ выявлены также на Азгирском [8], Невадском [95] и Семипалатинском [5, 35, 43] ядерных полигонах;
- изменчивость очагов радиоактивного загрязнения в зонах ПЯВ сопровождается отчетливыми возмущениями режима подземных вод, нефтей и газов, а также криолитозоны. Такие примеры имеются на месторождениях Астраханское, Оренбургское, Осинское, Гежское, Средне-Ботобинское месторождения углеводородов, в зоне ПЯВ "Кристалл" в Якутии, Марковское в Иркутской области [57], на нефтяных месторождениях Тюменской области, на Хановейском месторождении пресных вод в Воркутинской области [60]. Показательно множество (не менее 500) аварийных прорывов струй радиоактивных газов в атмосферу, которые возникли вопреки проектным расчетам при проведении камуфлетных ПЯВ в США [102] и в бывшем CCCP [12, 61, 80, 87];
- в окрестностях зон ПЯВ зафиксированы незатухающие с годами геодинамические подвижки недр в виде заметных преобразований рельефа местности, активизации склоновых процессов, микросейсм и землетрясений с магнитудой до 4-5, а также трансформации геофизических полей, включая гравитационное и тепловое [3, 19, 23, 25, 30, 76, 79, 98, 100, 103]. Геодинамическая нестабильность недр в окрестностях зон ПЯВ выявлена и на военных ядерных полигонах [32- 34, 48, 49];
- аномальный характер геологических процессов в зонах ПЯВ ухудшает структуру запасов месторождений полезных ископаемых, ос-

ложняет их разработку, снижает качество добываемой продукции;

• отмечена связь во времени и пространстве с ПЯВ опасных медико-биологических явлений. Это замечено особенно на промыслах углеводородного сырья, где радиоактивное загрязнение в окрестностях зон ПЯВ ассоциируется с другими видами геохимического загрязнения окружающей среды (за счет высокоминерализованных подземных вод и газов, тяжелых металлов, ионов хлора, вредных бактерий и др.). У работников таких промыслов зафиксированы настораживающие признаки поражения иммунной и кроветворной систем, отдельных органов, а также новые заболевания, вызванные неизвестными ранее возбудителями [6, 16, 17, 31]. В окрестностях зон ПЯВ, которые были проведены в соленосных отложениях и способны газировать хлором, фиксируются случаи обесцвечивания растений и насекомых, появление язв на конечностях лошадей и т.п. [63]. Следует признать, что причинная связь этих явлений остается пока дискуссионной.

С появлением перечисленных данных отдельные ученые, непосредственно причастные к ядерным испытаниям, вынуждены были признать, что ПЯВ не смогли "...исключить попадание радиоактивных продуктов в среду обитания как бы глубоко под землей не размещались ядерные заряды..." [3].

2. В литературных источниках характеризуются заметные сдвиги естественного баланса радиоактивных изотопов в геохимическом круговороте Земли, а также особенности техногенной дестабилизации земной коры за счет сочетания ПЯВ с другими видами антропогенных нагрузок. В частности, отмечена "раскачка" основных показателей современной геодинамической активности Земли (скорости вращения, сейсмичности, вулканизма, вариаций гравитационного поля, колебаний уровня Мирового океана и др.). Явление стало особенно заметным со второй половины минувшего века, происходило на фоне неуклонного быстрого роста техногенных нагрузок на недра, синхронного с проведением множества ПЯВ в различных районах земного шара. И хотя синхронность этих явлений не означает их причинную связь, на основании ряда косвенных геологических данных, теоретических расчетов было показано, что техногенное вмешательство в недра оказывает влияет на эндогенную активность планеты. Отсюда вытекает необходимость уточнения задач натурных наблюдений и требований к системе глобального мониторинга состояния земной коры.

Об уточнении понятия ПЯВ

Ниже делается попытка сформулировать расширенное понятие ПЯВ и обратить внимание на нере-

шенные методические вопросы, связанные с этим определением.

ПЯВ – природно-техногенное геологическое явление, вызванное мгновенным выделением ядерной энергии в ограниченном пространстве земной коры, которое возбуждает сложную цепь: а) первичных (собственно взрывных) радиационных, плазменных, физико-механических, термических и химических процессов продолжительностью от долей секунд до нескольких минут; б) вторичных (поствзрывных) релаксационных геолого-геофизических и геохимических процессов длительностью до многих десятилетий и сотен лет.

Прогрессирующее разрушение недр, инициированное ПЯВ, приводит к обособлению нового структурного элемента, развитие которого осложняет естественный ход эволюции ранее сформированных природных тектонических структур земной коры и других оболочек географической сред (рисунок 2).

Недостатки предлагаемого определения ПЯВ усматриваются в двух ключевых пробелах знаний:

1. Несовершенство модели ядерного взрыва и отсутствие достоверных данных о первичных процессах ПЯВ. Как уже отмечено, при описании модели ядерного взрыва нейтрон предполагается неделимой частицей. Развитие современной физики микромира и астрофизики убеждает, что, помимо нейтрона (оказавшегося составным) ядерные реакции и взрывы в природе определяются более обширным спектром элементарных частиц (не менее 300), а главное, принципиально новыми видами взаимодействия между ними. Не исключено, что с учетом достижений ядерной физики сами ПЯВ и их последствия, особенно радиационные, предстанут в новом, возможно, неожиданном свете. Этому могут способствовать следующие обстоятельства:

- с приоткрытием секретной завесы над историей атомных проектов, стали известны существенные расхождения взглядов на физику ядерных взрывов, возникшие уже в 50-х годах прошлого века [14]. Расхождения между теорией детонации и поведением реальных взрывов были подмечены и позднее [84];
- появились первые результаты инвентаризации радионуклидов Невадского испытательного полигона [83], которые позволяют сравнить фактическое распределение радионуклидов ПЯВ с известной теоретической двугорбой кривой такого распределения, приведенной, например, в [104]. Не исключено, что при этом будут выявлены значимые расхождения, изучение которых, вероятно, позволит приблизится к реальной физике ПЯВ, важной для мирных ПЯВ.



Рисунок 2. Длительность стадий и фаз первичных и вторичных процессов, возбуждаемых подземным ядерным взрывом

2. Недостаток знаний о механизмах вторичных релаксационных процессов в недрах, возбуждаемых ПЯВ. Это затрагивает, прежде всего, общие проблемы геомеханики, раскрытые, например, в [71] и, достижения в познании метаморфизма горных пород. С позиций учения о метаморфизме горных пород существующая теория ПЯВ традиционно затрагивала вопросы мгновенных фазовых преврашений в геологической среде под действием ударных волн и сверхвысоких температур. Однако игнорировались последующие медленные фазовые превращения минералов и горных пород, в частности, на сталиях их гидротермальной активности, последующего отжига, возгонки галогенов, ртути, серы и других летучих соединений, взаимодействия с подземными флюидами и т.д.

Таким образом, теория ПЯВ-технологий, возникшая в 60-х годах прошлого века, оказалась несовершенной, что обернулось целым рядом негативных явлений.

Опыт промышленного применения ПЯВтехнологий

Опыт промышленного применения ПЯВтехнологий в бывшем СССР и США характеризуется на примере трех групп объектов: подземные хранилища в соленосных формациях (более подробно), месторождения нефти в карбонатных коллекторах, гидротехнические сооружения.

ПЯВ в соленосных отложениях

В бывшем СССР и США подземные хранилища в соленосных отложениях создавались с помощью

ПЯВ либо в ядрах соляных куполов, либо в полого залегающих пластах каменной соли. Хранилища предназначались для углеводородного сырья, захоронения промышленных стоков, сооружения энергетических котлов, а также для научных и военных экспериментов. Исходным был постулат, что "...каменная соль по причине однородности, низкой проницаемости и повышенной текучести при значительной прочности может заполнять все поствзрывные трещины и разрывы, обеспечивая тем самым устойчивость образовавшихся полостей, а также их герметичность..." [61]. К такому заключению в начале 50-х годов пришла Национальная академия наук США по завершении исследований, проведенных по заданию Комиссии по атомной энергии, с целью определения геологических формаций, наиболее пригодных для захоронения радиоактивных отходов. На деле, однако, надежность соленосных формаций оказалась мнимой. Ложное понимание свойств соленосных отложений базировалось в основном на результатах лабораторных исследований физико-механических свойств образцов каменной соли и не учитывало литологию, гидрогеологию, тектонику, современную геодинамическую активность и ряд других особенностей, присущих реальным массивам соленосных отложений [19]. Под влиянием реальных фактов специалисты Минатома РФ вынуждены были признать, что действительно "массивы каменной соли оказались не столь однородными, как ожидалось" [1, 51, 61]. Тем самым, задним числом было подтверждено, что проектирование ПЯВ в соляных отложениях осуществлено без должной геологической разведки и учета особенностей длительных вторичных релаксационных процессов, возбуждаемых ПЯВ в недрах.

ПЯВ в ядрах соляных куполов

В бывшем СССР ПЯВ проводились в солевом структурном этаже Прикаспийской впадины древней Восточно-Европейской платформы (сложнодислоцированные отложения кунгурского яруса пермской системы). В южном борту этой впадины были созданы хранилища углеводородного сырья над залежами Астраханского, Оренбургского, Совхозного и Карачаганакского нефте-газоконденсатных месторождений (НГКМ). Хранилища располагались на разных глубинах в пределах пологозалегающих пластах карбонатных пород подсолевого структурного этажа. На удалении от бортов Прикаспийской впадины, ближе к её центральной части, ПЯВ произведены на соляном куполе Азгир для физических экспериментов с потоками нейтронов [61]. В США в соляном куполе Татум в штате Миссиссиппи проведены военные ПЯВ "Сэлмон" и "Стерлинг". Соляной купол приурочен к бортовой зоне Мексиканской впадины, которая по своим геологическим особенностям весьма сходна с Прикаспийской впадиной. В ранне-пермское время бортовые зоны Прикаспийской и Мексиканской впадин представляли собой прибрежные части солеродных морских бассейнов, на дне которых местами могли функционировать гидротермальные системы. Поэтому соленосные отложения перемежаются с прослоями терригенных пород, а также с прослоями и метасоматическими прожилками ангидритов, примечательными способностью менять свои физикомеханические свойства при увлажнении. Таким образом, прочность солевого массива оказывается в зависимости не только от механических свойств каменной соли, но и от присутствующих пропластков и прожилков ангидритов. Соленосные отложения включают также множество линз подземных вод и газов, разрушение которых неизбежно привозначительным дит к изменениям физикомеханических свойств массива горных пород и активизации подвижек. В центральных частях обеих впадин солевой структурный этаж имеет повышенную мощность, менее обогащен примесью обломочного материала и представлен в основном каменной солью. Дислоцированные слои солевого структурного этажа в виде множества соляных куполов и гряд прорывают более молодые мезо-кайнозойские отложения надсолевого структурного этажа и служат флюидоупором продуктивных нефте-, газо- и водонасыщенных горизонтов подсолевого структурного этажа. Запечатанные внутри и под соленосной толщей флюидодинамические системы относятся к закрытому типу и практически повсеместно обладают аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД). Подземные воды и газы в этих системах отличаются высоким содержанием сероводорода, содержат местами природный радий, ртуть и ряд других тяжелых металлов в чрезвычайно высокой концентрации, во флюидах этих систем вплоть до глубин с температурой 800°С обитают колонии активных бактерий и микроорганизмов. Поэтому вскрытие бурением продуктивных горизонтов подсолевого структурного этажа, а также зон рапопроявлений с АВПД в солевом и надсолевом структурных этажах чревато аварийными прорывами высоконапорных токсичных струй пластовых вод и газов, активизацией подвижек массива горных пород и рядом других осложнений.

Оренбургское НГКМ (объект "Сапфир"). Оренбургское НГКМ расположено на левом берегу р. Урал и приурочено к одноименному валу широтного простирания. На этой площади расположен ряд ландшафтно-ботанических и гидрологических памятников природы, которые внесены в Зеленую книгу Оренбургской области. Месторождение включает три газоконденсатные залежи с нефтяными оторочками в пластах карбонатных пород подсолевого структурного этажа, которые разделены между собой непроницаемыми экранами (рисунок 3).

Средняя (основная) залежь месторождения расположена на глубине 1300-1800 м и по запасам является крупнейшей в Европейской части России. Внутри залежи выделяется горизонт 16. пластовые воды которого отличаются повышенной концентрацией естественных радионуклидов. Содержание радия варьирует в пределах (10 - 7) - (10 - 9) г/л, что на один - два порядка выше в сравнении с аналогичными промыслами (например, в водах известной Гейдельберской скважины - это (1,74÷1,79)·10⁻ ¹⁰ г/л, в водах промыслов Ухты - 5·10⁻⁹ г/л). В солевом структурном этаже внутри контура месторождения развито 17 мелких соляных куполов и гряд, размытые своды которых залегают под покровом неоген-четвертичных отложений на глубине 100 -500 м. Одна из таких гряд - Дедуровская, вытянута по широте, имеет свод размерами 0,4×4 км (по стратоизогипсе - 200 м). В ядре этой гряды 22.10.1971 г. в скважине Е-2 на глубине 1142 м и 30.09.1973 г. в скважине Е-3 на глубине 1146 м произведены ПЯВ мощностью 15 и 10 кт, соответственно. В плане ПЯВ располагаются вдоль меридиана на расстоянии 2,2 км друг от друга и в 10-12 км от населенных пунктов Дедуровка, Никольское, Нижняя Павловка. Кровля подсолевого и солевого структурных этажей залегают здесь на глубинах около 1200 и 375 м, соответственно. Таким образом, ПЯВ произведены в относительной близости от продуктивных горизонтов подсолевого структурного этажа, множества водонапорных горизонтов мезозоя (примыкающих к бортам Дедуровского купола), а также покровного комплекса кайнозойских отложений.



Рисунок 3. Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение. Геологический разрез и схема обводнения в зоне ПЯВ (построены с использованием материалов треста Союзгазгеофиза, Уральского отделения ВНИИГАЗ, Союзгазгеофизика, ВНИИПИПТ и др.)

В 1974 г. Оренбургское НГКМ вступило в стадию промышленной разработки, на его базе поочередно в 1974, 1975 и 1979 гг., введены в эксплуатацию газохимический комплекс (ГХК) с газоперерабатывающим (ОГПЗ) и гелиевым заводами. С 1974 г., вопреки проектным расчетам, началось прогрессирующее аномальное обводнение скважин (содержание воды в продукции достигает 200 г/м³ при проектном содержании - 15 г/м³). Обводнение сопровождается неуклонным падением пластового давления (рисунок 4), в настоящее время оно недостаточно для выноса жидкости, накапливаемой на забое скважин.



Скважины: 1 – эксплуатационные; 2 - боевые

Рисунок 4. Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение. Обводнение в зоне ПЯВ

С 1985 г., всего через 11 лет после ввода в промышленную эксплуатацию, Оренбургское НГКМ вошло в стадию снижения добычи углеводородного сырья, несмотря на его огромные запасы. Таким образом, фактические показатели разработки Оренбургского НГКМ существенно отличаются от проектных в худшую сторону. Повлияли ли на это ПЯВ-технологии? Для ответа на вопрос прослежено изменение состояния Оренбургского НГКМ до и после ПЯВ. В зависимости от техногенных нагрузок на его недра выделено три периода: 1 - с 1952 г. по 25.06.1970 г.; 2 - со второй половины 1970 г. по 1977 г.; 3 - после 1977 г.

Первый период (1952 г. - 25.06.1970 г.) - поисково-разведочный этап геологических исследований, характеризующий исходное, близкое к естественному, состояние недр месторождения. Исследованиями показано, что месторождение относится к пластовому типу, характеризуется застойным режимом подземных вод, отсутствием гидродинамической связи между отдельными залежами месторождения, имеет относительно простые горно-геологические условия, типичные для древних платформ. Бурение и пробная эксплуатация 86 скважин подтвердили отсутствие устойчивых неконтролируемых межпластовых перетоков, резких перепадов пластового давления, разрушения стенок скважин и других осложнений. Все скважины не нужлались в обсалке ввилу высокой прочности известняков подсолевого структурного этажа. Только вблизи размытой кровли карбонатных пород подсолевого структурного этажа были выявлены потенциально водоопасные карстовые каверны. Однако почти все эти притоки фиксировались ниже газоводяного контакта (ГВК), имевшего абсолютную отметку 1750 м. Природа водопроявлений, связанная с древним карстом, была очевидной, их обнаружение и упреждение не представляло принципиальных трудностей. Учитывая, что выявленная особенность не могла привести к тотальному обводнению месторождения, особенно на начальной стадии его разработки, была принята простая экономичная схема разработки Оренбургского НГКМ - по редкой квадратной сети скважин без обсадки, по крайней мере, в продуктивной части разреза.

Второй период (вторая половина 1970 г. – 1977 г.). В 1970 г. месторождение испытало сейсмическое воздействие ПЯВ, произведенного на соседнем месторождении Совхозное. В 1971 – 1973 г. на Оренбургском НГКМ произведено два ПЯВ в скважинах Е-2 (1971 г.), Е-3 (1973 г.), а в промежутке между ними, в 1972 г., месторождение оказалось в зоне сейсмического воздействия двух дальних ПЯВ из серии "Регион". С 1974 г. началась промышленная эксплуатация Оренбургского НГКМ, что сопровождалось обводнением месторождения, которое представляется аномальным по двум основным причинам. Во-первых, значительное обводнение скважин возникло на начальной, а на конечной стадии эксплуатации месторождения, что присуще обычно стареющим промыслам. Во-вторых, обводнение зародилось в присводовой части месторождения, а не по периферии, вблизи ГВК (газоводяного контакта) и ВНК (водонефтяного контакта), что типично для многолетнего срабатывания залежей пластового типа. Весьма неожиданным явилось снижение прочности массива горных пород, которое заставило отказаться от бурения скважин с открытым забоем, потребовало обсадки скважин, чем повысило стоимость освоения месторождения. Наконец, весьма быстро происходило срабатывание пластовых давлений газа, который зачастую шел в обход добывающих скважин (по новообразованным трещинам), что заметно снизило ресурсный потенциал месторождения. Характерно, что интенсивность обводнения Оренбургского НГКМ изменялась во времени в виде двух импульсов: первого, возникшего в 1974 и затухающего примерно до 1977 г., второго, возникшего в 1983 г. и, вероятно, не угасшего в полной мере до настоящего времени. Причина второго неожиданного обводнения Оренбургского НГКМ и связанных с ним явлений состоит в том, что заряды ПЯВ, опрометчиво заложенные вблизи кровли подсолевого структурного этажа, разрушили продуктивную часть разреза, уничтожили гидродинамическую связь изначально разобщенных пластовых залежей газоконденсата. Вследствие этого присводовая часть первично пластового месторождения была преобразована в единую массивную залежь, которая подверглась обводнению, в результате которого возникли предпосылки для прорыва высоконапорных пластовых вод и газов из подсолевого структурного этажа в вышележащие горизонты.

Третий период (после 1977 г.). Поток флюидов, восходящий к земной поверхности стал вовлекать поначалу подземные воды горизонта 16, насыщенные природным радием, а затем приблизился к полостям, образованным ПЯВ, и создал угрозу их промывки. Позднее этот поток стал подпирать приповерхностные водоносные горизонты и, начиная примерно со второй половины 70-х годов, усугубил подтопление земель в пойме р. Урал (рисунок 5).



1 - место проведения ПЯВ на месторождении и в его окрестности; 2 - шкала уровня воды от поверхности земли, м

Рисунок 5. Изменение уровня грунтовых вод по наблюдениям гидрогеологического поста № 7 (в 10 км севернее г. Оренбурга)

Подтопление, происходившее в импульсном режиме, создало предпосылки для загрязнения почв и ландшафтов совокупностью техногенных и природных радионуклидов в сочетании с выносом из недр сероводорода, тяжелых металлов, ионов хлора и прочих агентов геохимического загрязнения. На характер процессов могло повлиять то, что в 1983 - 1984 гг. Оренбургское НГКМ оказалось в зоне сейсмического воздействия шести ПЯВ по 15 кт каждый, проведенных на соседнем Карачаганакском НГКМ (объект "Лира"). Эти ПЯВ осуществлялись в виде двух залповых серий, каждая из которых включала подрыв трех зарядов. По-видимому, не случайно вслед за ПЯВ на Карачаганакском НГКМ, примерно с 1985 г., на Оренбургском промысле обстановка усложнилась. Здесь, несмотря на ввод 20 - 25 скважин в год, вопреки проектным расчетам, усилилось снижение добычи углеводородного сырья; усилилось обводнение месторождения и еще быстрее стали падать пластовые давления. Причина очередного импульса изменений может усматриваться в том, что карбонатные коллекторы (уже будучи раздробленными) вновь испытали вибрационные нагрузки, за счет которых проницаемость продуктивной части разреза возросла, дренирование газа в обход добывающих скважин усилилось, соответственно усилилось загрязнение атмосферы в районе месторождения. Из-за этого, как никогда прежде, газирующие сероводородом скважины необходимо было располагать на почтительном расстоянии от населенных пунктов. Для снижения загрязнений была применена технология кустового бурения скважин. Однако и эта мера, в конечном счете, не смогла снизить вредных выбросов в атмосферу: на Оренбургский ГПЗ, особенно в последние годы, стал поступать агрессивный сероводородсодержащий газ с относительной влажностью, близкой к 100% [66].

Представлялось важным оценить динамику изменения радиационной обстановки на промысле. Однако такие представительные данные отсутствуют, поскольку выполнены лишь эпизодические наблюдения вблизи боевых скважин, которые не согласованы с результатами скважинных измерений и не подкреплены данными мониторинга состояния недр. Согласно [74] мощность дозы гамма-излучения загрязненного грунта изменяется от 13 до 2300 мкР/час, объемная (удельная) активность грунта - 10 - 100 Бк/г, остаточное радиоактивное загрязнение внутренних поверхностей трубопроводов - от 500 до 2000 бета-частиц (см²/мин). По данным 1997 г. здесь было захоронено 25000 м³ загрязненного грунта [75]. Данные, полученные Советом Безопасности РФ, показали, что радиоактивная загрязненность в районе площадок "Сапфир" Е-2 и Е-3 не остается постоянной во времени и порой достигает значительных величин (таблица).

Таблица. Радиоактивная загрязненность объектов Оренбургского НГКМ в зоне подземных ядерных взрывов [70]

Год	Площадка	Суммарная бет	а-активность проб, Бк/кг	Мощность дозы гамма-излучения, мкР/х	
		почва	растительность		
1988	E-2	300-3000	420-2100	20-300	
1989		300-6700	170-530	20-3000	
1991		630-1300	240-390	20-75	
1988	E-3	280-6900	600-2100	20-3000	
1989		360-8900	720-1900	20-3000	
1991		890-1700	190-400	20-400	

Таким образом, произведенные ПЯВ существенно изменили состояние недр и геологические процессы в районе Оренбургского НГКМ, создали предпосылки для широкомасштабного радиоактивного загрязнения недр и земной поверхности промысла техногенными и природными радионуклидами, существенно снизили ресурсный потенциал месторождения, осложнили его разработку, способствовали подтоплению земель, ухудшению плодородия почв и загрязнению атмосферы. В обозримой перспективе это может быть чревато усугублением социально-экономических и медико-биологических проблем региона.

Следует отметить еще два просчета, которые обусловили ошибки в управлении не только Оренбургским, но и другими сходными промыслами:

1. Геологи, столкнувшиеся в 1974 г с обводнением Оренбургского НГКМ и не имевшие информации о проводимых промышленных ПЯВ, отошли от достоверных результатов многолетних исследований поисково-разведочного этапа и в ходе развернувшейся дискуссии на страницах журнала «Геология нефти и газа» сформулировали ложные заключения о типе коллекторов и режиме флюидодинамических систем месторождения (гипотеза о природных "суперколлекторах" в разрезе Оренбургского НГКМ [41]).

2. Специалисты Росатома не смогли оценить реальную ситуацию на месторождении и все еще убеждены в том, что применение здесь ПЯВ позволило "...предотвратить безвозвратные потери свыше 2 млн.т. газового конденсата и получить экономический эффект в сумме 37 млн. рублей (в ценах 1984 г.), что свидетельствует об экономической эффективности в целом..." [65].

Важно, однако, чтобы накопившиеся ошибки не помешали устранению опасных последствий ПЯВ при разработке Оренбургского НГКМ.

Астраханское НГКМ (объект "Вега"). В 1980 -1984 г.г. над залежами месторождения, на глубине около 1000 м в пределах коленообразного изгиба погребенной Аксарайско-Утигенской соляной гряды и двух обособленных соляных куполов, произведено 15 ПЯВ для создания подземных хранилищ газоконденсата. В технологической схеме Астраханского газохимического комплекса подземные хранилища должны были служить связующим элементом между НГКМ и газоперерабатывающим заводом. Проектом была определена длительность непрерывной эксплуатации первой очереди комплекса и соответственно подземных хранилищ в течение не менее 30 лет. Однако в 1986 г. все полости ПЯВ в Аксарайско-Уйтигенской гряде сократились в объеме и стали обводняться. Вслед за этим радиоактивный рассол, насыщенный продуктами ПЯВ, под большим давлением стал подниматься наверх и изливаться наружу. Процесс не завершился до настоящего времени и, судя по ряду признаков, не достиг своего максимума. Возникшая ситуация нарушила надежность технологической схемы Астраханского ГХК, снизила ресурсный потенциал и осложнила разработку месторождения, поскольку полости ПЯВ, превратившись в неконтролируемые захоронения радиоактивных отходов, обусловили радиоактивное загрязнение недр и других природных комплексов, технологического оборудования, добываемой продукции, а также породили опасные подвижки массива горных пород. Аварийную ситуацию может усугубить подтопление земель, связанное с изменением уровня Каспия. При воссоединении фронта этого подтопления с радиоактивными рассолами, идущими снизу, со стороны полостей ПЯВ, радионуклиды могут попасть в грунтовые воды в р. Волга и Каспий.

Поиск оптимальных путей приспособления к создавшейся ситуации по ряду причин затруднен, в том числе ввиду разногласий среди специалистов в оценке механизмов подвижек недр, источников обводнения полостей ПЯВ, дальности миграции радионуклидов и т.д. Так, в [18] путем теоретических расчетов показано, что подвижки массива горных пород в зонах ПЯВ могут привести к образованию провалов в рельефе в виде системы линейных грабенов шириной до 50 м и амплитудой до 0,7 м. Высказано опасение, что вследствие этого, радионуклиды могут распространяться из зон ПЯВ неконтролируемым образом на обширной территории. В [53] опубликованы результаты повторных нивелировок, которые показали, что за период с 1994 г. по 1999 г. осадка рельефа в районе Астраханского НГКМ составила около 32 мм/год, местами - 45 мм/год и в обозримой перспективе может достигнуть 70 - 150 мм. Неплохая сходимость теоретических оценок с данными натурных наблюдений, казалось бы, должна привлечь внимание специалистов из Астрахани, но в работе о геодинамике Астраханского ГКМ [53], подготовленной ими, ПЯВ не упомянуты. Причины просадок рельефа авторы связывают исключительно со снижением пластового давления в подсолевом структурном этаже в процессе эксплуатации месторождения.

Проблематичен вопрос о непосредственном воздействии ударных волн ПЯВ на подсолевой структурный этаж и на режим срабатывания высоконапорных флюидов Астраханского НГКМ, как это имело место на Оренбургском НГКМ. На Астраханском НГКМ подсолевой структурный этаж залегает на относительно большой глубине (4100 м). Поэтому, в отличие от Оренбургского НГКМ. ПЯВ могли не сформировать сквозные каналы высоконапорных флюидов, выходящие к дневной поверхности. На Астраханском НГКМ эти флюиды, могли "застрять" в солевом структурном этаже на глубине около 3500 м, где отмечено множество высоконапорных рапопроявлений, осложняющих проходку скважин. Вместе с тем, Астраханское НГКМ отличается рекордными числом, мощностью и залповым характером проведенных здесь ПЯВ. Поэтому область дробления горных пород в зонах ПЯВ Астраханского НГКМ может быть более обширной, подвижной и прогретой. В силу незавершенности релаксационных процессов в виде охрупчивания, обводнения, дилатансии и ползучести горных пород рассматриваемая область может находиться в настоящее время в состоянии гравитационной неустойчивости и вести себя подобно диапиру с ядром размерами около 8 х 15 км. Своеобразие геодинамическую активности такой области исследователи пытаются объяснить механизмами всплытия [59] и схлопывания полостей ПЯВ [18].

В связи с рассматриваемыми вопросами, представляют интерес результаты изучения поведения кристаллов каменной соли в условиях обводнения и радиоактивного облучения, которое проведено в связи с оценкой аварийных ситуаций в зонах ПЯВ Астраханского и Оренбургского НГКМ лабораторными методами [77]. Из проведенных опытов следует, что названные виды воздействия должны приводить к резкой активизации подвижек массива горных пород вблизи полостей ПЯВ.

Таким образом, в целом применение ПЯВтехнологий на Астраханском НГКМ оказалось опасным и неэффективным.

Соляной купол Татум в США. Сведения о геологическом строении соляного купола Татум приведены в [85, 108]. Купол находится в четырех милях южнее местечка Бакстервилль в штате Миссиссиппи и приурочен к области прибрежных равнин Мексиканского залива, выстилаемой покровом мезокайнозойских отложений синеклизы Голф, мощностью от 260 до 520 м. Отложения несогласно перекрывают палеозойские складчатые образования и прорваны множеством соляных куполов, образовавшихся здесь после герцинского орогенеза. В плане купол имеет округлую форму диаметром около 1520 м. В вертикальном сечении - это неправильный цилиндрический шток, расширяющийся в приповерхностной части и имеющий высоту более 1000 м. Состав соленосной толщи неоднороден. Помимо галита толща содержит единичные прослои глин, а также множество прослоев и жил ангидрита и гипса. По крайней мере, до глубин около 700 м соленосная толща включает множество пустот и отличается непостоянством температурного режима. Замеры 17 мая и 15 июня 1961 г на глубинах от 400 до 830 м показали, что в первом случае максимальная температура на забое скважины составляла 300°С, а во втором - 520°С (ко времени второго замера скважина была заполнена солевым гелем). Кровля соли в своде купола Татум залегает на глубине 445 - 490 м и перекрыта типичной для соляных куполов каменной шляпой (кепрок) мощностью от 160 до 205 м. Кепрок сложен гипсами, ангидритами и известняками, разбит множеством трещин, закарстован и содержит подземные воды, насыщенные стронцием. Поверхность каменной шляпы образует основание кольцевой мульды, которая выстилается

слоями миоцена (мощностью 183 м) и плиоцена (45 м) и имеет амплитуду около 120 м. Следы размыва слоев плиоцена (формация Ситронелле) указывают на то, что купол Татум испытывает новейшие восходящие движения. В обрамлении купола выделена серия водоносных горизонтов, пять из которых приурочены к песчаникам миоцена, а три – к известнякам миоцена, олигоцена и эоцена. До глубины около 600 м горизонты насыщены пресными водами и служат источником водоснабжения городов Пурвис и Хаттиесбург. Установлено, что подземные воды кепрока имеют гидравлическую связь с хорошо проницаемыми известняками миоцена и олигоцена.

2 октября 1964 г. и 3 декабря 1966 г. в рамках военной программы "Vela Uniform" в соляном куполе Татум произведены два ПЯВ мощностью 5,3 и 0,38 кт, именуемые "Сэлмон" и "Стерлинг", соответственно [105]. Цель испытаний состояла в изучении прохождения сейсмических волн, порождаемых ПЯВ. ПЯВ "Сэлмон" создал сферическую полость радиусом 17,4±0,6 м. Внедрившийся по трещинам застывший радиоактивный расплав зафиксирован на расстоянии 37 м от точки взрыва, высокая радиоактивность отмечена на удалении 64 м от этой точки. Зона горных пород, раздробленных вокруг полости ПЯВ, наблюдалась на расстоянии от 40 м до 50 м ниже точки заложения ядерного заряда. Каменная соль в окрестности полости ПЯВ загрязнена ядерными продуктами, но на удалении 85-115 м от точки взрыва соль находится в "предвзрывном" состоянии и поэтому ПЯВ оказался в то время безопасным. Детальные данные о результатах последующих обследований в литературе не найдено, хотя известно, что Агентство по охране окружающей среды США постоянно проводит мониторинг радиационной обстановки на куполе Татум и в его окрестности [107].

Соляной купол Татум расположен в относительной близости от Нью-Мадридской сейсмической зоны, которая простирается вдоль долины р. Миссиссиппи и приурочена к погребенному рифту Рилфут. В этой зоне вблизи г. Нью-Мадрид в 1811 г. и в 1812 г. произошло два катастрофических землетрясения, которые привели к смещению русла реки Миссиссиппи и образованию озера Рилфут. В течение последующего длительного периода времени значительных подвижек земной коры здесь не наблюдалось, но в последние десятилетия отмечена активизация Нью-Мадридской сейсмической зоны в виде множества землетрясений с преобладающей магнитудой 6-7. Причины такой активизации геодинамических подвижек во многом остаются загадочными. Для изучения этого явления, начиная с 1980-х гг. Геологическая служба США подключила ряд научных и производственных учреждений. При просмотре каталога землетрясений NEIC (National Event Information Center - каталог Геологической службы США) установлено, что за период с 1974 г. по 2003 г. сейсмичность Нью-Мадридской зоны распространилась в основном в юго-западном направлении и, кроме того, стала проявляться в непосредственной близости от соляного купола Татум. В районе купола зарегистрировано девять землетрясений с магнитудами от 3 до 4. Гипоцентры землетрясений располагались на глубинах от 5 до 10 км. Четыре таких землетрясения приходятся на 1997 г. Из приводимой информации может следовать, что ПЯВ "Сэлмон" и "Стерлинг", подобно объекту "Вега", могли активизировать геодинамические подвижки и сейсмичность недр в окрестностях соляного купола Татум и Нью-Мадридской зоны.

ПЯВ в пологих пластах соленосных отложений

В бывшем СССР на Средне-Ботуобинском НГКМ в Якутии, а в США в штате Нью-Мексико вблизи г. Карлсбад (ПЯВ "Гном") произведены ПЯВ в пологих пластах соленосных отложений.

Средне-Ботуобинское НГКМ приурочено к Непско-Ботуобинской антеклизе древней Сибирской платформы. Оно представляет собой совокупность резервуаров пластового и массивного типов в терригенно- и галогенно-карбонатных отложениях вендакембрия, которые смяты в пологую брахиантиклиналь субмеридионального простирания, перекрытую с угловым несогласием терригенными породами нижней юры, прорваны траппами и раздроблены продольными и поперечными сбросами на ряд блоков, испытавших активизацию подвижек в новейшее время. Мощность осадочного чехла составляет 1910 - 2060 м (включая криолитозону мощностью 330-350 м). В подсолевом, солевом и надсолевом структурных этажах осадочного чехла месторождения запечатаны разнородные флюидодинамические системы, обладающие своеобразным неустановившимся режимом, что повлияло на выбор технологии разработки залежей углеводородов. Эти залежи включают литологически и тектонически экранированные ловушки в терригенных коллекторах в основании венда на глубинах 2030 м и 1980 м (улаханский и ботуобинский горизонты, соответственно), а также в карбонатных коллекторах алданского яруса на глубине около 1430 - 1500 м (осинский горизонт). Средне-Ботуобинское НГКМ обладает также значительными запасами гелия.

С 1976 г. по 1987 г. на месторождении произведено шесть ПЯВ мощностью по 15 кт на глубинах около 1500 м для интенсификации притоков нефти из карбонатных пород осинского горизонта и один ПЯВ мощностью 3,3 кт на глубине 815 м для сооружения хранилища углеводородного сырья в пласте каменной соли. Сочетание двух ПЯВ-технологий на одном месторождении является уникальным: на других объектах как в бывшем СССР, так и в США технологии опробовались порознь.

Опытно-промышленная эксплуатация месторождения началась в 1984 г. и до недавнего времени велась единичными скважинами в щадящем режиме. Обследование зон ПЯВ Средне-Ботуобинского НГКМ, проведенное с 1977 г. по 1990 г. специали-ИБФ ΡФ ВНИПИПТ, стами M3 И ВНИИГеоинформсистем, выявило утечки и залповые выбросы техногенных радионуклидов по стволам скважин, резкое увеличение в 1988 - 1990 гг. потоков радона в зонах ПЯВ (до 50 раз), рост числа пунктов прорыва α-активных аэрозолей, чрезвычайно высокие концентрации трития в пластовых водах (в 107 раз - скв 58 и 68), газоконденсате (в 105 раз) и речной воде (в 737 раз).

Полости ПЯВ сосредоточены в своде Средне-Ботуобинского НГКМ в пределах небольшого пространства на двух высотных уровнях, вблизи водонефтяных контактов и разломов. Проведенные ПЯВ сформировали семь кольцевых структур, местами пересекающихся между собой и осложнивших строение антиклинали. Современная геодинамическая активность структур проявляется в аномальных вариациях гравитационного и теплового поля, в зарождении очага повышенной концентрации микросейсм, в усилении дегазации недр, существенном преобразовании рельефа местности и др. В 1998-2002 гг. проведен радиохимический анализ проб воздуха, нефтей, природных поверхностных вод. грунтов и разливов битума. Установлено, что в районе Средне-Ботуобинского НГКМ практически во всех видах почв и пород присутствуют естественные долгоживущие радионуклиды ²³⁸U и ²³²Th, являющиеся родоначальниками естественных радиоактивных рядов, включающих ²²²Rn и ²²⁰Rn, соответственно. Наиболее интенсивная диффузия ²²²Rn и ²²⁰Rn зафиксирована над полостями ПЯВ в окрестностях скважин 42, 30 и 56. Здесь выявлены также участки локального загрязнения грунтов и биоты с высокими концентрациями техногенных радионуклидов ¹³⁷Сs (до 55160 и 450 Бк/кг, соответственно) и ⁴⁰К (до 675 и 826 Бк/кг, соответственно).

По суммарному содержанию α- и β-излучателей в пробах газоконденсата намечается обособление трех участков промысла: северный (260 - 400 Бк/кг; скв. 27), юго-восточный (670 - 800 Бк/кг; скв. 52, 72, 73) и центральный. гле сконцентрировано большинство зон ПЯВ (4380 Бк/кг; скв. 56; окрестности скв. 58 и 68; 20 пунктов прорыва а-активных аэрозолей, обследованные специалистами ВНИИГеоинформсистем). Установлено, что полости ПЯВ негерметичны. Так, например, полость ПЯВ в скважине 66 имеет гидравлическую связь со скважиной 56, расположенной на удалении 60 м, о чем свидетельствует наличие техногенных радионуклидов трития и ¹³⁷Cs в пробах нефти из скважины 56. Содержание трития в 1999 г. и в 2000 г. в скважине 56 составляло в легкокипящих фракциях нефти (85 -950°С) 96 и 87 Бк/мл, соответственно, а в труднокипящих фракциях нефти (95 - 980°С) - 38 и 51 Бк/мл, соответственно; содержание ¹³⁷Сѕ в те же годы составляло 0,3 Бк/л. Полость ПЯВ в скважине 47 имеет гидравлическую связь со скважиной 55, расположенной на удалении 120 м, о чем свидетельствуют значительные вариации соотношения торона и радона в аэрозольных пробах, а также загрязнение местности ¹³⁷Cs. В большинстве проб нефти ботуобинского горизонта, отобранных в 2000 г., содержание техногенных радионуклидов, являющихся γ излучателями (²⁴¹Am, ^{134,137}Cs, ⁶⁰Co и др.), оказалось ниже минимально определяемой активности. Отсюда можно заключить, что полости ПЯВ пока не оказывают опасного радиоактивного воздействия на залегающий под ними ботуобинский горизонт, эксплуатируемый в настоящее время в режиме естественного истощения. Несмотря на это, сложившаяся ситуация не может считаться устойчивой по трем основным причинам [29]:

- Средне-Ботуобинское НГКМ характеризуется относительно повышенной современной геодинамической активностью недр (данные рекогносцировочных телесейсмических наблюдений, показатели динамики опытнопромышленной эксплуатации месторождения, новообразованные формы рельефа вблизи зон ПЯВ, диффузия изотопов радона и торона);
- Ботубинский горизонт в последние годы стал испытывать интенсивный прогрев, хотя стволы скважин, пересекающие криолитозону, должны, напротив, охлаждать этот и более глубокие горизонты;
- Средне-Ботуобинское НГКМ отличается нисходящим движением подземных вод и разнонаправленными градиентами пластовых давлений, что заставляет искать причины, определяющие давление в ботуобинском горизонте.

Можно предположить, что на Средне-Ботуобинском НГКМ, подобно Оренбургскому НГКМ, под полостями ПЯВ сформировалась область дробления горных пород, охватывающая не только осинский, но и в более глубокиие горизонты. В силу низкой теплопроводности горных пород область дробления все еще сохраняет тепло ПЯВ, чем созданы предпосылки для дренирования скопившихся подземных вод книзу, а также прогрева ботуобинского нефтеносного горизонта. Если сделанное предположение верно, то следует ожидать обводнения (что ухудшит качество добываемой нефти) и загрязнения ботуобинского горизонта радионуклидами, поступающими из полостей ПЯВ. Последнее наиболее важно. То есть, риск формирования в обозримой перспективе обширного ореола радиоактивного загрязнения недр и дневной поверхности, а также снижения ресурсного потенциала месторождения остается весьма значительным. В этом убеждает опыт применения ПЯВ в сходных условиях на Осинском, Гежском, Астраханском месторождениях и других объектах. В настоящее время на Средне-Ботуобинском промысле в непосредственной близости от зон ПЯВ ведется подготовка

куста скважин к принудительному заводнению ботуобинского нефтяного пласта. Кроме того, специалисты Росатома неоднократно пытаются реализовать проект захоронения в полость ПЯВ (скважина 47) промстоков нефтеперерабатывающего завода, сооружаемого на промысле вблизи пос. Таас-Юрях.

Таким образом, технологическая схема разработки Средне-Ботуобинского НГКМ до настоящего времени не пв достаточной мере учитывает особенности поведения недр в зонах ПЯВ, что чревато опасными явлениями. Возможно, первым предупреждением этого явилась недавняя авария на скважине 79 Средне-Ботуобинского НГКМ, расположенной в непосредственной близости от полости ПЯВ в соленосных отложениях, причины которой изучаются.

ПЯВ "Гном" проведен 10 декабря 1961 г. в штате Нью-Мексико (юг США, неподалеку от г. Карлсбад) в Делаверском осадочном бассейне (юго-западный угол древней Северо-Американской платформы) на глубине 367 м в пласте каменной соли пермского возраста (формация Саладо). ПЯВ имел мощность 3,1 кт, преследовал ряд научных, военных и промышленных целей, важнейшая среди которых - создание энергетического подземного котла с высоким давлением пара, способного приводить в движение турбогенератор. В перспективе работу подземного котла намечалось совместить с функционированием атомного реактора (бридера), для чего к точке заложения ядерного заряда был проложен горизонтальный штрек, предназначенный для улавливания пучка нейтронов и их адсорбции с помощью двух специальных устройств. Спустя секунды после взрыва вокруг боевой скважины возникли фонтанчики подземных вод, а через семь минут на высоту свыше 70 м поднялась струя соленых вод, пара и обломков горных пород, насыщенная радиоактивными продуктами ПЯВ. Мощное фонтанирование продолжалось около получаса и затем несколько ослабло. Гамма-активность возникшего радиоактивного облака достигала 1400 мР/ч, облако распространилось на расстояние свыше 5,6 км к западу и накрыло автотрассы (31 и 128). Позже полость ПЯВ "Гном" заполнили подземные воды. В марте 1971 г. Комиссия по атомной энергии США получила предложение осуществить еще один аналогичный проект, который не был поддержан.

В начале 70-х годов вблизи полости ПЯВ "Гном", несколько ниже и в стороне от неё (в том же пласте каменной соли формации Саладо), Департамент энергии США наметил сооружение подземного хранилища радиоактивных отходов. Место для хранилища, именуемого Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), после перебора нескольких вариантов, было определено в 1975 г. и затем, после длительных согласований, в 1982 г. были начаты горные работы, В 1998 г. в хранилище со всех концов США стали поступать радиоактивные отходы. Ознакомление с собранными данными показывает, что надежность WIPP представляется весьма сомнительной по трем основным причинам:

1. В районе, начиная с двадцатых годов прошлого столетия, ведется промышленная добыча нефти и газа глубокими скважинами из подсолевых отложений на глубинах 2100 - 2500 м (песчаники формации Гваделупиан) и 3300 м (формация Бон Спринг). По состоянию на 1986 г. в радиусе 16 км вокруг полости ПЯВ "Гном" и WIPP функционировало не менее 58 добывающих скважин, соединенных между собой разветвленной сетью нефте- и газопроводов. Кроме того, в относительной близости от полости ПЯВ "Гном" и WIPP из той же соленосной толщи издавна ведется добыча калийных солей. Поэтому ПЯВ "Гном" явился дополнительным фактором техногенной дестабилизации массива горных пород.

2. Как следует из сейсмологических каталогов, с 1855 г. до 1931 г. ближайшие к месту заложения WIPP землетрясения фиксировались на удалении более 400 км, в основном в пределах подвижного Тихоокеанского пояса и горно-складчатых сооружений Кордильер. Участок древней Северо-Американской платформы сохранял тогда свою естественную стабильность. С 1931г. по 1961 г., когда активизировалась добыча углеводородов, землетрясения стали регистрироваться уже на удалении 223-121 км - техногенная дестабилизация охватила край древней платформы в месте её сочленения с подвижными горно-складчатыми сооружениями Кордильер. После проведения в 1961 г. ПЯВ "Гном" эпицентры землетрясений стали регистрироваться зачастую на удалении всего 11 - 13 км от WIPP - непосредственно в теле древней платформы. При этом заметно возросла частота проявлений сейсмичности.

3. Активизация подвижек недр в окрестностях WIPP обусловила возмущения режима подземных вод, сосредоточенных, в частности, в нескольких водоносных горизонтах над полостью ПЯВ "Гном". Это проявилось, с одной стороны, в нарушениях естественного сезонного характера колебаний уровня подземных вод, регистрируемого в наблюдательных гидрогеологических скважинах, а с другой стороны, - в признаках дренирования вод в сторону полости ПЯВ "Гном" и WIPP. Судя по данным изотопного анализа подземных вод, полученных в лаборатории Сандиа, фронт просачивания подземных вод (вероятно, в диффузной форме) находится в относительной близости от кровли WIPP. Обширная и постоянно подновляемая зона трещин, развитых в обрамлении полости ПЯВ "Гном", способствует дренированию вод, что в обозримой перспективе может привести к затоплению расположенного ниже WIPP. Следует ожидать, что циркулирующие сложным образом нисходящие и восходящие потоки подземных вод и газов могут промывать радионуклиды из контейнеров WIPP и полости ПЯВ "Гном".

Таким образом, в перспективе здесь может возникнуть обширный и весьма мощный очаг радиоактивного загрязнения недр. Сценарий развития загрязнения трудно предсказать в деталях, но радиационная его опасность представляется несомненной.

ПЯВ для интенсификации притоков нефти и газа

Опыт интенсификации притоков нефти из карбонатных коллекторов с помощью ПЯВ кратко характеризуется на примерах Осинского и Гежского месторождений в Пермской области и отражен в [22, 23, 94, 103]. Отмечены также интересные в методическом отношении особенности ПЯВ на газовом месторождении Тахта-Кугульта в Ставропольском крае. Поучительный опыт применения аналогичных ПЯВ в США не рассматривается, он является предметом отдельной статьи.

Осинское нефтяное месторождение. 02.09.1969 г. и 08.09.1969 г. на месторождении произведено два ПЯВ мощностью по 7,6 кт. Заряды были размещены в водонасыщенной части разреза в скважинах 1001 (на глубине 1212 м) и 1002 (на глубине 1208 м), что на 53 м и 76 м ниже водонефтяного контакта, соответственно. К моменту проведения ПЯВ фонтанный период эксплуатации месторождения практически закончился, пластовое давление быстро падало и сдерживалось внутриконтурной закачкой воды. Однако, эта закачка, а также солянокислотная обработка скважин в непосредственной близости от полостей ПЯВ обусловили интенсивную промывку полостей. В результате в районе Осинского месторождения вокруг полостей ПЯВ в радиусе около 7 км сформировался ареал радиоактивного загрязнения недр, технологического оборудования и ландшафта, охвативший несколько населенных пунктов. Радиоактивное загрязнение сочетается здесь с геохимическим загрязнением местности хлоридами и тяжелыми металлами, чему способствуют аномальное перераспределение давлений в продуктивном пласте (из-за превышения отбора жидкости над закачкой), использование подтоварной воды, загрязненной радионуклидами, многочисленные дефекты (стволов скважин, цементных колец, приустьевого оборудования), прогрессирующее разрушение массива горных пород в окрестностях полостей ПЯВ и другие факторы [23].

Гежское нефтяное месторождение. Месторождение, открытое в 1971 г, расположено на севере Пермской области в бассейне р. Вижаиха и приурочено к одноименному куполовидному поднятию Красновишерского вала Соликамской впадины Предуральского прогиба. Залежи нефти установлены здесь в карбонатных отложениях на пяти стратиграфических уровнях в отложениях девонской и каменноугольной систем. В разработку вовлечены две залежи: франско-фаменско-турнейская (содержащая основные запасы) и окско-серпуховская.

В 1981 - 1987 гг. на Гежском месторождении на глубинах около 2000 м произведено пять ПЯВ для дробления карбонатных пород и увеличения нефтеотдачи пластов нижней залежи. Проекты освоения двух залежей месторождения были составлены разными институтами и не были согласованы между собой. Один из проектов предусматривал закачку газа в нижнюю залежь после проведения ПЯВ, чтобы не изменился естественный уровень залегания подошвенных вод и полости ПЯВ были защищены от попадания подземных вод. Второй проект предусматривал закачку воды при эксплуатации верхней залежи. По ряду причин закачку газа в нижнюю залежь осуществить не удалось, тогда как закачка воды в верхнюю залежь осуществлялась согласно второму проекту. В итоге нижняя залежь стала разрабатываться в режиме естественного истощения, что привело к значительному снижению ее пластового давления. Вследствие этого произошел подъем подошвенных вод, обводнивших полости ПЯВ. По мере нарастания объемов закачки воды в верхнюю залежь возникла угроза прорыва этих вод в полости ПЯВ сверху. Примененная технология привела также к радиоактивному загрязнению добываемой продукции. Так, в настоящее время концентрация трития в пробах нефти на расстоянии от 0,5 до 1 км от полостей ПЯВ варьирует в пределах от 0,03 до 210896 Бк/л, содержание изотопа 15С - в пределах от 0,02 до 925 Бк/л. Промысловые геолого-геофизические и геохимические наблюдения в сочетании с методами высокоточной гравиметрии, регистрации вариаций естественных импульсов электромагнитного поля земли. газовой съемки. гидрогеологии и геоморфологии позволили установить, что после каждого ПЯВ происходила интенсификация притока газа и нефти, однако она сопровождалась изменением состава нефтяного газа, т.е. изменялось товарное качество добываемой продукции. Установлено также, что зоны трещиноватости вокруг отдельных полостей ПЯВ в настоящее время объединены на глубине в общую ослабленную высокопроницаемую область, над которой на дневной поверхности фиксируются газовые аномалии азота, тяжелых и легких углеводородов, что свидетельствует о потоке флюидов, восходящем из полостей ПЯВ. Таким образом, произведенные ПЯВ обусловили заметные сдвиги в геохимии ландшафтов, что не могло не сказаться и на здоровье работников промысла.

Газовое месторождение Тахта-Кугульта. Месторождение расположено в 100 км северовосточнее г. Ставрополя и является типичным для района молодой Скифской плиты. 26.09.1969 г. в скважине на глубине 712 м в продуктивном горизонте глинистых алевритов чокракского горизонта был произведен ПЯВ мощностью 10 кт. для интенсификации притоков газа. Примечательность данного ПЯВ состоит в том, что благодаря специальным наблюдениям, через доли секунды после взрыва радионуклиды были зарегистрированы на удалении около 400 м от места заложения ядерного заряда. Это на порядки превысило радиус сферы, определяемый моделью так называемого "огненного шара". Следует отметить, что прорыв радионуклидов на расстояние более 600 м был зафиксирован при

проведении ПЯВ в скважине 1061 на Семипалатинском ядерном полигоне, а также на ряде других объектов. Зафиксированные случаи показали, что при изучении последствий ПЯВ в ближней зоне неприемлемы допущения, принятые при решении военных задач, не учитывающие анизотропию массива горных пород в месте взрыва и ряд других факторов. Не учитывался и оставался без изучения процесс инкубационного роста трещин в массиве горных пород. длительность которого могла исчисляться неделями, месяцами и даже годами после взрыва. Не отслеживались процессы преобразования во времени физико-механических свойств горных пород и возмущений режима подземных вод и газов. В связи с этим возникла иллюзия герметичности полостей ПЯВ и стабильности массивов горных пород в их обрамлении. В действительности, тонкая корка затвердевшего на стенках полости ПЯВ расплава разрушалась во время, или вскоре после взрыва, что открывало каналы для промывки полости потоками подземных вод и газов и способствовало распространению радиоактивных продуктов на большие расстояния.

ПЯВ для гидротехнических целей

Наиболее показательными являются примеры последствий применения термоядерного ПЯВ "Кристалл" в Якутии и ПЯВ "Тайга" в Пермской области.

Термоядерный ПЯВ "Кристалл" проведен 2.10. 1974 г. в Якутии в 3,5 км к северо-востоку от кимберлитовой алмазоносной трубки "Удачная", вблизи места впадения ручья Улахан-Бысыттах в реку Далдын. Заряд ПЯВ мощностью 1,7 кт был заложен в скважине на глубине 98 м в многолетнемерзлых карбонатных отложениях верхнего кембрия. Взрыв осуществлялся по проекту, предусматривающему подрыв линейного ряда из семи зарядов с целью создания плотины хвостохранилиша Удачнинского горно-обогатительного комбината (ГОК). Ожидалось, что плотина перекроет ручей Улахан-Бысыттах, её длина составит 1800 м, высота – (27 – 30) м, ширина по гребню - 85 м. ПЯВ вспучил грунт на высоту вдвое меньше проектной, лишь на 14 м. Продукты ПЯВ вырвались наружу и радиоактивное облако накрыло местность в полосе, вытянутой по азимуту 70°, на несколько километров. ПЯВ "Кристалл" был признан аварийным. Остальные взрывы были отменены, ГОК стал сооружать хвостохранилище в другом месте, без применения ПЯВ. В 1992 г. эпицентральная часть ПЯВ "Кристалл" была засыпана пустой породой из карьера "Удачный". Холм - "саркофаг" в виде усеченного конуса радиуса 150-200 м и высотой 7 - 20 м возвышается в настоящее время среди погибшего леса, занимающего площадь 5,5 га. К 1997 г. обнаружилось, что "саркофаг" не обеспечивает радиационную защиту местности, что подтверждено результатами более поздних наблюдений [30]. Исследователи обратили внимание на эффект дальней миграции радионуклидов с подземными водами из ПЯВ в карьер "Удачный". Установлено, что примерно с середины 80-х годов, когда полость ПЯВ оказалась выше дна карьера "Удачный" (современная глубина карьера 600 м), возникли предпосылки для дренирования радионуклидов из ПЯВ с подземными водами в карьер. Предположение, сделанное сначала на основании теоретических построений, подтверждено в 2002 г. данными натурных радиохимических наблюдений. Особенности этого и ряда других явлений, осложнивших деятельность ГОК, более детально рассмотрены в [30].

ПЯВ "Тайга" и переброска вод р. Печоры в бассейн Каспийского моря. Проект переброски вод северных рек в бассейн Каспия предусматривал сооружение глубокого канала через Печоро-Колвинский водораздел общей длиной 112,5 км. Участок канала длиной 65 км предполагалось создать с помощью ПЯВ при использовании для этого 250 ядерных зарядов по 150 кт общей мощностью 37,5 Мт. Заряды намечалось разместить в скважинах на глубинах 150-285 м; суммарная длина проходки скважин должна была составить 65 тыс. м. Предполагалось, что применение ПЯВ снизит затраты в 3 -3,5 раза по сравнению с обычными способами строительства. В 1970 г. проект был представлен в [7] и обсужден в МАГАТЭ [46].

23.03.1971 г. в соответствии с проектом в скважинах 1-Б. 2-Б и 3-Б на глубине 128 м были заложены ядерные заряды мощностью по 15 кт каждый и проведен тройной ПЯВ "Тайга" на выброс грунта [7, 47, 61]. В результате возникла траншейная воронка длиной 700 м, шириной 340 м и глубиной до 15 м с бортами, имеющими угол откоса 8 – 10⁰. Сейчас траншейная воронка обрамлена насыпным бруствером высотой до 6 м и шириной около 100 м. В 1975 г. результаты эксперимента обсуждались на очередном заседании МАГАТЭ [47]. В докладе атомщиков бывшего СССР утверждалось, что возможность использования ПЯВ для гидротехнического строительства доказана, что позволяет продолжить сооружение канала избранным способом. Однако, при этом не были предоставлены данные о радиационной обстановке после проведения ПЯВ "Тайга". В 1976 г. на 4-м симпозиуме МАГАТЭ по мирным ПЯВ было сделано повторное заявление о перспективности работы по проекту "Тайга", однако в действительности ПЯВ по проекту больше не проводились. Гораздо позже, в 2001 г., специалисты Росатома признали, что проект был отвергнут в связи с тем, что в 80-х годах "...в академических и правительственных кругах СССР стали появляться оппозиционные настроения к планам "поворота рек" [61]. Объяснение представляется не вполне удовлетворительным. Сейчас, когда сведения о работе по проекту перестали быть секретом, частью их являются воспоминания очевидцев [72], свидетельствующих, что 23.03.1971 г. в день проведения ПЯВ "Тайга" на отбор проб вылетали два самолетазаборника ЯК-28, один из которых поднялся в воздух до, а другой - через 40 мин после взрыва. Л.М. ...Радиоактивное заражение самолетовзаборников ЯК-28 неожиданно оказалось очень высоким, даже больше, чем при работах на р. Чаган в 1965 году, - до 50 рентген в час". Отмечено, что изза технических неполадок и непогоды не удалось достоверно установить распространение радиоактивного облака в последующие дни обследования, длившегося до 29 марта [72], В [61] радиационные последствия ПЯВ "Тайга" охарактеризованы в более мягкой форме: "...на 4-е сутки после взрыва в эпицентре была зафиксирована максимальная мощность дозы гамма-излучения, равная примерно 10 Р/ч...". Указано также, что "через два с половиной года незначительно превышающие фон уровни радиоактивного загрязнения местности отмечались только на следе длиной 7 км и шириной 1,5 км".

31 августа 1992 г. автор статьи совместно со специалистами ВНИПИПТ при поддержке Пермского областного комитета по охране природы высадился на вертолете вблизи бруствера объекта "Тайга" для проведения обследования, которое по ряду технических причин выполнить должным образом не удалось. Более добротные результаты обследования отражены на карте, приведенной в [42]. Из нее следует, что в 1991 г. мощность дозы гамма-излучения в пределах следа от ПЯВ "Тайга", превышала местами 500 мкР/ч.

Таким образом, опасные радиационные последствия ПЯВ "Тайга" не вызывают сомнений, несмотря на то, что дальность распространения радиоактивного облака не была разведана достоверно. Именно это облако могло явиться истинной причиной отказа продолжить проведение мирных ПЯВ на выброс грунта в проектируемом районе.

ПЯВ КАК ФАКТОР ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПЛАНЕТЫ

В [18, 26-28] показано, что изменчивость состояния и облика нашей планеты за последние полтора столетия сопровождается совпадением двух явлений:

- чрезвычайно резким неуклонным нарастанием техногенных нагрузок на литосферу, особенно со второй половины минувшего века;
- резкой "раскачкой" ряда показателей современной активности Земли: скорости вращения, сейсмичности, вулканизма, объемов твердого стока в Мировой океан, преобразований рельефа, вариаций геодезических параметров и гравитационного поля Земли и др.

Поскольку синхронность указанных явлений не исключает их причинную связь, возникает вопрос: способен ли накопленный эффект техногенного вмешательства в недра заметно влиять на эндогенную активность и фигуру Земли как единого тела? Как этот эффект соотносится с мощностью природных тектонических процессов?

Геологическое влияние человека, как известно, пытались постичь Ж.Бюффон, В.И. Вернадский и ряд их последователей. До недавних пор это действие усматривалось лишь в преобразовании внешних оболочек планеты, вмешательство человека в жизнь земной коры в глобальном масштабе не рассматривалось. Признавалось, что возмущения геодинамической активности недр, которые возникают в местах разработки месторождений полезных ископаемых, крупных инженерных сооружений, населенных пунктов имеют сугубо локальный характер. В последние десятилетия выяснилось, что такого рода возмущения приобретают региональный масштаб, охватывая значительные пространства и активизируя прежде стабильные блоки земной коры в пределах древних и молодых платформ [19, 20, 21, 24, 37]. Появились также данные, согласно которым техногенная дестабилизация литосферы распространяется и до мантийных глубин. Так, в [49] на примере Семипалатинского ядерного полигона, где с 1949 г. по 1990 г. проведено множество подземных и приземных ядерных взрывов, показано, что взрывы существенно повлияли на характер пространственно-временных вариаций поля поглощения поперечных сейсмических волн в очаговых зонах сильных землетрясений. Из сопоставления особенностей этих вариаций с данными геохимии сделан вывод о том, что деятельность Семипалатинского полигона нарушила структуру и тепловой режим земной коры на пространствах Туранской плиты и Тянь-Шаня, что, в свою очередь, обусловило подъем в кору мантийных флюидов, который длится в течение последних 20-30 лет.

Результаты регистрации микросейсм позволили установить [15], что значительная часть суши планеты подвержена постоянному "облучению" техногенными вибрациями, уровень которых в наши дни по сравнению с 1950-ми годами возрос местами на три порядка. Дальнодействие микросейсм, порождаемых антропогенной деятельностью, достигает по латерали полутора тысяч километров, а по глубине – до 20 км, т.е. до волновода в земной коре.

Очевидно, что при сохранении современных темпов материального производства фронт техно-

Литература

- 1. Адамский В.Б., Адымов Ж.И., Ахметов Е.З., Гильманов Д.Г., Дубасов Ю.В., Кадыржанов К.К., Матущеноко А.М., Мясников К.В., Турчин И.Ф., Чернышев А.К. Мирные ядерные взрывы на солянокупольном месторождении Большой Азгир. - Алматы, 1998. - Препринт № 10 - 98. - 18 с.
- 2. Адамский В.Б. Еще раз о применимости ядерно-взрывных технологий//Природа, 1993. № 4. С. 45 47.
- Адушкин В.В. Влияние геологических факторов на распространение радиоактивных продуктов при подземных ядерных взрывах//Труды Международной конференции "Радиоактивнсть при ядерных взрывах и авариях". 24 - 26 апреля 2000 г. - С-Пб.: Гидрометеоиздат, 2000. - Т. 1. – С. 585 - 592.
- 4. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. М.: Недра, 1993. 319 с.
- 5. Ананьева Л.А., Дубасов Ю.В., Савоненков В.Г., Смирнова Е.А. Выщелачивание радионуклидов из продуктов подземных ядерных взрывов в гранитных породах. 1. Эксперименты с образцами породы из околополостного пространства//Радиохимия, 2000. т. 42. № 5 С. 462 465.
- Андреев М.К., Лазарев А.А., Селезнев С.Б., Бучин В.Н. Клинико-эпидемиологическая характеристика состояния психического здоровья населения, проживающего в районе расположения Астраханского газового комплекса и вопросы организации оказания специализированной психиатрической помощи// Труды Астраханской государственной медицинской академии. – Астрахань, 1999. - Т. 17 (XLI). - С. 17 - 22.

генной активизации недр в перспективе неизбежно расширится и станет все более четко обретать глобальный масштаб. В этой связи в качестве первого шага были рассмотрены две задачи, результаты по которым кратко сводятся к следующему.

1. Исторический анализ особенностей преобразования недр планеты человеком показал, что переход цивилизации во второй половине минувшего столетия в Атомный век по ряду признаков явился поворотным пунктом в эволюции планеты. Одной из особенностей необратимого перехода является все более четкое обособление обширных поясов и ареалов техногенной дестабилизации недр, вызванное экспансией горнорудной и нефтегазодобывающей промышленности, множеством ПЯВ, а также рядом других менее значимых факторов. Эти пояса и ареалы, наложенные на разнородные структурные этажи разновозрастных тектонических элементов земной коры, отличаются возмущениями естественного режима геодинамических подвижек, а также флюидодинамических, геохимических, геоморфологических и ряда других процессов.

2. Численными оценками показано, что накопленный эффект техногенных нагрузок на недра способен вызывать заметные изменения фигуры Земли, режима её вращения и собственных колебаний, а также обеспечивать сдвиг оси вращения на величину, составляющую несколько километров.

3. Определены способы и средства мониторинга опасных последствий техногенной дестабилизации недр Земли.

Выводы

1. Исходные постулаты теории мирных ПЯВтехнологий, заимствованные из науки об атомном оружии, во многом ошибочны и не выдерживают критики.

2. Мирные ПЯВ зарекомендовали себя как опасные и экономически неоправданные технологии.

3. В обновленном варианте ДВЗЯИ, в случае его ревизии, должен быть закреплен запрет на ПЯВ и определен путь к сокращению риска их опасных последствий.

- 7. Атомные взрывы в мирных целях: Сборник М.: Атомиздат, 1970. 124 с.
- 8. Ахметов Е.З. Особенности присутствия 137Сѕ в почве на площадках Азгирского полигона//Вестник НЯЦ
- РК/Радиоэкология. Охрана окружающей среды. Курчатов: НЯЦ РК, 2002. Вып. 3. С.37 41.
- Бакиров А.А., Бакиров Э.А., Виноградов В.Н. и др. Применение подземных ядерных взрывов в нефтедобывающей промышленности. - М.: Недра, 1981. - 198 с.
- Бахарев П.Н., Кирюхина Н.Н., Шахиджанов Ю.С. Радиоактивное "загрязнение" нефтегазоносных территорий в результате проведения ядерных взрывов в интересах народного хозяйства//Тезисы докладов Международной научнопрактической конференции "Геоэкология и современная геодинамика нефтегазоносных регионов". 24 - 26 октября 2000 г.- М., 2000. - С. 204 - 206.
- Броуд Г.Л. Действие ядерного взрыва//Действие ядерного взрыва/Библиотека сборника "Механика". М.: Мир, 1971. -С. 9 - 88.
- 12. Бурцев И.С., Колодезникова Е.Н. Радиационная обстановка в алмазоносных районах Якутии: Препринт. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1997. 52 с.
- 13. Васильев А.П., Приходько Н.К., Симоненко В.А. Подземные ядерные взрывы...для улучшения экологической обстановки//Природа, 1991. № 2. С. 36 42.
- 14. Вахрамеев Ю.С. Некоторые вопросы физики взрыва и кумуляции: Сборник. Снежинск, 1997. 174 с.
- Виноградов С.Д., Капустян Н.К. Техногенные вибрации в геодинамике: физическое моделирование и натурные наблюдения//Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов/Материалы Международной конференции. - Воронеж, 2001. - С. 49 – 51.
- 16. Галимзянов Х.М., Проскурин А.И., Шпотин В.П. Дифтерия (региональные аспекты). Астрахань, 2001. 114 с.
- 17. Галимзянов Х.М., Малеев В.В., Тарасевич И.В. Астраханская риккетсиозная лихорадка. Астрахань, 1999. 156 с.
- Геворкян С. Г., Голубов Б.Н. О деформациях полостей подземных ядерных взрывов в районе Астраханского газоконденсатного месторождения//Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 1998. - № 2. - С. 17 - 37.
- 19. Голубов Б.Н. Последствия техногенной дестабилизации недр Астраханского газоконденсатного месторождения в зоне подземных ядерных взрывов//Геоэкология, 1994. № 4. С. 25 42.
- 20. Голубов Б.Н. Аномальный подъем уровня Каспийского моря и техногенная дестабилизация недр//Известия РАН, серия географическая, 1994. № 1. С. 59 74.
- Голубов Б.Н. Особенности современной геодинамической активности Арало-Каспийского региона// Известия РАН, серия географическая, 1994. - С. 96 – 100.
- 22. Голубов Б.Н. Подземные ядерные взрывы в мирных целях//Ядерная энциклопедия. М.: Благотворительный фонд Ярошинской, 1996. С. 199 206.
- 23. Голубов Б.Н. Проблема оценки и устранения опасных последствий подземных ядерных взрывов на нефтяных и газовых месторождениях России (на примере Осинского месторождения)//Сб. докладов и сообщений на конференции «Оценка воздействия на окружающую среду предприятий нефтегазового комплекса», г. Туапсе, 30 сентября -5 октября 2001 г. М: Научно-техническое общество нефтяников и газовиков им. Акад. И.М. Губкина, 2002 г. С. 62 93.
- Голубов Б.Н. Техногенная дестабили ация древних платформ Северного полушария//Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. Гл. ред. Додин Д.А., Сурков В.С. – С-Пб.: ВНИИОкеанология, 2002.
 - С. 889 - 899.
- 25. Голубов Б.Н. Опасные последствия подземных ядерных взрывов на Средне-Ботуобинском нефтегазоконденсатном месторождении, особые требования к его разработке и опыт эксплуатации недр на сходных объектах//Сборник тезисов II Республиканской научно-практической конференции "Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия)". Якутск, 2-4 декабря 2004 г. С. 41 43.
- Голубов Б.Н., Геворкян С.Г. Изменения частот собственных колебаний Земли в результате техногенной дестабилизации недр//Нетрадиционные вопросы геологии/ Тезисы докладов Пятого научного семинара «Гармония строения Земли и планет». – М.: «Рост», 1997. – С. 7 – 8.
- 27. Голубов Б.Н., Геворкян С.Г. Техногенное нарушение недр и фигуры Земли как глобальный фактор//Бюлл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 1999. Т.74. вып. 3. С. 57 64.
- Голубов Б.Н., Геворкян С.Г. Зависимость режима собственных колебаний и вращения Земли от техногенного разрушения её недр и поверхности//Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим). - М.: Научный мир, 2000. - С. 255 - 276.
- 29. Голубов Б.Н., Малышев Ю.К., Сапожников Ю.К. и др. Эффекты воздействия подземных ядерных взрывов на геодинамический режим недр Республики Саха (Якутия)//Отчет о научно-исследовательских работах по договору № 61 с Якутским Международным научным центром по развитию северных территорий СО РАН. - М.: ИДГ РАН, 2000. - 94 с.
- Голубов Б.Н., Сапожников Ю.А., Горальчук А.В. Радиоактивное загрязнение дренажных вод алмазодобывающего карьера "Удачный" продуктами подземного термоядерного взрыва "Кристалл"//Геофизические процессы в нижних и верхних оболочках Земли/Сборник научных трудов ИЛГ РАН в 2-х книгах. 2003. - Книга 2. - С. 293 – 305.
- верхних оболочках Земли/Сборник научных трудов ИДГ РАН в 2-х книгах, 2003. Книга 2. С. 293 305.
 31. Голубов Б.Н., Тульбович Б.И., Черешнев В.А. и др. Отчет по договору № 7 "Изучение воздействия подземных ядерных взрывов на окружающую среду, проведенных на Гежском и Осинском нефтяных месторождениях и разработка мониторинга за состоянием биологических объектов в районе месторождений, включая меры по предотвращению опасных последствий". ГП "Роснефть", АО "Пермнефть", ПермНИПИнефть, НСПБ РАН. Пермь, 1994. 228 с.
- Горбунова Э.М. Изучение последствий техногенной дестабилизации недр Семипалатинского испытательного полигона//Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2004. – вып. 2.- С. 82 – 88.
- Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н. Изучение геолого-структурной обстановки вокруг испытательных скважин Семипалатинского полигона методом автоматизированного дешифрирования космических снимков//Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2004. – вып. 2. - С. 76 – 82.

- 34. Горбунова Э.М., Спивак А.А. Оценка возможного радиоактивного загрязнения подземных вод Семипалатинского полигона//Международная конференция "Радиоактивнсть при ядерных взрывах и авариях". 24 - 26 апреля 2000 г.: Труды. - С-Пб.: Гидрометеоиздат. 2000. - Т. 1. – С. 644 - 649.
- Гринштейн Ю.А. Влияние геолого-тектонической обстановки участка Балапан на миграцию радионуклидов по данным ГК и СГК//Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2004. – вып.1. – С. 132 – 138.
- 36. Губарев В. Наш друг атомная бомба. Запрещение ядерных взрывов в мирных целях стало одной из крупнейших ошибок уходящего столетия//Парламентская газета, 2000. - 12 мая. - С. 3.
- 37. Давиденко Н.М. Проблемы экологии нефтегазоносных и горнодобывающих районов Севера России. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. 224 с.
- 38. Действие ядерного оружия. М.: Воениздат, 1965. 679 с.
- Дубасов Ю.В., Касаткин В.В. Радиационная обстановка в местах проведения подземных мирных ядерных взрывов//Труды Международной конференции "Радиоактивнсть при ядерных взрывах и авариях". 24 - 26 апреля 2000 г. - С-Пб.: Гидрометеоиздат, 2000, т. 1. – С. 624 - 629.
- 40. Евтерев Л.С., Клименко В.Н., Коробушкин В.В., Лоборев В.М., Паншин А.А. Клин клином вышибают//Независимое военное обозрение, 1999. № 23.
- Жабрев И.П., Политыкина Н.А., Участкин Ю.В. Суперколлекторы Оренбургского газоконденсатного месторождения//Геология нефти и газа, 1979. - № 3. – С. 20 - 28.
- 42. Израэль Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. С-Пб.: "Прогресс-погода", 1996. 356 с.
- Израэль Ю.А., Стукин Е.Д. Феноменология загрязнения подземных вод после подземного ядерного взрыва//Тезисы докладов на Международной конференции "Радиоактивнсть при ядерных взрывах и авариях". 24 - 26 апреля 2000 г., Москва. - С-Пб.: Гидрометеоиздат, 2000. - 140 с.
- Кадыржанов К.К., Тулеушев А.Ж., Лукашенко С.Н., Филиппов В.И., Солодухин В.П., Казачевский И.В. Комплексный мониторинг объектов Лира //Труды Международной конференции "Радиоактивнсть при ядерных взрывах и авариях". 24 - 26 апреля 2000 г. - С-Пб.: Гидрометеоиздат, 2000. - Т. 1. – С. 650 - 656.
- 45. Касаткин В.В., Мамонов Б.П., Мясников К.В., Дубасов Ю.В. Радиационный мониторинг объекта ядерного взрыва "Днепр" после его консервации//Труды Международной конференции "Радиоактивнсть при ядерных взрывах и авариях". 24 - 26 апреля 2000 г. - С-Пб.: Гидрометеоиздат, 2000. - Т. 1. – С. 636 - 643.
- Кедровский О.Л. Применение камуфлетных ядерных взрывов в промышленности. Reprint from "Peaceful Nuclear Explosions". Phenomenology and Status Report, 1970. International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA-PL, 1970. -388/20. - Pp. 163 - 185.
- Киреев В.В., Кедровский О.Л., Валентинов Ю.А., Мясников К.В., Никифоров Г.А., Прозоров Л.Б., Потапов В.К. Групповой экскавационный ядерный взрыв в аллювиальных породах//Peaceful Nuclear Explosions IV. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1975. - Pp. 399 - 419.
- 48. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня//Физика Земли, 2003. № 7. С. 35-47.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Анализ пространственно-временных вариаций поля поглощения поперечных волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня по записям подземных ядерных взрывов//Доклады Академии наук, 2004. - т. 395, № 6. - С. 818 - 821.
- 50. Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. М.: ИКЦ "Академкнига", 2003. 423 с.
- Кривохатский А.С., Дубасов Ю.В., Дубровин В.С. и др. Радиационные проявления подземных ядерных взрывов в мирных целях на соляном месторождении Большой Азгир//Бюлл. Центра общ. инф. – М.: ЦНИИатоминформа, 1993. -№ 9. - С. 49-59.
- 52. Кривохатский А.С. Радиохимия ядерных взрывов//Радиохимия, 1982. Т. 24. Вып. 3. С. 277 286.
- 53. Круглов Ю.И., Постнов А.В. Современные представления о геодинамике Астраханского ГКМ//Тезисы докладов Международной научно-практической конференции "Геоэкология и современная геодинамика нефтегазоносных регионов". 24 - 26 октября 2000 г. – М., 2000. - С. 75 - 77.
- 54. Ликвидация высокоактивных отходов и химических вооружений с использованием подземной ядерно-взрывной технологии/Под рук. В.Н. Михайлова//Доклад Совету Безопасности РФ, 1998. 34 с.
- 55. Литвинов Б.В., Лоборев В.М. Об определении назначения ядерного взрыва//Ядерный контроль, декабрь 1997. № 36. С. 11 16.
- 56. Макхиджани А., Смит Б. Ядерный конфликт в НАТО//Энергетика и безопасность, 2004. № 26 27. С. 1 6.
- 57. Малевич Л.В. Промышленные подземные ядерные взрывы (ПЯВ) на территории Иркутской области//Проблемы и решения/Сборник тезисов II Республиканской научно-практической конференции "Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия). Якутск 2 - 4 декабря 2004 г. – 2004. - С. 23 - 24.
- 58. Материалы к проекту федерального закона «О ликвидации последствий подземных ядерных взрывов»//Материалы Парламентских слушаний «Об экологических последствиях проведенных подземных ядерных взрывов». – М.: Комитет Государственной Думы по экологии, 9 декабря, 1997. - 9 с.
- 59. Машуков В.И., Стажевский С.Б., Шемякин Е.И. О всплывании полостей в горном массиве//ДАН. М.: Наука, 1997. т. 356. № 6. С. 817 820.
- 60. Мельников В.П., Оберман Н. Г., Велижанина И.А., Давиденко Н.М. Воздействие подземных ядерных взрывов на природную среду Севера//Геология и геофизика, 2000. т. 41. № 2. С. 280 291.
- 61. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении/Под рук. В.А. Логачева. М.: Изд. АТ, 2001. 519 с.
- Михайлова Н.Н., Неделков А.И., Соколова И.Н., Казаков Е.Н., Беляшов А.В. Шалгинское землетрясение в Центральном Казахстане 22.08.2001 г.//Вестник НЯЦ РК/Геофизика и проблемы нераспространения. – Курчатов: НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2. - С. 78 – 87.

- 63. Мурзадилов Т.Д., Беляшов Д.Н., Мохов В.А., Моренко В.С., Глущенко В.Н. Об одной методике расчета выделения газообразного хлора в сухих ядерных полостях под воздействием остаточного радиоактивного излучения продуктов взрыва//Вестник НЯЦ РК/Геофизика и проблемы нераспространения. - Курчатов: НЯЦ РК, 2001. - Вып. 2. - С. 137 - 143.
- 64. Мясников К.В., Касаткин В.В., Ильичев В.А., Ахунов В.Д. Аварийные ситуации на объектах мирных ядерных взрывов в России //Труды. Международной конференции "Радиоактивность при ядерных взрывах и авариях". 24 - 26 апреля 2000 г. - С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 2000. - Т.1. – С. 594 - 600.
- 65. Мясников К.В., Родионов В.Н., Сизов И.А., Дороднов В.Ф., Лукишов Б.Г. Анализ причин сокращения объемов подземных емкостей, созданных ядерными взрывами в массиве каменной соли на Астраханском газоконденсатном месторождении//Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 1998. - № 5. - С. 16 – 29.
- 66 Николаев В.В. Направления развития Оренбургского газохимического комплекса//Горный вестник, 1997. - № 6. - С. 25 - 30.
- Отчет о работе Научного Совета Российской Академии наук по проблемам биосферы в 1992 году. М.: Изд-во РАН, 1993. - 72 c.
- 68. Отчет о работе Научного Совета Российской Академии наук по проблемам биосферы в 1993 году. М.: Изд-во Моск. Горн. Ун-та., 1994. - 24 с.
- 69. Отчет творческого коллектива экспертов по научно-исследовательской работе "Оценка влияния ядерных взрывов, проведенных на Северном испытательном полигоне Новая земля (СИПНЗ) в период 1955-1962 гг. на население и территорию Ненецкого автономного округа" - Рук. Ю.А. Израэль. - М. – 1998. - 65 с.
- 70. Оценка экологического риска в связи с радиоактивным загрязнением природной среды Российской Федерации. Оценка состояния промышленных объектов, созданных с помощью ядерных взрывов: заключительный научно-технический отчет о НИР № 5.1.СБ. - научн. рук. акад. РАН С.Т. Беляев/ План НИР СБ РФ. - М., 1996. - С. 1 - 33.
- 71. Родионов В.Н. Очерк геомеханики. М.: Научный Мир, 1996. 64 с.
- 72. Рожденная атомным веком//Сборник исторических очерков/под ред. А.П. Васильева. М., 2002. Ч.1 С. 189 206.
- Смирнов В.И., Федоров Б.Н., Манукьян В.А., Шафаренко Е.М. Горно-геологические процессы в подземных полостях 73. на Астраханском газоконденсатном месторождении//Геология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2000. - № 3. - C. 207-215.
- 74. Справка Председателя Оренбургского областного комитета экологии и природных ресурсов от 23.04.1993 г. № 08/-01-601, представленная в Комитет по вопросам экологии и рационального использования природных ресурсов ВС РФ, 1993
- Справка Федерального управления медико-биологических и экстремальных проблем при Минздраве РФ от 5.06.1997 г. 75. № 32-011/106, представленная в Комитет по экологии ГД РФ к парламентским слушаниям "Об обеспечении радиационно-экологической безопасности в топливно-энергетическом комплексе России", состоявшимся 17.06.1997 г.
- 76. Стогний В.В., Васильев С.П., Невольских С.Г. Изменение геофизических полей при подземных ядерных взрывах в Западной Якутии//Геофизические исследования в Якутии: Сборник научных трудов. Отв. ред. В.В. Стогний. - Якутск, 1998. - C. 153 - 165.
- 77. Траскин В.Ю., Скворцова З.Н., Голубов Б.Н. Реологические и фильтрационные свойства каменной соли в условиях обводнения и радиоактивного облучения //Тезисы докладов на Международной конференции "Радиоактивнсть при ядерных взрывах и авариях". 24 - 26 апреля 2000 г., Москва. - С-Пб.: Гидрометеоиздат, 2000. - 272 с.
- Физика ядерного взрыва. Т.1. Развитие взрыва (Мин-во обороны РФ, Центральный физико-технический ин-т). М.: 78. Наука. Физмат. лит., 1997. - 528 с.
- Чалиян К.Н., Чиркст Д.Э. Дезактивация почвогрунта Гурьевской области, зараженного ¹³⁷Cs в результате проведения 79. подземных ядерных взрывов//Радиохимия, 1998. - т. 4. - № 4. - С. 372 - 373.
- 80. Ядерные взрывы в СССР/Под ред. В.Н. Михайлова. М.: ИздАТ, 1992. 194 с.
- 81. Ядерные испытания СССР/Кол. авторов под ред. В.Н. Михайлова. М.: ИздАТ, 1997. 304 с.
- 82. B. Barrillot Les Essais Nuclearies Francais 1960 1996. Consequences sur L'environnement et la Sante. Centre de Documentacion et de Recherche sur la Paix et les Conflits. - Lyon (France), 1996. - 384 p.
- S. M. Bowen, D. L. Finnegan, J. L. Thompson, L. F.Olivas, C. G. Geoffrion, D. K. Smith, W. Goishi, B. K. Esser, J. W. 83 Meadows, N. Namboodi, J. F. Wild Nevada Test Site Radionuclide Inventory, 1951-1992.- Lawrence Livermore National Laboratory, 7000 East Ave., Livermore, CA 94550-9234. LA-13859-MS. Issued: September 2001. - 28 p.
- W.C. Davis, W. Ficket (Los Alamos Scientific Lab., NM) Detonation theory and Experiment. P. 2 12 of "Behaviour of 84 Dense Media Under High Dynamic Pressures". - New York, Cordon and Breach, 1986. - CONF-670914.
- 85. D.H. Eargle Geology of core hole WP-1 Tatum dome, Lamar County, Mississippi. US Department of the Interior Geological Survey. Federal Center, Denver 25, Colorado. Technical Letter. Dribble-15. Jan. 17, 1962. - Pp. 45.
- T. Findlay Nuclear Dynamite. The Peaceful Nuclear Explosions Fiasco. Brassey's Australia. A division of Pergamon Press 86. Australia, 1990. - 340 p.
- A.D. Gedeonov, I.N. Kuleshova, E.R. Petrov, M.L. Savopulo, V.Yu. Shkroev, B.N. Shuvalov, V.G. Alexeev, V.I. Arkhipov, 87 I.S. Burtsev Plutonium in soils, bottom sediments and linchen near peaceful nuclear explosion sites in the Republic of Sakha (Yakutia)//Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 1997. - Vol. 221, 1 – 2. - Pp 85 - 92. B. Gertz Russia suspected of nuclear testing//Washington Times. August 28, 1997. - Pp. 2, 10.
- 88.
- T. Ginsburg The Peaceful Applications of Nuclear Explosions/A Report on the Plowshare Program. Munich, Karl Thiemig, 89 1965. - 239 p. (In German).
- 90. T. Ginsburg The Peaceful Use of Nuclear Bombs in Civil Engineering//Neue Zurcher Ztg, № 176 (29 June 1961) 18-21. (In German), VCRL-Trans 717 (L), California Univ., Livermore, Lawrence Radiation Lab. - 68 p. (English translation).
- 91. http://www.fas.org
- 92. R. Imai (Japan Atomic Power Co., Tokyo) Peaceful Use of Nuclear Explosion. Nippon Genshiryoku Gakkaishi 11 (1969) 20 (In Japanese). Peaceful Uses of Nuclear Explosions. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1970. Bibliographical Series No 38, 468 p. (English abstract).
- 93. N. Jaffe, R. Garison Industrial Applications of Nuclear Explosions and their Relation to Engineering Geology. VCRL-5704-T, California Univ., Livermore, Lawrence Radiation Lab. And Sandia Corp., Albuquerque. N. Mex. 2 Oct, 1959. - 44 p.

- St.N.Kalmykov, Yu.A. Sapozhnikov Artificial radionuclides in oils from the underground nuclear test site (Perm' region, Russia)//International conference "Analysis for geology and environment", Proceedings, Spisska Nova Ves, Slovakia, October 1997, 1998. - P. 24.
- 95. A.B. Kersting, D.W. Efurd, D.L. Finnegan, D.J. Rokop, D.K. Smith, J.L. hompson Migration of Plutonium in Ground Water at the Nevada Test Site. Nature, 7 January 1999. Vol. 397. Pp. 56 59.
- 96. F. Kreith, C. B. Wrenn The Nuclear Impact. Westview Studied of Technology//Natural Resources and Environment, 1976. 248 p.
- 97. Macilwain Colin Nuclear triggers get subcritical scrutiny//Nature, 19 June 1997. V. 387 Pp. 751.
- Malovishko The Influence of Underground Nuclear Explosions upon Fine Structure of Seismicity in Kizel Coal Mine Field //Earthquakes Induced by Underground Nuclear Explosions. Environmental and Ecological Problems. - Edited by R. Console, A. Nikolaev. NATO ASI Series 2. Environment, 1994. - Vol. 4. - Pp. 133 - 141.
- 99. Mesler Yirtual Nukes When Is a Test Not a Test? Nation. June 15/22, 1998, pp. 16-18.
- Nikolaev A. Inducing of Earthquakes by Underground Nuclear Explosions //Earthquakes Induced by Underground Nuclear Explosions. Environmental and Ecological Problems. Edited by R. Console, A. Nikolaev. NATO ASI Series 2. Environment, 1994. - Vol. 4. - Pp. 11 - 19.
- 101. Peaceful Uses of Nuclear Explosions. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1970. Bibliographical Series¹ 38. 468 p.
- 102. Radiological Effluents Released from U.S. Continental Tests 1961 through 1992. DOE/NV-317 (Rev.1) UC-702, 1996 275 p.
- 103. Yu.A. Sapozhnikov, B.N. Golubov, S.N. Kalmykov Delayed Consequences of Underground Nuclear Tests//"Natural and Nuclear Anomalies and Life Protection" Conference Program, Vilnius Gediminas Technical University, September 25 - 26, 1998. - Pp. 29 - 30.
- 104. E. Teller, W.K. Talley, G.H. Higgins, G.W. Johnson The Constructive Use of Nuclear Explosives. Mc Graw-Hill Book Company, 1968. 320 p.
- 105. The Containment of Underground Nuclear Explosions. U.S. Congress, Office of Technology Assessment, OTA-ISC-414 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, October, 1989). 84 p.
- 106. The Radiological Situation at the Attolls of Mururoa and Fangataufa. Technical Report. Vol. 3. Inventory of Radionuclides Underground at the Attols (Interim version) Report by international Advisory Committee (Working Group 3). IAEA, 1998. - 94 p.
- 107. D.J. Thome Radiation monitoring on and around the Tatum Salt Dome, Lamar County, Mississippi April 1992. US EPA, Office of Research and Development, Environmental Monitoring Systems Laboratory. Rep. EPA/600/R-93/076DE-A108-91NV10963, 1993, 21 p. USGS. Open file № 1871. Tatum Dome. Pp. 172 188.

ЯДРОЛЫҚ СЫНАУЛАРЫНА БӘРІН СЫЙДЫРАТЫН ТЫЙЫМ САЛУ ТУРАЛЫ ШАРТЫНЫҢ ТЕКСЕРІСІ МЕН ЖЕР АСТЫНДАҒЫ БЕЙБІТ АТОМ ЖАРЫЛЫСТАРЫН ҚЙТАДАН БАСТАУ ПРОБЛЕМАСЫ

Голубов Б.Н.

РҒА Геосфера динамикасы институты, Мәскеу, Ресей

Далалық, лаборториялық және теортетикалық зерттеулерінің деректерін, сондай-ақ Ресей, АҚШ және Қазақстанның нысаналарында жер астындағы ядролық жарылыстар (ЖЯЖ) технологиясын қолдануының салдары туралы мұрағаттық және әдебиетті деректерін қорыту әрекеті жасалған. Екі мәселе қаралған: біріншісі - әдіснамалық, ЖЯЖ өткізуінде жер қойнауларында және географиялық ортасының өзге қабықтарында қоздырылатын процесстері дамуына жататын; екіншісі - нақты нысаналарында ЖЯЖ салдары туралы деректерін жүйеге келтіруімен байланысты. Өткен жүзжылдықтың екінші жартысында АҚШ мен ССРО бейбіт мақсатында өткізілген жарылыстарына ұқсас ЖЯЖ қайта өткізуінің қауіптілігі көрсетілген.

PROBLEM OF REVIEW OF COMPREHENSIVE NUCLEAR-TEST-BAN TREATY AND RESUMPTION OF PEACEFUL UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS

B.N. Golubov

Institute for Dynamics of the Geospheres RAS, Moscow, Russia

At attempt was made to generalize data of field, laboratory and theoretical research activities and also archive and literary data on consequences of underground nuclear explosions (UNE) technologies at Russian, U.S. and Kazakhstani objects. Two tasks have been examined: methodological task that relates to processes development generated in interior of Earth and other layers of environment during UNE; and the second task relates to data classification of UNE consequences at specific objects. A hazard of UNE resumption is shown that were similar to UNE in the second half of the previous century in USA and USSR in peaceful purposes.

УДК 539.5:621.039.9(574.41)

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕЖИМНЫХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ПЛОЩАДКЕ БАЛАПАН

Стромов В.М., Кабайлов А.Н., Дроздов А.В.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Трехлетние режимные электрометрические наблюдения на участке Балапан Семипалатинского испытательного полигона позволили выявить и локализовать две группы зон с изменяющейся электропроводностью горных пород, которые авторами интерпретируются: одна - как зоны восходящих глубинных вод повышенной солености (зоны понижения электрического сопротивления), другая – как зоны нисходящих пресных атмосферных вод (зоны повышения электрического сопротивления). Составлены схематические модели зон восходящих флюидов, показана их пространственная приуроченность к скважинам, в которых проведены подземные ядерные взрывы. В одной из исследованных гидрогеологических скважин, расположенной вблизи такой зоны, обнаружено повышение содержание ¹³⁷Сs.

Для изучения поствзрывных явлений, проявленных в виде изменения электропроводности и поляризуемости горных пород, на участке Балапан Семипалатинского испытательного полигона проведены режимные электрометрические съемки. Измерения выполнены троекратно в период 2001 – 2003 гг. по двум ортогональным профилям ПР-1 и ПР-2, выбранным в пределах площадки с наибольшей плотностью скважин, в которых ранее были проведены подземные ядерные взрывы (боевые скважины).

Наблюдения проведены по схеме двустороннего дипольного осевого электрического профилирования (ДЭП) с шестью разносами от 150 до 650 м через 100 м. Для измерения кажущихся сопротивления и поляризуемости использованы измерители ЭИН-204, ВПФ-210 и генератор ГЭР-208 (разработки Казгеофизприбора, бывш. КазВИРГа, ИГИ НЯЦ РК). По результатам измерений оценивалось относительное изменение значений электрического сопротивления (ρ_{κ}) и вызванной поляризации ($\phi_{B\Pi}$) в одноименных точках, полученных при разных циклах наблюдений. Так,

$$\Delta \rho_{k} = \frac{\rho_{k2} - \rho_{k1}}{\rho_{k1}} \cdot 100\%,$$

где ρ_{k2} и ρ_{k1} – значения кажущегося сопротивления горных пород, полученные при последующем и предыдущем циклах наблюдений, соответственно, $\Delta \rho_k$ - относительное изменение ρ_κ в процентах.

На рисунке 1 приведены геоэлектрические разрезы, построенные по значениям кажущегося электрического сопротивления (ρ_{κ} , Омм) и фазового параметра поляризуемости ($\phi_{\kappa B\Pi}$, град) горных пород по результатам первого цикла наблюдений, выполненных в 2001 г.

Как видно из рисунка 1, в геоэлектрическом отношении разрезы весьма неоднородны. Характерной их особенностью является наличие зон повышенной электрической проводимости (ρ_{κ} , до 100 Омм) и поляризуемости (порядка 2 - 7 град).



Рисунок 1. Площадка Балапан. Геоэлектрические разрезы по результатам работ методом ДЭП в 2001 г.: А – кажущееся сопротивление (Омм); Б - фазовый параметр поляризуемости (град)

По профилю ПР-1 аномальная зона (по обоим параметрам) отмечена в районе скважин 1313, только электропроводящие аномалии – в интервале пикетов 7700-8200, 1300, аномалия только по параметру поляризации – в интервале пикетов 1200-1300. По профилю ПР-2 наиболее заметная аномальная зона по обоим параметрам отмечена вблизи пересечения профилей (между боевыми скважинами 4018 и 1315). Менее контрастные аномалии, также по обоим параметрам, выявлены в районе пикетов 4100-4300 и 1100-1400. Наиболее вероятным объяснением зон повышенной электропроводности и поляризуемости является повышенная водонасыщенность локальных участков разреза, обусловленная их повышенной трещиноватостью (пористостью). Часть наиболее интенсивных аномалий поляризуемости (от 3° до 7°) может быть объяснена присутствием в геологическом разрезе углистых пород. Обнаруживается пространственная приуроченность участков разреза, характеризующихся электрическими аномалиями, к ряду боевых скважин, что позволяет рассматривать вопрос об их поствзрывном происхождении.

Для определения природы выявленных электропроводных аномалий по обои профилям проведен расчет степени деструкции горных пород под воздействием серии ядерных взрывов, произведенных в скважинах, расположенных на изучаемой площадке. Использована методика, изложенная в [6], позволяющая оценить коэффициент наведенной пористости Р горных пород применительно к квазиоднородным средам с учетом расположения, глубины и мощности ядерных взрывов. На рисунке 2 приведены графики кажущегося электрического сопротивления при разносе 650 м и коэффициента наведенной пористости, а также дана оценка корреляционной связи между этими параметрами.



Рисунок 2. Сопоставление графиков рк (разнос 650 м) с рассчитанным параметром наведенной пористости Р

По профилю ПР-1, проложенному практически по простиранию пород, коэффициент корреляции между кажущимся сопротивлением и наведенной пористостью составляет (-0.89), по профилю ПР-2, пройденному вкрест простирания пород, коэффициент корреляции - (-0.695). Таким образом, устанавливается, наличие достаточно значительной корреляции между изучаемыми параметрами, а также то, что кажущееся электрическое сопротивление лучше коррелируется с наведенной пористостью вдоль напластования пород (ПР-1), чем вкрест их простирания (ПР-2).

Повторные электрометрические наблюдения по обоим профилям проведены в 2002 г. Использована та же методика, что в 2001 г., обеспечившая погрешность съемок не хуже ±1.5%. В результате сравнения измерений установлено, что при среднем расхождении значений кажущегося сопротивления в одноименных точках не более ±1.5%, на отдельных участках профилей отклонение значений рк относительно данных первого цикла наблюдений достигают десятков процентов (66% на профиле ПР-2, пикет 560). На рисунке 3 приведен пример сравнения значений рк в одноименных точках профилей по измерениям 2001 г. и 2002 г. в виде графиков относительного изменения кажущегося сопротивления пород разреза, построенных для всех разносов измерительной установки.

Как можно видеть из рисунка 3 а, в, по ПР-1 отмечено значительное уменьшение ρ_{κ} в интервале ПК 820-980, которое фиксируется на всех разносах измерительной установки. Достаточно четко выделяется зона относительного повышения ρ_{κ} в районе ПК 1000, которая также прослеживается на всех разносах. Проявляется ряд более мелких зон изменения кажущегося сопротивления, коррелирующихся в различной степени.

Известно [1], что при полном водонасыщении удельное электрическое сопротивление осадочных, магматических и многих метаморфических пород ($\rho_{B\Pi}$) пропорционально удельному сопротивлению природной воды (ρ_B), насыщающей их, т.е.

где

$$\rho_{B\Pi} = P_{\Pi} \cdot \rho_B,$$

$$P_{I} = \frac{\rho_{\hat{A}\hat{I}}}{\rho_{\hat{A}}}$$

коэффициент пропорциональности, определяемый в [2] как параметр пористости. Полагая, что геологическое строение разреза и пористость пород в течение времени между циклами наблюдений остались неизмененными и, исходя из вышеприведенной формулы, можно предположить, что наиболее вероятной причиной изменений, приведенных на рисунке 3, является изменение удельного электрического сопротивления подземных вод. Предположение подтверждается результатами резистивиметрии, выполненной в гидрогеологических скважинах участка Балапан в 1988-1998 гг. Этими измерениями было установлено, что изменение солености подземных вод от 3 г/л до 10 г/л приводит к уменьшению их удельного электрического сопротивления от 4-5 до 1-1.2 Ом м. Если для объяснения наблюденных изменений электрических характеристик принять точку зрения, приведенную в [4], о подъеме сильно минерализованных вод по ослабленным зонам, то следует обратиться к участку профиля ПР-1 с газирующими скважинами 1313 и 1328 как к участку с наиболее активным массопереносом. В этой части профиля, где по данным дипольного электрического профилирования горные породы характеризуются повышенной электропроводностью, по данным резистивиметрии 1991-1998 гг. была установлена повышенная соленость подземных вод. Другие зоны - повышения электрического сопротивления, такие как в районе скважин 1340 и 1338, исходя из представления о фильтрации флюидов, могут быть объяснены нисходящими пресными атмосферными водами вдоль ослабленных зон.



1 - зоны относительного повышения (а) и понижения (о) кажущегося сопротивления; 2 – графики относительного изменения ρ_{κ} по съемкам 2001-2002 гг. (а); 2001-2003 гг. (б)

Рисунок 3. Площадка Балапан. Относительное изменение рк (%) по результатам трех циклов измерений методом дипольного электрического профилирования: а, б – по профилям ПР-1, ПР-2, соответственно; в, г – в разрезе до глубины 125 м по профилям ПР-1, ПР-2, соответственно

Третий цикл электрометрических наблюдений по профилям ПР-1 и ПР-2 проведен в 2003 г. Результаты сравнения наблюдений 2001г. и 2003 г. в виде графиков относительного изменения кажущегося электрического сопротивления, показаны также на рисунке 3. В 2003 г. практически полностью подтвердились изменения ρ_{κ} , выявленные в 2002 г. Некоторое установленное несоответствие отдельных пиков ρ_{κ} по измерениям 2002 и 2003 гг., может быть вызвано неидентичностью установки приемной линии MN (питающая линия AB заземлялась строго в лунки 2001 г.). Для оценки динамики изменения ρ_{κ} по наиболее значимым зонам рассчитано суммарное отклонение наблюденных значений ρ_{κ} по отношению к измерениям этого параметра в 2001 г. Всего выделено 5 таких зон: 1В - на ПР-1 ПК 850 - 1000; 2В – на ПР-1 ПК 1150 – 1200); 3 В - на ПР-1 ПК 1000 - 1150; 1Н - на профиле ПР-2, ПК 1100 – 1200; 2Н – на профиле ПР-2 ПК 1260 - 1300. Приращение значений ρ_{κ} по этим зонам за 2001 – 2003 гг. можно видеть на рисунке 3. Для зон с предполагаемой нисходящей водной фильтрацией (зоны 1Н и 2Н) следует ожидать наличие годовой цикличности, такой, как установлена, например, по результатам многолетних ре-

жимных электроразведочных наблюдений на Гармском геофизическом полигоне [3]. Здесь доказана корреляционная связь сезонного повышения кажущегося электрического сопротивления пород с временным режимом атмосферных осадков и таянием льдов. На участке Балапан подобное объяснение механизма формирования зон повышения кажущегося электрического сопротивления пород разреза, выявленных при режимных наблюдений, представляется вполне вероятным.

Для более детального представления о пространственном характере расположения выявленных зон построены фрагменты разрезов изоом, на которые вынесены возможные каналы (струи) фильтрации вод (рисунок 4).



1. 1 лины. 2. Кремнистые сланцы. 3. Углисто-глинистые сланцы. 4. 1 уфы среднего состава. 5. известняки.
 6. Изолинии ρ_κ. 7. Предполагаемые струи подземных вод: (а) - восходящие, (б) нисходящие.
 8. Области изменения солености подземных вод: (а) засоление, (б) опреснение. 9. Боевые скважины и их номера.

Рисунок 4. Участок Балапан. Гидродинамические модели миграции подземных вод по данным ДЭП: а, б –профиль ПР-1; в, г – профиль ПР-2; а, в - разрезы изоом с возможными каналами движения подземных вод; б, г - схематические геологические разрезы с возможными каналами движения подземных вод

На профиле ПР-1 зона 1В предполагаемой восходящей фильтрации засоленных глубинных вод состоит из двух групп струй, одна из которых приурочена к углистым породам (низкоомная часть разреза), а вторая – к более высокоомным породам. В 2003 г зона, сохранив общую конфигурацию, судя по значениям ρ_{κ} , как бы активизировалась. В непосредственной близости от зоны расположены две боевых скважины, в которых были проведены подземные ядерные взрывы (ПЯВ) в декабре 1984 г. (скв. 1313, 137кТ) и в январе 1989 г. (скв. 1328, 118кТ). Время проведения последнего взрыва наиболее близко ко времени проведения режимных электроразведочных работ. Поэтому можно высказать предположение о том, что причиной существования восходящих флюидов вблизи скважин 1313 и 1328 может служить тепло, сохранившееся со времени проведения ПЯВ в этих скважинах, что не противоречит положению из [1,7] о том, что флюидный поток ориентирован в сторону уменьшения температуры. Возможно, что в соответствии с [5], зоны восходящих флюидов в изученной части разреза могут представлять собой продолжение регионального тепло- и массопереноса, обусловленного глубинной температурной аномалией, выявленной в пределах Семипалатинского испытательного полигона.

Предполагаемая картина распределения и движения нисходящих и восходящих флюидов вдоль зон изменения кажущегося электрического сопротивления пород приведена на гидродинамических моделях, построенных на основе совокупности данных 2001-2003 гг., для соответствующих фрагментов вертикальных сечений профилей ПР-1 приведенные на рисунке 4.

В разрезе по профилю ПР-2 также показаны возможные каналы (струи) миграции подземных вод. Зоны восходящих потоков глубинных соленых вод, выявленные на профиле ПР-2, располагаются вблизи боевых скважин 1209 и 1309 (в 600 м от ПР-2) и скважины 1010, что значительно повышает вероятность существования функциональной связи гидродинамики подземных вод с воздействием ПЯВ на геологическую среду.

Характерной особенностью распределения флюидопотоков на обоих разрезах является их при-

уроченность к зонам пониженных сопротивлений или градиентным частям поля ρ_{κ} (переход от высокоомных областей к более низкоомным). В геологическом плане, первые представлены зонами тектонических нарушений с повышенной трещиноватостью и пористостью, вторые – контактами (в том числе, тектоническими) пород различного литологического состава.

Очевидно, что для получения сведений о пространственном положении выявленных зон изменения рк горных пород, трактуемых нами как фильтрационные потоки атмосферных и подземных вод, необходимо продолжение режимных измерений по расширенной программе, включающей и экологические аспекты. Восходящие флюиды могут представить серьезную экологическую опасность как возможные активные агенты транспортировки техногенных радионуклидов к водоносным горизонтам. Так, в непосредственной близости от зоны 1В предполагаемых восходящих флюидов в скв. 4018 при гамма-спектрометрическом каротаже установлена аномалия Cs -137 в верхней части разреза с содержанием до 400 Бк/кг. Изучение поляризуемости горных пород, данные по которым получены по площадке Балапан впервые, следует продолжить в более широком масштабе и более целенаправленно.

Литература

- 1. Адушкин В.В., Спивак А.А. Основные закономерности движения подземных вод при крупномасштабных подземных взрывах//Физика земли, 1992. № 3.
- 2. Дахнов В.Н. Электрическая разведка нефтяных и газовых месторождений. ГНТИ нефтегазовой и горно-топливной литературы, 1951.- М.
- 3. Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Аномальная зависимость амплитуды сезонных вариаций кажущегося сопротивления от разноса//Доклады Академии наук, 2003. - том 388, № 3. - С. 387 - 391.
- Коновалов В.Е., Пестов Е.Ю., Распопов Н.Я. Некоторые особенности подземных вод участка Балапан по данным текущего обследования глубоких скважин//Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2002.- вып. 2. – С. 96 – 99.
- 5. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Новые данные о структуре поля поглощения поперечных волн в районе
- Семипалатинского полигона// Вестник НЯЦ РК Курчатов: НЯЦ РК, 2001. вып. 2. С. 108 116.
- Мурзадилов Т.Д., Беляшов Д.Н., Глущенко В.Н. Логвинов О.В., Моренко В.С., Стромов В.М., Глущенко Г.М. Теоретическая оценка деструкции горных пород под воздействием серии подземных ядерных взрывов на участке Балапан//Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК. - Курчатов: НЯЦ РК, 2000. - Вып. 2. - С. 123 – 126.
- Родкин М.В. Роль глубинного флюидного режима в геодинамике и сейсмотектонике/Результаты исследований по международным геофизическим проектам, 1993. – М.

БАЛАПАН АЛАҢЫНДА РЕЖІМДІ ЭЛЕКТРБАРЛАУ ЖҰМЫСТАРЫНЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІ

Стромов В.М., Кабайлов А.Н., Дроздов А.В.

КР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Семей сынау полигонының Балапан алаңында үш жылдық режімді электрбарлау жұмыстары, тау жыныстар белдемдерінің ауыспалы электр өткізгіштігімен екі тобын оқшаулауына мүмкіндік берген, олардың біреуі – тұздылығы жоғары терендегі сулардың көтерілу белдемі (электр кедергісінің төмендеу белдемдері), екіншісі – төмен түсетін атмосфералық тұщы сулар белдемдері (электр кедіргесінің жоғарылау белдемдері) ретінде пайымдалуда. Көтерілетін флюидтер белдемдерінің модельдері құрастырылған, олар жер астындағы ядролық жарылыстар өткізілген ұңғымаларына кеңістіктік ұштастырылғаны көрсетілген. Сондай белдеміне жақын орналасқан зерттелген гидрогеологиялық ұңғымасының біреуінде ¹³⁷Сs жоғары мөлшері анықталған.

RESULTS OF REGIME ELECTRIC SURVEY AT BALAPAN SITE

V.M. Stromov, A.N. Kabailov, A.V. Drozdov

Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Three year regime electric surveys at Balapan site of Semipalatinsk Test Site allowed to explore and localize two groups of zones with changeable electroconductivity of rocks, which are interpreted by authors as follows: one – as zones of ascending deep water of increased salinity (zones of decrease electric resistance), second – as zones of descending sweet atmosperic water (zones of increase electric resistance). Schematic models of ascending fluids zones are composed, their space timeness to the boreholes is showed, which underground nuclear explosions were conducted in. The increased contents of 137 Cs was discovered in one of the researched hydrogeological boreholes, located near by such zone.

УДК 551.14:550.83

ЗЕМНАЯ КОРА И ВЕРХНЯЯ МАНТИЯ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ ПЛОЩАДНЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ

¹⁾Соловьев В.М., ²⁾Селезнев В.С., ¹⁾Лисейкин А.В., ¹⁾Жемчугова И.В.

¹⁾Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, Россия ²⁾Геофизическая служба СО РАН Новосибирск, Россия

Статья посвящена результатам интерпретации сейсмологических данных, зарегистрированных сетью станций Алтае-Саянского региона. Применялись площадная система наблюдений методом преломленных волн при изучении строения поверхности Мохоровичича и метод сейсмической томографии, адаптированный к сейсмологическим данным, при изучении строения верхней части земной коры. Получены данные о строении верхней части земной коры и верхней мантии в центральной и южной части Алтае-Саянского региона на площади 600х400 км, а также сведения о строении верхней части земной коры неизученного ранее участка южного и восточного флангов Алтае-Саянской складчатой области.

Введение

Алтае-Саянская складчатая область является одной из самых сейсмоактивных в Российской Федерации (рисунок 1). Сейсмическая активность, связанная во многом с воздействием внешних сил от коллизии Индостан-Евразия, проявляется в активизации древних разломов и в высвобождении энергии в виде крупных землетрясений. Для выяснения механизмов образования землетрясений и оконтуривания наиболее сейсмоопасных зон необходимы детальные геофизические сведения о строении среды и, прежде всего, данные о распределении скоростей P- и S-волн в земной коре.



8 - эпицентры промышленных взрывов; 9 - район площадных сейсмологических исследований

Рисунок 1. Схема наблюдений в пределах Алтае-Саянской складчатой области

Имеющиеся данные предыдущих исследователей о глубинном строении Алтае-Саянского региона получены в основном в результате проведения работ методом ГСЗ по региональным профилям [1, 2] и для решения поставленной задачи недостаточны. В то же время, анализ сейсмической активности региона показал, что здесь практически повсеместно происходят землетрясения. За период инструментальных наблюдений накоплено огромное количество сейсмических данных (несколько десятков тысяч записей) о землетрясениях, которые могли бы быть использованы для изучения глубинного строения региона. Кроме того, даже в относительно спокойных в отношении сейсмичности районах Алтае-Саянского региона в течение нескольких лет регистрируются тысячи промышленных взрывов по различным направлениям, которые могли бы быть использованы в тех же целях. Однако широкое использование сейсмологических данных для получения информации о глубинном строении сейсмоактивного региона ограничено рядом причин. Среди них такие, как большая погрешность исходных сейсмологических данных (времени в очаге t0, временах вступлений сейсмических волн, параметрах гипоцентра), отсутствие сведений о начальной модели среды и др. Учитывая ситуацию, авторы разработали методику площадной интерпретации сейсмологических данных, в рамках которой основная часть вышеперечисленных недостатков снимется путем применения специальных методических приемов. Сущность предлагаемой методики заключается в построении поверхностных годографов прямых Pg- и Sg-волн и преломленных по поверхности Мохоровичича Pn- и Sn-волн, зарегистрированных сетью сейсмологических станций, определении по ним поверхностных градиентов и связанных с ними упругих параметров среды. При таком подходе используются не абсолютные значения времен пробега, отягощенные погрешностями, а относительные данные, из которых исключаются абсолютные характеристики время в очаге и координаты гипоцентров.

МЕТОДИКА ПЛОЩАДНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Методические вопросы интерпретации данных площадных наблюдений преломленных волн в рамках изотропной и анизотропной моделей сред и результаты площадных работ с использованием взрывов для юга Западной Сибири и Якутии подробно изложены в [3-5]. Основные принципы интерпретации данных заключаются в следующем. Пусть наблюдательными станциями, при некоторой их плозарегистрированы шалной расстановке, преломленные волны от источников, расположенных вне площади. С использованием специализированных программ интерполяции строятся поверхностные годографы преломленных Р- и S-волн, по которым вычисляются горизонтальные градиенты времен и связанные с ними упругие параметры среды. При этом предполагается, что преломляющая граница является локально плоской на участке двойного сейсмического сноса; скорость в покрывающей среде известна; распределение граничной скорости может быть как изотропным, так и анизотропным. По данным преломленных волн в рамках изотропной модели среды восстанавливаются граничная скорость, углы и азимуты наклона границы. С использованием азимутов и углов наклона границы, а также опорных глубин в нескольких точках площади по априорной информации (например, результатам ГСЗ по профилям) строится преломляющая поверхность.

Данная методика применена для изучения строения поверхности Мохоровичича в центральной части Алтае-Саянской складчатой области. При интерпретации использовались базы данных несколькими тысячами событий, происшедших с 1984 г. по 1992 г. Из этой выборки отобрано около 30-40 годографов преломленных по поверхности Мохоровичича Рп- и Sn-волн. Столь малое количество отобранных годографов объясняется не только значительной отбраковкой событий, но и трудностями отбора кондиционных данных, полученных практически всей сетью наблюдений. Так, в юговосточной части региона минимальные расстояния между отдельными станциями достигают 200-300 км, и отсутствие данных, хотя бы по одной из них, увеличивает интервал интерполяции до 400-500 км. Такие данные для построения поверхностных годографов не использовались. События, зарегистрированные не всей сетью станций, а только их частью, использовались для определения элементов поверхностных годографов по тройкам точек.

Наряду с изучением поверхности Мохоровичича по преломленным Pn- и Sn-волнам, изучено трехмерное строение верхней части земной коры (глубиной до 10 км) центральной части Алтае-Саянской складчатой области по временам вступлений Ро- и Sg-волн. С этой целью разработана комбинированная методика интерпретации данных с использованием вышеописанной площадной интерпретации данных, а также томографических построений. Методика заключалась в построении поверхностных градиентов по элементам поверхностных годографов Рд- и Sg-волн, зарегистрированных тройками сейсмологических станций. По построенным градиентам вычислялись относительные времена пробега на отрезках сейсмических лучей в заданных направлениях. Общее количество отобранных векторовградиентов составило около 50000 значений для Pgи 70000 для Sg-волн. Полученные относительные времена пробега на отрезках сейсмических лучей были использованы в качестве исходных данных для томографических построений, что существенным образом снижало ошибки определений по сравнению с использованием в качестве исходных данных абсолютных значений параметров t0 и координат гипоцентров. Применена методика лучевой сейсмической томографии на временных задержках, которая подробно изложена в [6] и которая состоит в следующем: исследуемая область среды разбивается на блоки с постоянной скоростью, значения которой задается согласно априорной референтной модели; лучи аппроксимируются ломанными; времена пробега определяются суммой времен по всем сегментам этой ломанной; по полученным суммам составляется система линейных уравнений, правой частью которых являются невязки между наблюденными временами и временами, рассчитанными по референтной модели; решается система уравнений, результатом которой является распределение невязок скоростей к исходной модели среды.

При построении траекторий сейсмических лучей были сделаны некоторые допущения относительно изучаемой модели среды, в частности, что Pg- и Sgволны распространяются в ней практически как прямые волны. Некоторое обоснование этого допущения следует из анализа сводных редуцированных годографов волн Рд и продольных волн от взрывов на небольших расстояниях, полученных при проведении ГСЗ в Алтае-Саянском регионе. Годограф первых вступлений волн от взрывов для северозападной части территории представляет последовательную смену волн: Р-волна распространяется практически как прямая волна со скоростью 5.6-5.8 км/с до 80-100 км, сменяется на этих расстояниях коровой преломленной волной со скоростью 6.2-6.4 км/с, а на удалении свыше 200 км - преломленной волной от поверхности Мохоровичича. На некоторых годографах волна, характеризующаяся скоростью 5.8-6.0 км/с прослеживается до смены ее преломленной волной от поверхности Мохоровичича на удалении 200 км. Сейсмические разрезы по данным ГСЗ показывают существенное увеличение скорости в земной коре от 5.7 км/с, в верхней части, ло 7.5 км/с. в ее низах. По сводным годографам Револн от промышленных взрывов и землетрясений на удалении в сотни километров не отмечено увеличение значений скорости до 6.5-7.0 км/с, соответствующей скорости средней и нижней частей земной коры. Именно это обстоятельство позволяет принимать Pg- и Sg-волны как прямые волны в верхней части земной коры.

Для построения исходной референтной модели среды использованы данные региональных профилей ГСЗ и вибросейсмических исследований, полученные в основном в северной и северо-западной частях исследуемой области. Из-за отсутствия данных о глубинном строении земной коры в центральной части Алтае-Саянского региона, для референтной модели здесь была принята сводная зависимость скоростей Ри S-волн, полученная по региональным данным ГСЗ.

Размеры блоков с восстанавливаемой скоростью при томографической обработке сейсмических данных составляли 100×100 км по латерали и 3 км по глубине. Столь крупные размеры блоков по латерали связаны с особенностями системы наблюдений в Алтае-Саянской складчатой области, а именно, расстоянием между сейсмологическими станциями, которое составляет порядка 100 км. Учитывая большие эпицентральные расстояния (200-1000 км) и малую глубину расположения землетрясений в Алтае-Саянском регионе (10-20 км), распределения скоростей, получаемые по Рg- и Sg-волнам, фактически отражают площадное распределение пластовых скоростей в верхней части земной коры (5-

10 км). Поэтому при томографической обработке данных распределение скоростей было изучено до глубины 9 км (3 слоя по 3 км).

Результаты площадной интерпретации сейсмологических данных в центральной части Алтае-Саянской складчатой области

На рисунке 2 представлены результаты интерпретации данных по преломленным продольным волнам от поверхности Мохоровичича с использованием поверхностных годографов по описанной выше методике. Как видно из рисунка 2 а, значение скорости продольных волн в целом для всей площади составляет 8.0±0.3 км/с. Выделяются участки с пониженными значениями скорости - от 7.7 км/с до 7.9 км/с - в западной, восточной и северной частях исследуемой территории и с повышенной скоростью - от 8.1 км/с до 8.3 км/с - в южной ее части.



Рисунок 2. Результаты интерпретации данных Pn- и Sn-волн в Алтае-Саянском регионе

На рисунке 26 даны значения граничных скоростей преломленных поперечных волн по поверхности Мохоровичича. Значения граничной скорости поперечных волн в целом для всей площади изменяются от 4.4 до 4.6 км/с. Имеются участки, характеризующиеся небольшим повышением значений скорости поперечных волн до 4.5-4.6 км/с в восточной и западной частях исследуемого региона и участок с пониженным значением скорости до 4.4 км/с в центральной его части.

С использованием данных о глубинах залегания поверхности Мохоровичича, полученных на опорных профилях ГСЗ в Алтае-Саянском регионе, проведено восстановление глубины залегания преломляющей поверхности в пределах всей изучаемой площади. Как видно из рисунка 2в, глубина залегания поверхности Мохоровичича изменяется от 45 км до 55 км. Отмечен региональный наклон поверхности Мохоровичича на юго-восток и юг. Поскольку данные о глубинах заверены результатами региональных исследований, в северной части территории, в южной части сведения о распределении глубин должны быть уточнены при дальнейших дополнительных исследованиях.

На рисунке 3 для изучаемого региона представлены результаты интерпретации прямых продольных волн землетрясений по описанной комбинированной методике (включающей томографическую обработку) до глубины 9 км по трем 3-х километровым слоям. Значения скорости продольных волн верхнего слоя земной коры (0-3 км), как это видно из рисунка 3 а, в пределах всей изучаемой площади изменяются от 5.2 до 6.1 км. Отчетливо выделяются зоны с пониженными до 5.2-5.6 км/с значениями скорости в западной, северо-западной, северо-восточной и юговосточной частях территории, соответствующих в тектоническом отношении участкам крупных межгорных впадин - Бийско-Барнаульской, Кузнецкой, Минусинской и Тувинской.



Рисунок 3. Распределение скоростей продольных (а) и поперечных (б) волн в верхней части земной коры Алтае-Саянского региона по трем слоям (0 – 3 км; 3 – 6 км; 6 – 9 км)

Кроме того, выделяется крупный блок с пониженным до 5.7 км/с значением скорости продольных волн в южной части, соответствующий западному окончанию Западно-Саянской складчатой системы. Участкам с повышенными до 6.1 км/с значениями скорости продольных волн в юго-западной, северной и восточной частях исследуемой территории соответствуют складчатые области Горного Алтая, Кузнецкого Алатау и восточного окончания Западно-Саянской складчатой системы.

На глубинах от 3 км до 9 км скорость продольных волн изменяется от 5.9 км/с до 6.5 км/с. В слое 3 - 6 км выделяется протяженная зона с пониженными значениями скорости до 5.9 - 6.0 км/с в западной, центральной и восточной частях исследуемой области, которые в тектоническом отношении соответствуют участкам Бийско-Катуньского блока и Западно-Саянской складчатой системы. Участки с повышенными до 6.3 - 6.5 км/с значениями скорости продольных волн в юго-западной, северной и северо-восточной частях области соответствуют складчатым системам Горного Алтая, южному окончанию Кузнецкого Алатау и Минусинской дуги. На глубинах 6 - 9 км также выделяются зоны с пониженными до 6.1 км/с значениями скорости в восточной и западной частях исследуемой территории, которым соответствуют участки Бийско-Катуньского блока и восточного окончания Западно-Саянской складчатой системы. Участки с повышенными значениями скорости до 6.3 км/с в югозападной, северо-западной, центральной и восточной частях территории соответствуют Горному Алтаю и переходной зоне между Западным Саяном и Минусинской складчатой системой.

На рисунке 3б представлены результаты интерпретации Sg-волн в верхней части земной коры. Значения скорости поперечных волн для верхнего слоя (0 - 3 км) по всей площади изменяются от 2.8 до 3.5 км/с. Отчетливо выделяются зоны с пониженными до 2.8 - 3.1 км/с значениями скорости в западной, северо-западной, северо-восточной и юго-восточной частях области, в тектоническом отношении отвечающим участкам крупных межгорных впадин - Бийско-Барнаульской, Кузнецкой, Минусинской и Тувинской. Участкам с повышенными значениями скорости до 3.5 км/с в юго-западной, северной и центральной частях исследуемой территории соответствуют складчатые области Горного Алтая, Кузнецкого Алатау и Западного Саяна. На глубинах от 3 до 9 км скорость поперечных волн изменяется от 3.5 км/с до 3.75 км/с. На глубинах 3 - 6 км выделяются зоны с пониженными значениями скорости до 3.5 - 3.55 км/с в западной и восточной частях исследуемой области, которые в тектоническом отношении соответствуют участкам Бийско-Барнаульской впадины и восточным окончаниям Западно-Саянской и Тувинской складчатых систем. Имеются участки с повышенными значениями скорости поперечных волн до 3.7 км/с в южсеверной и восточной частях области, ной,

отвечающие складчатым системам Кузнецкого Алатау, западному окончанию Западного Саяна и южному окончанию Тувы. На глубинах 6 - 9 км также выделяется зона с пониженными значениями скорости до 3.6 км/с в западной части территории, которой соответствуют участок Бийско-Катуньского блока. Участок с повышенными значениями скорости до 3.75 км/с в восточной части территории соответствует восточным окончаниям Западного Саяна и Минусинской дуги.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЛОЩАДНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЮЖНОГО И ВОСТОЧНОГО ФЛАНГОВ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

Предпринята попытка изучить строение верхней части земной коры юго-восточного фланга Алтае-Саянской складчатой области по данным площадных сейсмологических систем наблюдений. Как можно видеть из рисунка 1, регистрирующие станции сейсмологической сети расположены в северной части обследуемой территории, причем наибольшая плотность станций приходится ее на северо-западную часть в связи с чем все предыдущие исследования были направлены на изучение именно этого участка региона. Однако эпицентры сейсмических событий рассредоточены по всей территории Алтае-Саянского региона, имея наибольшую плотность в его южной, центральной и восточной частях, что позволяет надеяться на получение дополнительных сведений о глубинном строении этой, ранее неизученной части территории.

Анализ применимости методики площадной интерпретации преломленных волн для изучения строения южной и восточной части Алтае-Саянского региона показал, что необходимо было построить несколько поверхностных годографов (не менее трех), приведенных к пункту приема. Использование напрямую годографов Рg- или Sg-волн могло привести к большим погрешностям определения поверхностных градиентов из-за больших ошибок определения времени в очаге. Кроме того, ошибки определения параметров эпицентра землетрясений на территории, не занятой сейсмостанциями, также могут быть значительными и могут составлять 50-100 км. Поэтому избран другой подход для решения данной проблемы.

В качестве исходных данных использованы не годографы продольных или поперечных волн, а их разница, т.е. годограф T=Ts-Tp, что снимает большую часть ошибок, связанных с ошибками определения t0. Результатом интерпретации годографов *Ts* - *Tp* является распределение параметра (1/Vs - 1/Vp)или $Vp/(\gamma - I)$, где $\gamma = Vp/Vs$, связанного со скоростями продольных и поперечных волн и имеющего размерность км/с.

Однако оказывается не снятой еще одна проблема, связанная с очень неравномерным распределением эпицентров землетрясений - из-за их приуро-

ченности к зонам глубинных разломов имеются участки с большой плотностью источников. В таких зонах ошибка определения градиентов может быть очень большой, если учитывать, что ошибка снятия времен вступлений по записям аналоговой аппаратуры составляет около 1 с. В этой связи проведена первичная обработка исходных записей, которая состояла, во-первых, в отбраковке некачественных данных, во-вторых, в сглаживающей аппроксимации данных и, в-третьих, в выборе базы дифференцирования для вычисления градиентов. В результате из экспериментальных данных было отобрано 12 годографов Ts-Tp, приведенных к пункту приема, удовлетворяющих следующим условиям: качественные времена вступлений, количество точек наблюдения не менее 400. Для получения большего количества информации, область исследования была разбита на 2 части: южную и восточную. Для каждой из них было выбрано по 8 годографов с условием удаленности источника не менее 200 км от исследуемой территории. Все годографы были сглажены способом скользящего среднего (100х100км, шаг 50 км) и была проведена интерпретация методом поверхностных годографов с тремя базами дифференцирования (10, 50 и 100 км).

Результаты интерпретации годографов Ts - Тр представлены на рисунке 4. Как отмечалось предыдущими исследованиями, гипоцентры землетрясений в Алтае-Саянском регионе сосредоточены в основном на глубине 10-20 км. Поэтому результаты данных исследований относятся к верхней части земной коры для глубин порядка 10-20 км. Как видно из рисунка, в исследуемой области выделяется протяженная зона с пониженным значением параметра до 7.5-8.0 км/с в южной и юго-восточной части и зоны с повышенным значением параметра до 8.8-9.2 км/с в западной, центральной и восточной части. Проведенный анализ полученных результатов показывает на корреляцию параметра Vp/(γ - 1) с зонами повышенной и пониженной сейсмичности региона: в большей мере участки повышенной сейсмичности приурочены к переходным (градиентным) зонам между повышенными и пониженными значениями указанного параметра.



1- эпицентры крупных (К>12) землетрясений за период 1984-2003 гг.; 2- эпицентральная зона Чуйского землетрясения.

Рисунок 4. Распределение параметра Vp/(γ-1) в верхней части земной коры Алтае-Саянской складчатой области

Заключение

В результате проведенных исследований изучено глубинное строение верхней части земной коры и верхней мантии в центральной части Алтае-Саянской складчатой области на площади 600х400 км. Для интерпретации сейсмологических данных преломленных волн по поверхности Мохоровичича

была использована методика площадных систем наблюдений преломленных волн, широко применяемая при региональных исследованиях в Якутии и Восточной Сибири. Для изучения скоростной структуры верхней части земной коры по данным Pg- и Sg-волн была применена комбинированная методика на основе площадной интерпретации данных и томографических построений.

По данным преломленных волн по поверхности Мохоровичича построены распределения граничных скоростей продольных и поперечных волн и гипсометрическое положение поверхности Мохоровичича в Алтае-Саянском регионе. Установлено, что скорость продольных волн по поверхности Мохоровичича изменяется от 7.7 км/с до 8.3 км/с. Граничная скорость поперечных волн по преломляющей поверхности изменяется от 4.4 км/с до 4.6 км/с. Глубина залегания поверхности Мохоровичича изменяется от 45 км до 55 км с региональным погружением в юго-восточном направлении.

По данным прямых Pg- и Sg- волн от землетрясений построены трехмерные распределения значений скоростей продольных и поперечных волн в верхней части земной коры в интервале глубин 0-9 км. Значения скорости продольных волн для верхнего слоя (0 – 3 км) по всей площади изменяются от 5.2 до 6.1 км/с. На глубинах от 3 км до 9 км скорость продольных волн в пределах изучаемой площади изменяется от 5.9 до 6.5 км/с. Значения скорости поперечных волн для верхнего слоя (0 - 3 км) по всей площади изменяется от 5.9 до 6.5 км/с. На глубинах от 3 км до 9 км скорость поперечных волн для верхнего слоя (0 - 3 км) по всей площади изменяется от 2.8 до 3.5 км/с. На глубинах от 3 км до 9 км скорость поперечных волн в пределах изучаемой площади изменяется от 2.8 до 3.5 км/с.

По данным разностных годографов Sg-Pg определено строение верхней части земной коры неизученного ранее южного и восточного фланга Алтае-Саянской складчатой области. Параметр $Vp/(\gamma - 1)$ в пределах исследованной территории изменяется от 7.5 км/с до 8.2 км/с, выделяется протяженная зона с пониженным его значением в южной и юговосточной части и с повышенным значением в западной, центральной и восточной частях. Установлено, что градиентные зоны параметра $Vp/(\gamma - 1)$ коррелируются в большей мере с участками повышенной сейсмичности региона.

Полученные результаты не противоречат и существенно дополняют имеющиеся сведения о глубинном строении Алтае-Саянского региона. В дальполучения нейшем, после дополнительных сейсмологических данных с цифровых сейсмостанций, описанная методика площадной интерпретации может быть использована для получения более точных сведений о глубинном строении Алтае-Саянского региона. Приведенные в настоящей работе распределения скоростей продольных и поперечных волн в верхней части земной коры и по поверхности Мохоровичича могут быть использованы в качестве априорной референтной модели, что будет способствовать более детальному изучению строения среды. Полученные данные о глубинном строении земной коры важны также для повышения точности определения гипоцентров сейсмических событий по редкой сети станций Алтае-Саянской складчатой области, ошибки определения местоположения которых в отдельных частях региона достигают 50-ти и более километров.

Литература

- 1. Глубинные сейсмические исследования в Западной Сибири. М.: Наука, 1970. 128 с.
- 2. Белоусов В.В., Павленкова Н.И., Егоркин А.В. и др. Глубинное строение территории СССР.- М.: Наука, 1991. 224 с.
- 3. Суворов В.Д. Глубинные сейсмические исследования в Якутской кимберлитовой провинции// Новосибирск: Наука, 1993 г.
- 4. Селезнев В.С., Соловьев В.М., Жемчугова И.В. Использование площадных систем наблюдений преломленных волн при глубинном сейсмическом зондировании//Геология и геофизика, 1991.- № 11.- С 128-142.
- Крылов С.В, Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р. и др. Детальные сейсмические исследования литосферы на Р- и Sволнах //Новосибирск: Наука, 1993. - 199 с.
- Нолет Г. Сейсмическая томография. С приложениями в глобальной сейсмологии и разведочной геофизике//Пер. с англ.-М.: Мир, 1990. - 416 с.

БАЙҚАУЫНЫҢ АУДАНДЫҚ СЕЙСМОЛОГИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ІНІҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША АЛТЙ-САЯН АЙМАҒЫНЫҢ ЖЕР ҚЫРТЫСЫ МЕН ЖОҒАРЫ МАНТИЯСЫ

¹⁾Соловьев В.М., ²⁾Селезнев В.С., ¹⁾Лисейкин А.В., ¹⁾Жемчугова И.В.

¹⁾РҒА СБ Геофизикалық қызметінің Алтай-Саян филиалы, Новосибирск, Ресей ²⁾ РҒА СБ Геофизикалық қызметінің, Новосибирск, Ресей

Мақала, Алтай-Саян аймағының станциялар желісімен тіркелген сейсмологиялық деректерін өзімше пайымдау нәтижелеріне арналған. Жер қыртысының жоғары бөлшегін зерделеуіндегі сейсмологиялық деректеріне бейімделінген Мохохорович бетін зерделеуіндегі және сейсмикалық томографиясындағы сынған толқындарын байқауының аудандық жүйелер әдістемелері қолданылған. Алтай-Саян аймағының орталық және онтүстік бөлшегінде 600х400 км. алаңында жер қыртысының жоғары бөлшегінің және жоғары мантиясының құрылысы туралы деректер, сондай-ақ Алтай-Саян қатпарлы облысының бұрын зерделенбеген онтүстік және шығыс бөлікшелерінің жер қыртысының жоғары бөлшегінің құрылысы туралы мағлұматтар алынған.

EARTH'S CRUST AND UPPER MANTLE OF THE ALTAY-SAYAN REGION OBTAINED BY AREAL SEISMOLOGICAL OBSERVATION SYSTEMS

¹⁾V.M. Solovjev, ²⁾V.S. Seleznev, ¹⁾A.V., Liseikin, ¹⁾I.V. Zhemchugova

¹⁾Altay-Sayan branch of Geophysical Survey SB RAS, Novosibirsk, Russia ²⁾Geophysical Survey SB RAS, Novosibirsk, Russia

The paper is devoted to an interpretation of seismological data that obtained from regional seismological net of the Altay-Sayan region. An approach of head-wave areal observation systems was used for investigation of the Mohorovichich surface structure. A method of seismic tomography that was adapted for seismological data was used for investigation of the Earth's crust upper part structure. Both Earth's crust upper part and upper mantle structure in the central part of the Altay-Sayan region was formulated as a result of the survey on the territory of 600x400 km. Moreover information of the Earth's crust upper part structure in the south and east part of the Altay-Sayan fold area that not investigated early was received.
УДК 551.14:550.83

СКОРОСТНЫЕ МОДЕЛИ ЛИТОСФЕРЫ ВЫСОКОЙ АЗИИ ПО СИСТЕМЕ ГЕОТРАВЕРСОВ

Нусипов Е.Н., Оспанов А.Б., Шацилов В.И.

Институт сейсмологии МОН РК, Алматы, Казахстан

В статье приведены результаты моделирования литосферы так называемой высокой Азии - региона, занятого молодыми сейсмоактивными орогенами, к которым с северо-запада примыкает слабосейсмичный Казахский щит. Моделирование выполнено с использованием ретроспективных материалов по системе геотраверсов - 2D томографии земной коры по первичным данным глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и региональной сейсмометрии, - а также 3D томографии верхней мантии до глубины 500 км (Xu Yi, 1999). Получена новая информация о плюмтектонических процессах в верхней мантии под орогенами Тянь-Шаня и Центральной Азии: локализовано положение плюмовых каналов из нижней мантии от среза 500 км до подкорового уровня, выявлены особенности строения коры орогенов и прилегающих платформ. Установлено, что сейсмичность в региональном плане формируется геодинамическими процессами в верхней мантии, определяющими особенности строения земной коры.

Введение

К настоящему времени сформировалось представление о том, что для более глубокого понимания геодинамических, в том числе сейсмических, процессов необходимо изучить, как минимум, строение литосферы высокосейсмичных территорий в их взаимосвязи с асейсмичными, не ограничиваясь только земной корой [1-3, 5-7, 12, 20]. В связи с сейсмичностью активно обсуждаются проблемы горообразования, однако предлагаемые модели нередко абстрактны и умозрительны, в чем можно убедиться на последних материалах, таких как, например [2]. В этом отношении наиболее актуальна проблема источника тектонических сил, возможных связей коровых процессов с динамикой вещества верхней мантии. Исходная аксиоматика данного исследования созвучна с фундаментальными утверждениями [3]:

- Геологические, геохимические и экспериментальные данные подтверждают модель двухслойной мантийной конвекции в комбинации с двухэтажными мантийными плюмами (горячих полей).
- Тектоника плюмов отражает процессы в нижней мантии и связана с восходящими потоками и (или) мантийными плюмами, которые генерируются на границе ядро-мантия и в дальнейшем трансформируются на границе верхняя мантия – нижняя мантия. Сейсмоактивный орогенический пояс Казахстана

Сеисмоактивный орогенический пояс Казахстана обрамляет с юга и востока структуры молодой платформы – Туранскую плиту и Казахский щит. Отличительной чертой структуры горных сооружений является взбросовое коробление коровых блоков субширотных хребтов, а их северо-западные ответвления обусловлены поднятием блоков по трансрегиональным взбросо-сдвигам. Эти системы взбросов и взбросо-сдвигов сейсмоактивны. С ними связан ряд так называемых сейсмогенерирующих зон очагов сильных землетрясений [5, 10]. В последние годы, благодаря развитию сетей сейсмометрии [4], выяснилось, что и в платформенных регионах, считавшихся ранее асейсмичными, происходят землетрясения. Таким образом, является актуальной проблема изучения влияния особенностей строения земной коры и всей литосферы Казахстана на уровень сейсмической активности различных тектонических сегментов. В связи с этим важной задачей представляется выявление наиболее общих закономерностей строения земной коры и верхней мантии рассматриваемого региона и возможной связи с ними основных новейших морфоструктур (орогенов и платформ). Наиболее эффективным способом, ведущим к решению этой задачи, является структурно-скоростное моделирование, обсуждению и интерпретации последних результатов которого посвящена настоящая работа.

ФАКТОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА

Исходной экспериментальной базой 2D и 3D структурно-скоростного моделирования земной коры и зоны ее перехода к верхней мантии явились ретроспективные материалы методов ГСЗ, ГСЗ-МОВЗ и современной профильной томографии, представительность методики обработки и результаты которых обсуждены в [5, 10, 13, 15-18]. Важной новой информацией, частично использованной в [13], предметно обогащающей и географически расширяющей представления о скоростной структуре литосферы Центральной Азии, явились данные детальной сейсмической 3D томографии мантии до глубины 500 км в пределах координат 30°-50°N и 70°-100°E [21, 22]. Результаты по земной коре получены и опубликованы в абсолютных значениях скорости, по мантии – в избыточных (%) значениях относительно ее обобщенной одномерной модели. В этих условиях совмещение данных (кора+мантия) оказалось наиболее просто реализовать не в 3D, а в 2D исполнении по выбранным направлениям (геотраверсам). Дополнительную новую информацию, представляющую интерес в комплексе с сейсмическими данными, составрезультаты магнитотеллурических ляют зондирований (МТЗ), выполненных на Тянь-Шане [9]. Скоростное моделирование литосферы (в абсолютных значениях Vp) для выявления закономерностей изменения пространственного положения верхнемантийных скоростных аномалий (плюмов) на гипсометрических уровнях от 500 км до подошвы земной коры проведено по четырем субширотным и шести субмеридиональным геотраверсам, совмещенным в плане с профилями метода магнитотеллурического зондирования (МТЗ) - рисунок 1.

Субширотные геотраверсы вдоль структур (с севера на юг): Северного (I), Срединного (II) и Южного (III) Тянь-Шаня, а так же по линии Афгано-Таджикская депрессия – Тибет (через Гиндукуш, Памир, Тарим) - IV, акцентированы на определение конфигурации и горизонтальных размеров плюмов по простиранию, а субмеридиональные геотраверсы V-X – вкрест простирания. Эпицентры коровых (H \leq 60 км), фиксирующих основные сейсмогенерирующие зоны региона, и мантийных (H > 60 км) сильных землетрясений (M \geq 6) за период 1973 – 2004 гг. показаны на рисунке 1 по данным сейсмологического каталога NEIC (National Event Information Center) Геологической службы США. Генерализованные Р-скоростные модели литосферы, построенные по геотраверсам I – X, представлены на рисунках 2 – 3 (субмеридиональным) и 4 - 6 (субширотным). На рисунках 2 - 6 по данным того же каталога NEIC отображено положение очагов землетрясений с магнитудой M \geq 5 в 50-километровой полосе вдоль геотраверсов.



1 – Геотраверсы субширотные: І-І – Северо-Тяньшаньский, ІІ-ІІ – Срединно-Тяньшаньский, ІІІ-ІІІ – Южно-Тяньшаньский, ІV-ІV – Афгано-Таджикская депрессия-Тибет. Субмеридиональные: V-V – Арысь-Балхаш-Славгородский, VI-VI – Памир-Сарыташ-Саякский, VII-VII – Меридиан 75⁰, VIII-VIII – Каскеленский, IX-IX – Иссыкский, X-X – Восточный; 2 - участок магнитотеллурического зондирования, выполненного Научной станцией ОИВТ РАН; 3 - магнитуда землетрясений за период 1973-2004 гг., мантийных и коровых.

Рисунок 1. Система геотраверсов Р-скоростного моделирования литосферы и эпицентры сильных землетрясений Центральной Азии

Очаги землетрясений с магнитудой M = 5, относящиеся, по мнению авторов, к фоновым, контролируют участки сейсмоактивной коры и локализацию сейсмичности в мантии (последние – за неимением достаточного числа более сильных за непродолжительный 30-летний период). Коровая часть моделей, помимо изолиний Vp с сечением 0,2 км/с, обобщенно (через 0,4 км/с) представлена цветовой гаммой соответственно геофизическим слоям, выделенным в результате сейсмогравитационного моделирования [15]. Самый верхний слой включает мезозойско-кайнозойский осадочный чехол и эродированную часть кровли палеозойского фундамента, характеризующиеся значесейсмической скорости Vp≤5,6 км/с и ниями плотностью $\rho < 2,6$ г/см³. Далее следует консолидированная земная кора, являющаяся одним из основных объектов моделирования. В ее пределах формируется подавляющее большинство очагов сильных землетрясений на Тянь-Шане. Кора подразделяется на верхний сиалический (гранитогнейсовый) и нижний базифицировнный комплексы. Сиалический комплекс состоит из двух подслоев – верхнего, представленного палеозойскими вулканогенно-осадочными образованиями, и нижнего, сложенного метаморфическими породами докембрия. Верхний подслой характеризуется значениями Vp=5,6-6,0 км/с и p=2,65 г/см³, нижний – Vp=6,0-6,4 км/с и p=2,75 г/см³. Базифицированный комплекс так же представлен двумя подслоями – верхним гранулито-гнейсовым со значениями Vp=6,4-6,8 км/с, р=2,85 г/см³ и нижним гранулит-базитовым со значениями Vp=6,8-7,2 км/с, ρ =2,95 г/см³. Ниже консолидированной коры до подошвы (граница М) фрагментарно выделена коромантийная смесь со значениями Vp>7,2 км/с, р=3,05 г/см³.

Для части территории в пределах координат 39°-52°N и 68°-80°E скоростные разрезы коры для геотраверсов составлены по результатам моделирования на основе глубинных сейсмических зондирований по густой сети профилей и поэтому могут считаться достаточно детальными и достоверными. Для остальной территории (рисунок 1) модели коры составлены по данным 3D томографии литосферы [21, 22] и характеризуются схематично. Это видно на частях геотраверсов, выходящих за пределы детально исследованного прямоугольника. Исключением является Памир-Сарыташ-Саякский геотраверс с детально изученной скоростной структурой коры, начиная от широты 36°N.

Скоростная модель верхней мантии от границы М до глубины 500 км на геотраверсах (рисунки 2 -6) представлена так же в изолиниях абсолютных значений Vp с сечением 0,2 км/с, в отличие от авторских [21,22] данных в %-ом отклонении от одномерной модели нормальной мантии. В качестве таковой принята модель Ansorge [19], значения которой от 8,2 км/с до 8,7 км/с с интервалом 0,1 км/с показаны на соответствующих гипсометрических уровнях по обеим сторонам мантийных частей скоростных разрезов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Региональной особенностью результатов структурно-скоростного моделирования литосферы по совокупности субмеридиональных и субширотных геотраверсов, отмеченной ранее [13, 15, 18] для пересечений Тянь-Шаня по меридиану Алматы, является весьма сложное чередование в верхней мантии близвертикальных и наклоненных «горячих» массопотоков активной мантии (пониженные значения Vp) с относительно «холодными» (повышенные значения Vp) во всем изученном диапазоне ее глубин под высокосейсмичными орогенами и плавная близгоризонтальная форма изолиний скорости со значениями, соответствующими нормальной мантии без плюмов, под асейсмичными (слабосейсмичными) платформами. Под орогенами с глубиной увеличивается доля относительно холодной мантии. Эта особенность рассматривалась нами как весьма характерная в плюмтектоническом аспекте геодинамики (в том числе сейсмичности) Тянь-Шаня, взаимодействующего с орогенами Высокой Азии и зонами их перехода к прилегающим платформам. В течение последних десятилетий нарастал поток информации о неоднородностях мантии Земли, выявленных сейсмической томографией. На основе этих данных Ю.М. Пущаровский с соавторами [8] ввел, а затем развил понятие нелинейных геодинамических процессов в мантии Земли [7]. Не касаясь глубоких внутримантийных структур, рассматриваемых в этих работах, обратимся к верхней мантии, подошва которой Пущаровским [8], Маруйямой [20], Добрецовым [3] и др. определяется уровнем 670 км.

Природа высокоскоростных включений в мантии, хаотично расположенных по Пущаровскому и относительно упорядоченных по Маруйяме, рассматривается первым в виде остатков масс, когда-то оторвавшихся от ядра и всплывших под воздействием центробежных сил, вторым - как объектов субдукционных процессов. Большинство исследователей проблемы сходятся во мнении относительно петрофизической интерпретации этих включений как массопотоков, опускающихся под воздействием избыточной силы тяжести на фоне нормальной мантии. При этом обязательным считается наличие встречных потоков облегченного, менее плотного, но более пластичного вещества, локализующихся в низах верхней мантии (в нашем случае на срезе 500 км) и дробящихся, расплывающихся по латерали при достижении ее самой верхней подкоровой части. Ю.М Пущаровский дает следующее обобщающее заключение о латеральной тектонической мобильности мантийных масс [6]: «...Будучи неоднородными в разных отношениях и испытывая эффекты воздействия эндогенных, ротационного и космических факторов, эти массы, находясь в неравновесном состоянии, подвержены горизонтальным движениям, являющимся ... общим свойством коры и мантии Земли».



а - I, Северо-Тяньшаньский (41.25N,69.167E; 44.083N,90.00E



б - II, Срединно-Тяньшаньский (41.083N,69.50E; 41.00N,76.00E; 43.283N,89.00E)

изолинии Vp, км/с; 2 – подошва земной коры; 3 – контуры низкоомных включений по данным электрометрии МТЗ, Ом·м;
значения Vp км/с одномерной модели мантии (нормальная мантия); 5 – зоны с отклонениями значений Vp относительно нормальной мантии: аномально (густая штриховка) и умеренно (редкая штриховка) повышенных; 6 – то же - пониженных.

Рисунок 2. Двумерные Р-скоростные модели земной коры и верхней мантии Центральной Азии по геотраверсам



а - III, Южно-Тяньшаньский (40.00N,69.667Е; 40.05N,76.00Е; 42.083N,89.00Е)



б - IV, Афгано-Таджикская депрессия – Тибет (38.067N,69.333E; 35.233N,89.00E)

Обозначения на рисунке 2.

Рисунок 3. Двумерные Р-скоростные модели земной коры и верхней мантии Центральной Азии по геотраверсам

Вновь полученной информацией, обусловленной значительным увеличением территории моделируемой литосферы по простиранию орогенов за счет субширотных геотраверсов, является выявленная пространственная локализация выхода каналов горячих плюмов из низов мантии на нижний гипсометрический уровень разрезов – 500 км. Строение верхней мантии рассматривается на фоне новейших морфоструктур региона (рисунок 7), среди которых важнейшими являются древние и молодые платформы, коллизионные (эпигеосинклинальные) и телеколлизионные (эпиплатформенные) горные сооружения [11]. Согласно модели В.Е.Хаина и Л.И.Лобковского, главная роль в процессе формирования коллизионных орогенов принадлежит «закачиванию» нижнекорового пластичного вещества в зону конвергенции нижнеярусных литосферных плит вследствие субдуцирования верхнемантийной части литосферы под Тибетскую плиту. Это подтверждалось теоретическими расчетами динамики коллизионного процесса, которые сопоставлялись с данными ГСЗ через Пиренеи и Швейцарские Альпы [12]. Характеризуемые ниже результаты обработки материалов сейсмотомографии [21, 22], соответствуют этой модели. Так, на субмеридиональных геотраверсах VI и VII (рисунки 4-5) видно, как в подкоровом пространстве высокоскоростная мантия субдуцирует под Гиндукуш и Памир с наклоном на север: на широте 36°N выделяются два слэба, характеризующиеся Vp=8,8 км/с, и с пережимами прослеживаемые до глубины 300 км. Ниже субдуцирующая масса расплывается по латерали и на 500 км доминирует. Этими же геотраверсами на границе Памира и Тянь-Шаня фиксируются слэбы с более крутым встречным падением: более контрастный относительно горячего плюма с максимальной концентрацией глубокофокусных очагов землетрясений на VI геотраверсе (рисунок 4б) и умеренный по этим показателям на VII геотраверсе (рисунок 5а). При субширотном пересечении тех же орогенов геотраверсом IV (рисунок 3б) наблюдается аналогичная картина встречного погружения мантийных слэбов под Памир с высокой концентрацией очагов землетрясений в зоне Гиндукуша. По совокупным данным о скоростной структуре мантии вырисовывается картина, по крайней мере, трехстороннего (с запада, севера и востока) субдуцирования мантийных слэбов под Памир, вдоль подковообразной зоны, обрамляющей его с внешней стороны хребтами Гиндукуша, Алая, Кунь-Луня. Можно предположить, что именно с этим связано аномальное увеличение мощности земной коры на Памире, однако полученные данные требуют всестороннего геодинамического анализа. На контакте этой зоны с горячими плюмами сосредоточены все глубокофокусные землетрясения региона. Их количество возрастает вдоль дуги с востока на запад, достигая максимума на юго-западном окончании Гиндукуша (36°N, 71°E).

Чередование восходящих плюмов и погружающихся слэбов отчетливо отображается в скоростной структуре верхней мантии на геотраверсах I-IV, проложенных по простиранию горных хребтов (рисунки 2, 3). Основные ветви тепломассопотоков, локализованные на срезе 500 км преимущественно на юге территории, при продвижении вверх и на север (до Северного Тянь-Шаня) дробятся на части, постепенно занимая весь подкоровой объем и контролируя территории высокосейсмичной коры [13, 15]. Обобщенное положение плюмов в плане и пространстве показано на рисунке 7 в виде контуров по срезам на глубинах 70, 170, 470 км. Обрашает на себя внимание особенность локализации горячих плюмов в интервале глубин 70-200 км, выявленная по широтному геотраверсу І вдоль структур Северного Тянь-Шаня (рисунок 2). На западе от меридиана 79°Е значительная по мощности подкоровая часть разреза занята активной мантией, а ниже – умеренно холодной (почти нормальной). На востоке подкоровый объем мантии по значениям скорости ближе к нормальной с незначительными повышениями, а ниже выделяется сплошной близгоризонтальный слой активной мантии, по конфигурации (только в широтном направлении вдоль профиля) соответствующий классическим представлениям о структуре астеносферы, что удивительно для региона. Завершая характеристику скоростной структуры мантии, отметим, что ее типичные примеры для платформенной литосферы (близгоризонтальные изолинии без значимых аномальных отклонений) представлены геотраверсом V (рисунок 4a) и частями геотраверсов VI – IX севернее 40° - 45° N (рисунки 46 - 6a).



б – VI, Памир-Сарыташ-Саякский (32.00N,74.80E; 39.584N,73.40E; 43.083N,74.75E; 46.41N,76.80E; 51.80N,82.733E) Обозначения на рисунке 2.





а – VII, вдоль меридиана 75°E (32.00N,75.00E; 52.00N,75.00E)



б – VIII, Каскеленский (32.00N,76.50E; 48.267N,76.667E)

Обозначения на рисунке 2.

Рисунок 5. Двумерные Р-скоростные модели земной коры и верхней мантии Центральной Азии по геотраверсам



а – IX, Иссыкский (32.00N,78.75E; 48.667N,77.033E)



б– X, Восточный (32.00N,77.41E; 45.216N,80.0678E; 49.00N,83.667E)

Рисунок 6. Двумерные Р-скоростные модели земной коры и верхней мантии Центральной Азии по геотраверсам

Кроме четких гиндукушских плюмовых стволов, сопровождаемых глубокофокусными землетрясениями и формирующих коровую сейсмичность среднеазиатского Тянь-Шаня (в том числе Северного), на нижнем срезе выявлено несколько плюмовых каналов, не создающих широких полей активной мантии в подкоровом пространстве и, следовательно, благоприятных условий для землетрясений с максимальными (7-8) значениями магнитуды М: юго-восточнее озера Иссык-Куль (хр. Терскей Алатау), в восточной (китайской) части Илийской впадины, в Западном Прибалхашье, на восточных (китайских) оконечностях хребтов Тарбагатай и Саур (рисунок 7). Несколько иной геометрией в пространстве верхней мантии характеризуются плюмовые поля на границе Таримской плиты и Тибета, восточнее меридиана 80°E: более обширное по латерали распространение на срезе 470 км, мало изме-

Обозначения на рисунке 2.

няющееся на более высоких гипсометрических уровнях. Их положение в плане смещается в различных направлениях [22], но непосредственно под корой поля проникают на юг, иногда с увеличением площади среза, однако меньшим, чем на Тянь-Шане. В общем, здесь наблюдается более сложная картина скоростной структуры мантии. Детальная интерпретация этой особенности затруднительна без создания дополнительных скоростных моделей по меридиональным геотраверсам в пределах 82°-83°E.



1 – древние платформы; 2 – палеозойский фундамент молодой платформы (щит); 3 – мезозойско-кайнозойский чехол молодой платформы;
4-5 – складчатые комплексы коллизионных (эпигеосинклинальных) орогенов - мезозойских (4) и кайнозойских (5); 6 – эпиплатформенные (теле-коллизионные) орогены;
7 - мезозойско-кайнозойский чехол предгорных и межгорных впадин;
8 – границы коллизионной области (эпигеосинклинальных) орогенов);
9 – главные разломы, достоверные и предполагаемые;
10-12 – контуры распространения активной мантии на глубинах 70 км (10),
170 км (11) и 470 км (12);
13-14 – эпицентры и магнитуда землетрясений за 1973-2004 гг.: мантийных (13) и коровых (14)

Рисунок 7. Неотектоническое районирование и структура активной мантии в Центрально-Азиатском регионе

Ниже приводится краткая обобщенная характеристика структурно-скоростных особенностей земной коры во взаимосвязи с активной подкоровой мантией, имеющих отношение к пространственному режиму сейсмичности, с учетом того, что ранее они детально обсуждены в [5,13,14,18]. Консолидированная земная кора орогенов, которые в регионе практически все являются высокосейсмичными, характеризуется аномально повышенной мощностью верхнего сиалического комплекса пород и, соответственно, пониженной мощностью нижнего базифицированного комплекса. Такое состояние фиксируется западнее меридиана 80°E на геотраверсе I (рисунок 2а), по всей длине геотраверсов II – IV (рисунки 2б – 3б), на геотраверсах VI – VIII (южнее широты 44°N) – рисунки 4б – 5б, IX (южнее широты 43°N), X (южнее широты 45°N) – рисунки 6а, б. Исключением является повышение мощности нижнего базифицированного комплекса на непротяженных участках межгорных впадин или в зонах их сочленения с соседними хребтами, а так же схематично расшифрованная (только по данным 3D томографии) скоростная структура коры в зоне Памира и окружающих его хребтов. Типичная платформенная слабосейсмическая кора с примерно равным соотношением мощности сиалического и базифицированного комплексов фиксируется на геотраверсе V (рисунок 4б) и оставшихся от орогенов северных участках геотраверсов VI-X (рисунки 4б – 6б). Здесь исключением, в противоположность орогенам, являются непротяженные участки увеличения мощности верхнего сиалического комплекса, связанные преимущественно с менее значительными осложнениями дневного рельефа (низкогорье и т.п.). Помимо устойчивого косвенного признака высокосейсмичной консолидированной коры – пониженных значений Vp за счет аномально большой мощности низкоскоростного сиалического комплекса, - акцентируем прямой признак: особенности пространственного положения очагов сильных (М≥6) и умеренных (M≤5) землетрясений. Практически на всех геотраверсах сильные землетрясения приурочены к участкам коры с осложненной формой изолиний скорости, фиксирующей контакты ее низкоскоростных (орогены) и высокоскоростных (платформы) блоков. Землетрясения с магнитудой М=5 распределены по всей мощности консолидированной коры сейсмоактивных орогенов с заметным повышением концентрации в ее нижней части, вблизи границы между верхним сиалическим и нижним базифицированным слоями. Заметим, что разработчики новой 3D модели литосферы [21] провели детальный анализ взаимосвязи сложной скоростной структуры коры и пространственного режима сильных землетрясений по широтному профилю (~39°N) через зону сочленения структур Памира, Каракорума и Тарима. Результаты анализа и выводы согласуются с данными, полученными в этой работе.

Результаты выявления в земной коре высокопроводящих слоев или объемов методом МТЗ, полученные сотрудниками НС ОИВТ РАН [9], частично (как низкоомные включения) показаны на геотраверсах VI-Х, в том числе, по мантии на геотраверсах VIII-Х и только в мантии на широтном геотраверсе II. Установлено, что низкоомные слои или объемы генерализованно совпадают с зонами пониженных значений сейсмической скорости. Высоко электропроводящие выступы вверх по коре, иногда до выхода в ее приповерхностную часть, в большинстве случаев тяготеют к границам блоков с сильно различающимися значениями сейсмической скорости. То и другое свидетельствует о наличии зон разломов, активных в настоящее время. На данном этапе исследований ограничимся только сопоставлением скоростных и электрических аномалий в коре, ибо для глубокого анализа необходимы более детальные крупномасштабные скоростные разрезы и совершенствование методики наблюдений и обработки данных МТЗ, касающихся мантии. Тем не менее, отметим, что на геотраверсах II (рисунок 2б) и IX (рисунок 6а) аномалии совпали с низкоскоростными объемами мантии (плюмами) достаточно хорошо, а на геотраверсах VIII (рисунок 5б) и X (рисунок 6б) удовлетворительно. Это открывает перспективу комплексирования двух методов.

Выводы

В результате структурно-скоростного моделирования литосферы Центрально-Азиатского региона по серии субширотных и субмеридиональных геотраверсов с учетом новых данных 3D томографии до глубины 500 км выявлено положение основных для региона плюмовых каналов из нижней мантии, вплоть до подкорового уровня. Плюмовые каналы оказывают главенствующее влияние на геодинамическую обстановку и сейсмический режим этого самого сложного узла орогенов в пределах континентальной коры Земли. Это - главный итог проведенного исследования.

Особенности строения литосферы орогенов и прилегающих платформ, сформулированные ранее и подтвержденные настоящим исследованием на представительных материалах, заключаются в следующем:

- 1. Под орогенами, в отличие от платформ, в мантии выделяются высокоскоростные субдуцирующие массы, интерпретируемые как верхнемантийные эклогитоподобные породы с избыточной плотностью, и низкоскоростные воронкообразные структуры, интерпретируемые как верхнемантийный пиролитовый разогретый активный комплекс. Особенности взаиморасположения этих неоднородностей изучены до глубины 500 км. Высокоскоростные структуры, по-видимому, опускаются под действием силы тяжести на фоне нормальной мантии. Встречный тепломассопоток облегченного вещества активной мантии ассоциируется с горячими плюмами. При продвижении вверх он дробится и растекается в подкоровом пространстве, способствуя выносу силикатов и утяжелению низов земной коры. В целом этот механизм может служить дополнительным объяснением тангенциального сжатия.
- 2. Минимальными значениями скорости (5,6-6,4 км/с), плотности (2,6-2,75 г/см³) и, следовательно, прочности в верхней половине консолидированной земной коры обладают породы, входящие в состав сиалического комплекса палеозойского и докембрийского структурных этажей. Наибольшую мощность эти породы имеют в разрезах орогенных областей. В формировании сейсмического режима платформенных областей роль сиалического комплекса минимальна.
- Породы базифицированного комплекса консолидированной коры, постилающего сиалический, характеризуются повышенными значениями скорости (6,4-7,2 км/с) и плотности (2,85-2,95 г/см³), свойственными мафическому ряду пород, отличающихся повышенной прочностью.
- 4. Границы между крупнейшими тектоническими зонами, принципиально отличающимися по глубинной структуре коры, можно отождествить с краевыми разломами глубокого заложения и большой протяженности, подчеркивая этим их потенциальную активность.

5. Повышенной сейсмической активностью обладают области контакта мощных блоков разного вещественного состава, особенно пород сиалического и мафического рядов, подстилаемых большими объемами активной подкоровой мантии, как это имеет место в Северо-Тянь-Шаньской и Кокшаал-Алайской областях сильнейших землетрясений. В подкоровом пространстве очаги сильных землетрясений приурочены к зонам соприкосновения встречных массопотоков: с одной стороны, субдуцирующих высокоскоростных относительно охлажденных слэбов, а с другой – поднимающейся активной мантии (плюмов).

Литература

- Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска//Тезисы докладов Казахстнаеско- Российской Международной конференции, 22-24 июня 2004 г. - Алматы: ИС МОН РК, 2004. - 226 с.
- Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов//Сборник материалов Второго международного симпозиума, 29 октября – 3 ноября 2002 г. - Москва – Бишкек, 2003. – 354 с.
- 3. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: СО РАН, 2001. 409 с.
- Михайлова Н.Н., Синева З.И. Сравнительный анализ сейсмологических бюллетеней разных центров обработки для территории Казахстана//Современная геодинамика и сейсмический риск Центральной Азии. - Алматы: ИС МОН РК, 2004 г.- С.233-239.
- 5. Оспанов А.Б., Шацилов В.И. Геофизические неоднородности тектоносферы как следствие глубинной геодинамики//Прогнозирование землетрясений в Казахстане. Алматы: Эверо, 2000. С.72-123.
- 6. Пущаровский Ю.М. Сейсмотомография и структура мантии: тектонический ракурс//Геология, 1996. Том 351, № 6. С.806-809.
- 7. Пущаровский Ю.М. Геологическое выражение нелинейных геодинамических процессов//Геотектоника, 1998. №1. С.3-14.
- 8. Пущаровский Ю.М., Новиков В.Л., Савельев А.А., Фадеев В.Е. Неоднородности и конвенция в тектоносфере//Геотектоника, 1999. № 5. С.3-8.
- Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Щелочков Г.Г., Баталева Е.А., Сафронов И.В., Черненко Д.Е. На пути построения трехмерной геоэлектрической модели земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня//Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных районов. - Москва-Бишкек, 2003. - С.164-179.
- Тимуш А.В. Тектонические основы формирования сейсмогенерирующих зон//Прогнозирование землетрясений в Казахстане. - Алматы: Эверо, 2000. - С.124-166.
- Тимуш А.В. Геодинамика новейшего горообразования главная проблема сейсмотектоники//Современная геодинамика и сейсмический риск Центральной Азии. - Алматы: ИС МОН РК, 2004. - С.138-145.
- 12. Хаин В.Е., Лобковский Л.И. Об особенностях формирования коллизионных орогенов//Геотектоника, 1990. № 6 С.20-31.
- Шацилов В.И. Геофизические критерии сейсмической активности тектоносферы Тянь-Шаня//Проблемы предотвращения последствий разрушительных землетрясений. - Алматы: Эверо, 2002. - С.119-124.
- Шацилов В.И., Горбунов П.Н. Глубинная структура земной коры Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского и Каратауского регионов//Сейсмическое районирование Республики Казахстан. - Алматы: Эверо, 2000. - С.75-96.
- 15. Шацилов В.И., Горбунов П.Н., Белоусова Н.П., Степаненко Н.П. Строение тектоносферы Тянь-Шаня на основе новой геофизической информации//Inland Earthquake,1997.- Vol. 11, № 3. С.265-272.
- 16. Шацилов В.И., Горбунов П.Н., Фремд А.Г. и др. Скоростные модели земной коры Казахстана. Алматы: Евразия, 1993. 105с.
- 17. Шацилов В.И., Сайипбекова А.В. Профильная томография литосферы Тянь-Шаня по материалам региональной сейсмологии//Доклады НАН РК, 1994. № 6. С.47-52.
- Шацилов В.И., Степаненко Н.П. Геофизические критерии выявления очаговых зон сильных землетрясений на Тянь-Шане//Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных районов. - Москва-Бишкек, 2003.- С.129-139.
- J Ansorge., K. Fuchs et al. Fennoscandian Longrange Project 1979: a Lithospheric Seismic Refraction Survey Across the Baltic Shield//18-th Assembly JUGG, 1983. - Hamburg. - P.234.
- 20. Sh. Maruyama Plume tectonics//J.G.S. Japan., 1994. Vol.100, № 1. P.24-49.
- 21. Xu Yi, Liu Futain, Liu Jianhua, Sun Ruomei. Seismic Tomography of the Nortwestern Chinese Continent and Deep Tectonics of Orogenic Belts//'99 Int. Symp. on Tianshan Earthquakes, Abstracts.- Urumqi, 1999.- P.182-183.
- 22. Yi Xu, V.I. Shatsilov Crustal Velosity Structure of the Tian Shan//30-th Int. Geol. Congr., Abstracts.- Beijing, 1996.- Vol.1. f.3.

ГЕОТРАВЕРСТЕР ЖҮЙЕСІ БОЙЫНША ЖОҒАРЫ АЗИЯ ЛИТОСФЕРАСЫНЫҢ ЖЫЛДАМДЫЛЫҚ МОДЕЬДЕРІ

Нусіпов Е.Н., Оспанов А.Б., Шацилов В.И.

ҚР білім және ғылым министрлігінің Сейсмология институты, Алматы

Мақалада, жоғары Азия аталатын – солтүстік батыстан әлсіз сейсмикалық Қазақ қалқаны жанасатын, жас сейсмоактивті орогендер орналасқан аймақтың литосферасын модельдеу нәтижелері келтірілген. Модельдеуі - аймақтық сейсмометрияның терең сейсмикалық зондтауының бастапқы деректері бойынша жер қыртысының

томографиясы 2D, және - жоғарғы мантияның тереңдігі 500 км. дейін 3D томографиясы (Xu Yi, 1999) – геотраверстер жүйесі бойынша ретроспективті материалдарын қолдануымен өткізілген. Тянь-Шань және Орта Азия орогендері астындағы жоғары мантияда пдюмотектоникалық процесстер туралы жаңа ақпарат алынған: төменгі мантиядан 500 км кесіндісінен қыртысы астындағы деңгейіне дейін плюм арналарының жайы оқшауланған, орогендер қыртысы мен жанасқан платформаларының құрылысының ерекшеліктері анықталған. Аймақтық планында сейсмикалылығы, жер қыртысы құрылысының ерекшеліктер белгілейтін, жоғары мантиядағы геодинамикалық процесстерімен қалыптастырылатыны анықталған.

VELOCITY MODEL OF THE HIGH ASIA LITHOSPHERE IN TERMS OF GEOTRAVERSE SYSTEM

E.N. Nusipov, A.B. Ospanov, V.I. Shatsilov

Seismology institute of Ministry of education and science RK, Almaty

The article gives modeling results of the high Asia lithosphere – region with young seismically active orogens that border low-seismic Kazakh Shield in the northwest. Modeling was executed using materials according to geotraverse system – earth crust 2D tomography in terms of initial deep-seismic-sounding data, regional seismometry and 3D tomography of the upper mantle up to 500km depth (Xu Yi, 1999). New information was obtained in respect of plum-tectonic aspect of the Tien Shan modern geodynamics in interdependence with the main Central Asian orogens: lower mantle plum channels being of grater importance for the region have been located from 500km cut up to undercrust level and crust structure peculiarities in orogens and adjacent platforms have been revealed.

УДК 550.344

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ S-ВОЛН В ОЧАГОВЫХ ЗОНАХ СИЛЬНЫХ И СИЛЬНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

¹⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Гордиенко Д.Д., ²⁾Соколова И.Н.

¹⁾Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия ²⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Рассматриваются пространственно-временные вариации поля поглощения поперечных волн в очаговых зонах сильных и сильнейших землетрясений земного шара (M=7.0 - 9.0), произошедших в период 1897-2005 гг. Анализируется величина эффективной добротности Qs, определяемая по затуханию коды Lg на расстояниях порядка 350-600 км (для частоты 1.25 Гц) в двух интервалах времени t (от начала излучения в очаге): первом - сразу после группы Lg, t=180-250c (Q₁₈₀), втором - при t=250-400c (Q₂₅₀). Установлено, что параметр Q₁₈₀/Q₂₅₀ резко возрастает, если после сильного землетрясения время становится больше 15 лет. Совокупность полученных данных позволяет считать, что выявленный эффект объясняется подъемом ювенильных флюидов из верхов мантии (h≤200 км) в земную кору.

Короткопериодные поперечные волны наиболее чувствительны к присутствию жидкой фазы, поэтому по их характеристикам можно изучать процессы миграции флюидов в земной коре и верхах мантии [1-3]. В настоящей работе рассматриваются пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в очаговых зонах ряда сильных и сильнейших землетрясений мира (с магнитудой М=7.0-9.0), произошедших в 1897-2005 гг. (таблица). Для сравнения исследованы характеристики поля поглощения в тех районах, в первую очередь, в Центральной Азии, где, начиная с 1900 г., не было сильных землетрясений с М≥6.5.

Землетрясение	Дата	φ°	λ°	М	Механизм	Q ₁₈₀	Q ₂₅₀	Станция
Гималайское	12.06.1897	26	91	8.7	надвиг	200	310	LSA
Кашгарское	22.08.1902	39.8	76.2	8.1	взброс	590	790	TLG
Кеминское	03.01.1911	42.8	77.3	8.2	взброс	675	790	MAKZ
Хайюаньское	16.12.1920	36.62	105.40	8.6	СДВИГ	740	420	XAN
Гималайское	15.01.1934	27.55	87.09	8.3	надвиг	330	510	LSA
Суматринское	28.12.1935	0.00	98.25	7.5	сдвиг	250	275	BTDF
Ассамское	15.08.1950	28.38	96.76	8.7	сдвиг	845	340	LSA
Муйское	27.06.1957	56.20	116.59	7.6	сбрососдвиг	1130	710	BDN
Гоби-Алтайское	04.12.1957	45.31	99.21	8.1	взбрососдвиг	540	745	ULN
Невадское	18.08.1959	44.70	-110.80	7.5	сброс	540	575	DUG
Аляскинское	28.03.1964	61.10	-147.60	8.4	надвиг	310	360	COLA
Чилийское	28.12.1966	-25.50	-70.70	7.7	надвиг	250	370	LCO
Маркансуйское	11.08.1974	39.39	73.86	7.4	взбрососдвиг	280	385	GAR
Яванское	19.08.1977	-11.09	118.46	8.1	сброс	1300	410	KAPI
Жаланаш-Тюпское	24.03.1978	42.90	78.70	7.0	взбрососдвиг	490	745	MAKZ
Чилийское	03.03.1985	-33.13	-71.87	7.8	надвиг	295	490	LCO
Мексиканское	19.09.1985	18.14	-102.71	8.1	надвиг	205	350	UNM
Сусамырское	19.08.1992	42.10	73.60	7.3	взброс	270	630	AML
Индонезийское (Сулавеси)	01.01.1996	0.73	119.93	7.9	взбрососдвиг	260	510	KAPI
Куньлуньское	08.11.1997	35.07	87.32	7.8	сдвиг	125	320	LSA
Перуанское	23.06.2001	-16.26	-73.64	8.4	надвиг	150	360	NNA
Чуйское	27.09.2003	50.04	87.81	7.3	сдвиг	295	745	MKAR
Суматринское	26.12.2004	03.30	95.98	9.0	надвиг	240	420	PSI
Суматринское	28.03.2005	02.07	97.01	8.7	взбрососдвиг	210	470	PSI

Таблица. Величины Q_{180} и Q_{250} для разных очаговых зон

Данные

Обработано более 250 сейсмограмм коровых землетрясений, полученных 30 цифровыми и одной аналоговой (BDN) станциями на эпицентральных расстояниях ~350-600 км. Неоднородности поля поглощения наиболее ярко проявляются на частотах около 1 Гц [1,2,4], поэтому производилась предварительная частотная фильтрация записей. Использовался фильтр с центральной частотой 1.25 Гц и шириной пропускания 2/3 октавы на уровне 0.7 от максимума сигнала, аналогичный соответствующему ЧИСС-фильтру [5].

Метод

Рассматривались огибающие Lg –коды записей сравнительно слабых землетрясений (как правило, M<5.5). Как показано в [5, 6], на частотах ~1 Гц кода волны Lg сформирована в основном S-волнами, отраженными от многочисленных субгоризонтальных

границ в верхней мантии. С ростом времени t, прошедшего от начала излучения, в коде приходят волны, падающие на границу Мохо (М) все более круто, и проникающие на большие глубины в верхней мантии. На рисунке 1 показана схема распространения лучей, формирующих коду Lg. Луч I представляет головную волну, распространяющуюся вдоль границы М. Позже приходят S-волны, отраженные от различных границ в верхней мантии. Если в области очага в верхах мантии существует зона относительно слабого (сильного) поглощения, то это приводит к сравнительно медленному (быстрому) затуханию амплитуд в начальной части коды Lg (лучи II и III). После луча III приходят S-волны, проникающие в область «нормального» (для данного диапазона глубин) поглощения. Это обеспечивает соответственно резкое увеличение или уменьшение скорости затухания амплитуд в коде.



 область в верхах мантии с поглощением, резко изменяющим ся во времени; 2 – область «нормального» поглощения волн

Рисунок 1. Схема распространения лучей, формирующих коду Lg

Эффективная добротность определялась по формуле Ac(t) ~exp(- $\pi t/QsT$)/t (T – период колебаний) [5] в двух интервалах времени: первом - сразу после группы Lg, длительностью 70 с (чаще всего t=180-250 с) и втором - при t =250-400 с. Для краткости она обозначена как Q₁₈₀ и Q₂₅₀, соответственно. Оценки показывают, что для эпицентрального расстояния Δ =500 км при сносе лучей ~100 км S-волны в коде проникают на глубины ~140 км для t=180 с и ~210 км для t=250 с.

Анализ данных

На рисунке 2 показаны примеры записей двух землетрясений: из очаговой зоны Ассамского землетрясения 1950 г., сильнейшего в Центральной Азии за последние 100 лет [7], и из района к юго-западу от нее. Эпицентры обоих событий находятся в Гималаях. События произошли примерно на одинаковом расстоянии от зарегистрировавшей их станции LSA (470 и 480 км).



верхняя - район к юго-западу от очага Ассамского землетрясения (08.08.1992, 25.39 N 91.91E, h=49 км, Δ =480 км); нижняя – очаговая зона Ассамского землетрясения 1950 г. (08.05.1993, 28.73 N 95.87 E, h=33 км, Δ =470 км)

Рисунок 2. Примеры сейсмограмм землетрясений Гималаев

Видно, что в интервале времени длительностью ~ 70 с после волны Lg кода затухает гораздо медленнее в очаговой зоне. На рисунке За представлены примеры огибающих коды записей землетрясений, произошедших через относительно небольшие интервалы времени (до 12 лет) для четырех сильных землетрясений: Суматринского 2005 г., Чуйского 2003 г. (Алтай), Сусамырского 1992 г. (Северный Тянь-Шань), Перуанского 2001г. Землетрясения имели разные типы подвижек в очаге – взбрососдвиг, сдвиг, взброс и надвиг, соответственно.

Из рисунка За следует, что для всех огибающих в начальной части коды наблюдается участок относительно повышенного наклона. Наклон резко уменьшается в интервале 180-250 с. Иная картина наблюдается в тех районах, где рассматривались события, произошедшие через большие отрезки времени после сильных и сильнейших землетрясений. На рисунке 3б показаны огибающие коды для очаговых зон четырех сильных землетрясений: Муйского 1957 г. (сбрососдвиг), Ассамского (сдвиг), Кашгарского 1902 г. (взброс) и Гималайского 1934 г. (надвиг). Видно, что во всех случаях в начальной части коды затухание амплитуд гораздо слабее, чем на рисунке 3а. Особенно слабое затухание коды соответствует событиям с механизмами типа сбрососдвига и сдвига.

Величины эффективной добротности Q_{180} , как это можно видеть из таблицы, для разных очаговых зон варьируются значительно, в диапазоне 125-1300, а Q_{250} – гораздо слабее, от 275 до 790. Меньший разброс данных для величин Q_{250} не противоречит существующим представлениям об уменьшении степени неоднородности верхней мантии с глубиной [5]. Отметим, что минимальные величины Q_{180} наблюдаются для трасс станция LSA - эпицентры в Северном Тибете, что согласуется с имеющимися данными об очень сильном поглощении S-волн в земной коре и верхах мантии этого района [8]. Максимальные величины Q_{180} (740-1300) получены для очаговых зон Хайюаньского (1920), Ассамского (1950), Муйского (1957) и Яванского (1977) землетрясений.







Рисунок 3. Огибающие записей: a - афтершоков и землетрясений, произошедших с интервалом ΔT не более 12 лет после сильных землетрясений; б - местных событий, произошедших в очаговых зонах сильных и сильнейших землетрясений с интервалом ΔT более 20 лет

На рисунке 4 показана зависимость отношения Q_{180}/Q_{250} от времени ΔT , прошедшего после сильного землетрясения. Для сравнения на том же рисунке дана полоса разброса величин Q_{180}/Q_{250} для 25 трасс, на которых, начиная с 1900 г., не было зарегистрировано сильных землетрясений с М>6.5 (районы Казахской платформы, Тянь-Шаня, Пакистана, Тибета, Монголии и Прибайкалья, а также запада и востока США). Согласно данным, полученным по записям 18 цифровых станций, величины Q_{180}/Q_{250} для этих трасс в среднем равны 0.47±0.10 (при этом значения Q_{180} варьируются в диапазоне 145-480, а $Q_{250} - 350-980$).

Из рисунка 4 следует, что в интервале ΔT , не превышающем 15 лет, величины Q_{180}/Q_{250} находятся в пределах указанной полосы. При увеличении ΔT наблюдаются значительно более высокие величины Q_{180}/Q_{250} , варьирующиеся от 0.65 до 3.20. При этом наибольшие значения данного параметра (1.6-3.2), выходящие за пределы интервала 10σ, соответствуют очаговым зонам Хайюаньского, Ассамского, Муйского и Яванского землетрясений, для которых определены максимальные величины Q₁₈₀ (таблица). Следует отметить, что при $\Delta T > 15$ лет для землетрясений с механизмами типа сдвига (Хайюаньского, Суматринского (1935) и Ассамского), сброса и сбрососдвига (Муйского, Невадского (1959) и Яванского (1977)) [7] наблюдаются гораздо более высокие значения Q₁₈₀/Q₂₅₀, чем для механизмов типа взброса, взбрососдвига и, особенно, надвига (в зоне Беньофа). К тому же самая большая величина Q₁₈₀/Q₂₅₀ для таких типов подвижек (0.86) получена для Великого Аляскинского землетрясения 1964 г., механизм которого, по-видимому, представлял более сложный очаг, чем простой надвиг [9]. Максимальные величины параметра Q₁₈₀/Q₂₅₀ получены для очаговых зон Яванского землетрясения, а также Ассамского землетрясения, имевшего наибольший сейсмический момент для

района Центральной Азии за последние 100 лет [7]. Для двух очаговых зон оценены величины Q_{180}/Q_{250} за несколько лет до соответствующих землетрясений (Суматра, 2004 и 2005). Оказалось, что для этих событий Q_{180}/Q_{250} равны 0.57 и 0.45, соответственно, т.е. находятся в пределах горизонтальной полосы значений (рисунок 4).



онов, где не было землетрясений с M≥6.5 с 1900 г.)

Рисунок 4. Зависимость величин Q₁₈₀/Q₂₅₀ от времени ⊿T, прошедшего после сильного землетрясения

Обсуждение

Полученные данные показывают, что значения Q_{180}/Q_{250} в обычных условиях (вне очаговых зон), а также незадолго до и сразу после сильных землетрясений варьируются в сравнительно узком диапазоне, свидетельствуя о заметном уменьшении поглощения S-волн в верхней мантии с глубиной. Вместе с тем, очаговые зоны сильных и сильнейших землетрясений мира через 15-20 лет после этих событий характеризуются аномально высокими величинами Q_{180}/Q_{250} , что соответствует резкому уменьшению поглощения S-волн в верхней мантии на глубинах приблизительно до 200 км.

Увеличение добротности верхов мантии для поперечных волн за достаточно короткий (в геологических масштабах) период может быть связано только с процессами миграции флюидов. Проведенный анализ показывает, что после сильных и сильнейших землетрясений флюиды поднимаются из верхней мантии в земную кору. Это согласуется с выводами, сделанными ранее на основании анализа поля поглощения S-волн по коде местных землетрясений в районе Тянь-Шаня [2], и по результатам изучения временных вариаций отношения скоростей Р- и S-волн в очаговой зоне землетрясения в Антофагасте 1995 г. (Северное Чили, М=8.0) [3]. Об этом свидетельствует также очень сильное затухание волн Lg в очаговой зоне Чилийского землетрясения 1960 г., сильнейшего на планете за последние 100 лет (наши данные). О подъеме ювенильных флюидов говорит и присутствие мантийных изотопов гелия в очаговых зонах и их близких окрестностях [10].

Аномально высокие величины Q₁₈₀/Q₂₅₀ для сильнейших сбросов и сдвигов согласуются с заключением об очень больших объемах изливающейся на поверхность воды после сильных землетрясений с такого типа подвижками по сравнению со взбросами и надвигами [11]. Этот эффект, скорее всего, связан с очень высокой проницаемостью пород в областях сбросов и сдвигов. При сдвигах, хотя и в меньшей степени, чем при сбросах, формируются локальные зоны растяжения - кулисы, в которых, по-видимому, в основном и происходит подъем мантийных флюидов [12]. В то же время, в областях сжатия, с которыми связаны взбросы и надвиги, проницаемость пород для землетрясений соизмеримой энергии должна быть значительно меньше (в особенности для надвигов), что приводит к гораздо более слабой степени «осушения» верхов мантии.

Выводы

1. Изучены пространственно-временные вариации поля поглощения поперечных волн в очаговых зонах сильных и сильнейших землетрясений мира. Определялась эффективная добротность среды для S-волн по затуханию амплитуд в ранней (Q_{180}) и поздней (Q_{250}) коде Lg на расстояниях ~350-600 км. Первый параметр позволял оценить поглощение Sволн в верхах мантии, на глубинах до ~200 км, второй – использовался в основном для нормировки.

2. Установлено, что величины Q_{180}/Q_{250} в обычных условиях (в районах, где не было сильных землетрясений с М≥6.5 в течение последних 100 лет), варьируются в узком диапазоне (0.47±0.10), что отвечает резкому уменьшению поглощения волн в верхней мантии с глубиной. В этот же диапазон попадают величины параметра в районах, где поглощение оценивалось с запаздыванием $\Delta T < 15$ лет после сильных и сильнейших землетрясений.

3. Установлено, что при $\Delta T > 15$ лет наблюдается резкое повышение величин Q_{180}/Q_{250} (до 1.6-3.2). Это свидетельствует о существенном уменьшении поглощения волн в верхах мантии. Особенно высокие значения параметра Q_{180}/Q_{250} соответствуют землетрясениям с механизмами типа сброса и сдвига.

4. Обнаруженные эффекты интерпретируются как следствие подъема мантийных флюидов в земную кору после сильных землетрясений, что согласуется с другими геофизическими и геохимическими данными, полученными в последнее время.

Благодарность. Авторы выражают признательность консорциуму IRIS (USA) за предоставление данных мировой сети GSN [13].

Литература

- 1. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона//Физика Земли. 2001.- № 11. С. 73 86.
- 2. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня//Физика Земли. 2003. № 7. С. 35 47.
- A. Koerner, E. Kissling, S. Miller. A model of deep crustal fluid flow following the Mw=8.0 Antofagasta, Chile, earthquake//J. Geophys. Res. 2004. V. 109, No B6. DOI 10.10291/2003JB002816.
- 3. O.I. Aptikaeva, Yu.F. Kopnichev. Spatio-temporal variations of the coda wave envelopes of local earthquakes in the region of Central Asia//J. Earthq. Predict. Res. 1993. V.2, No 4. P. 497 514.
- 4. Копничев Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. М.: Наука, 1985. 176 с.
- 5. Каазик П.Б., Копничев Ю.Ф., Нерсесов И.Л., Рахматуллин М.Х. Анализ тонкой структуры короткопериодных сейсмических полей по группе станций//Физика Земли. 1990. № 4. С. 38 49.
- J. Pacheco, L. Sykes. Seismic moment catalog of large shallow earthquakes, 1900 to 1989//Bull. Seismol. Soc Amer. 1992. V. 82, No 3. P. 130 1349.
- D. McNamara, T. Owens, W. Walter. Observations of regional phase propagation across the Tibetan plateau//J. Geophys. Res. -1995. - V. 100, No B11. P.22215-22229.
- W.-P.Chen, P. Molnar. Seismic moments of major earthquakes and the average rate of slip in Central Asia//J. Geophys. Res. -1997. - V. 82, N 20. - P. 2945 - 2969.
- 9. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Подъем мантийных флюидов в районах очагов сильных землетрясений и крупных разломных зон: геохимические свидетельства //Настоящий сборник.
- R. Muir-Wood, G. King. Hydrological signatures of earthquake strain//J. Geophys. Res. 1993. V. 98, No B12.- P. 22035 22068.
- 11. Аптикаева О.И., Арефьев С.С., Кветинский С.И. и др. Неоднородности литосферы и астеносферы в очаговой зоне Рачинского землетрясения/Докл. РАН. 1995. Т. 344, № 4. С. 533 --538.
- R. Butler, T. Lay, K. Creager et al. The Global seismographic network surpasses its design goal//Eos, Transactions, AGU. 2004.
 V.85. No 23. P. 225 229.

АТТЫ ЖӘНЕ ӨТЕ ҚАТТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРДІҢ ОШАҚ БЕЛДЕМДЕРІНДЕ S-ТОЛҚЫНДАРЫНЫҢ ЖҰТЫЛУ ӨРІСІНІҢ КЕҢІСТІК-УАҚЫТТЫҚ ВАРИАЦИЯЛАРЫ

1)Копничев Ю.Ф.,2)Гордиенко Д.Д., 2)Соколова И.Н.

1)РҒА О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасының институты, Мәскеу, Ресей 2)ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

1897-2005 ж.ж. кезеңінде өткен жер шарының қатты және өте қатты жерсілкінулердің (М=7.0-9.0) ошақ белдемдерінде көлденең толқындардың жұтылу өрісінің кеңістік-уақыттық вариациялары қаралады. 350-600 км. қатарындағы қашықтықта (1,25 Гц. жиілігі үшін) t уақытының (ошақта сәулеленуі басталуынан) екі аралығында: бірінші - Lg тобынан кейін бірден, t=180-250 с (Q₁₈₀,), екіншісі - t=250-400 с (Q₂₅₀) болуында, Lg коды өшу бойынша анықталатын тиімді төзімділіктің (Qs) мөлшері талдануда. Егерде қатты жерсілкінуден кейін уақыт 15 жылдан көп болса Q₁₈₀/Q₂₅₀ параметрі шұғыл өсетіні белгіленген. Анықталған әсерін, ювенильді флюидтер мантияның жоғарынан (h≤200 км) жер қыртысына көтерілуімен түсіндіруге болады.

SPATIO-TEMPORAL VARIATIONS OF S WAVE ATTENUATION FIELD IN SOURCE ZONES OF LARGE AND GREAT EARTHQUAKES

1)Yu.F. Kopnichev, 2)D.D. Gordienko, 2)I.N. Sokolova

1)Institute of Earth Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia 2)Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Spatio-temporal variations of shear wave attenuation field in the source zones of large and great earthquakes worldwide that happened in 1897-2005 (M=7.0-9.0) are being reviewed. We have been analyzing effective Qs values for Lg coda at distances of ~350-600 km (for frequency of 1.25 Hz) in two lapse time intervals): the first one – right after Lg wave, t=180-250 sec (Q_{180}) and the second one – when t=250-400 sec (Q_{250}). It was established that the parameter Q_{180}/Q_{250} abruptly increases when time after large earthquakes is more than 15 years. This effect can be explained by juvenile fluids ascent from the uppermost mantle (h≤200 km) into the earth's crust.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВЯЗИ СЕЙСМИЧНОСТИ С РЕЛЬЕФОМ МЕСТНОСТИ ДЛЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В., Ярыгина М.А., Рудаков А.Д.

Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, Новосибирск, Россия

Сейсмичность Алтае-Саянской горной области проанализирована совместно с рельефом местности и активными разломами. Обнаружено, что структуры, наиболее тектонически активные в отношении сейсмичности, проявляют себя за год, сейсмичность их из года в год является устойчивой. Крупнейшие землетрясения региона приурочены к ряду структур, активных в отношении землетрясений малых энергий. Выделены фоновая сейсмичность и активизации. Фоновая сейсмичность, на первый взгляд хаотичная, с течением времени упорядочивается в соответствии с блочной структурой Алтае-Саянской горной области и концентрируется, в основном, в горном обрамлении впадин. Активизации тесно связаны с крупнейшими землетрясениями и, в большей своей части, протекают как афтершоковый процесс.

Алтае-Саянская складчатая область, являющаяся составной частью горной системы Центральной Азии, сейсмически активна и может рассматриваться как постоянно меняющаяся, блочная, иерархически организованная геофизическая среда [5, 21, 22]. Землетрясения, регулярно происходящие в этой зоне, свидетельствуют об активности происходящего здесь процесса разрушения земной коры и горообразования. С начала шестидесятых годов прошедшего столетия в зоне развёрнута сеть сейсмологических станций, что позволило накопить ценный экспериментальный материал для изучения особенностей происходящего в горной области сейсмического процесса, несмотря на медленность его развития в сравнении с периодом инструментальных наблюдений.

В данной работе, в продолжение исследований [13, 15], делается попытка дополнить по Алтае-Саянской горной области сведения об особенностях связей между сейсмичностью и рельефом местности в пространстве и времени, рассмотреть условия возникновения крупнейших землетрясений и особенности их афтершоковых процессов.

Связь рельефа с сейсмичностью рассматривалась для данного региона неоднократно. Наиболее полно результаты предыдущих исследований характеризует высказывание Н.А. Флоренсова [27]: «Между рельефом и сейсмичностью связь, конечно, имеет место, но она далеко не прямая, имеет статистический характер, опосредована целым рядом промежуточных и привходящих условий, как и огромное большинство явлений, происходящих в недрах планеты и находящих то или иное отражение на её поверхности». Статистический характер связи между рельефом и сейсмичностью обычно понимался осреднённо, как правило, без привязки к конкретным геологическим структурам, без изучения устойчивости связи в пространстве и времени для конкретного региона, без изучения скорости проявления связи для конкретной структуры во времени. Появившиеся геоинформационные системы открывают новые возможности при проведении такого анализа.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧНОСТИ

Обобщение данных о сейсмичности Алтая и Саян за период инструментальных наблюдений, позволившее выделить основные сейсмоактивные зоны области, сделано в [1, 3, 10]. Недостатком выполненных обзоров является то, что характеристики сейсмического режима сделаны без оценки возможных механизмов сейсмической активизации тех или иных геологических структур. Не отражен взгляд на сейсмичность Алтае-Саянской области с позиции пространственновременных связей. В то же время большой интерес к тектонике и геодинамике Алтая проявлен в разработке геологических концепций, объясняющих строение и развитие региона [7-9, 11, 17-20, 28, 29].

При изучении пространственно-временных особенностей сейсмичности региона, во избежание затруднений, связанных с использованием перегруженных карт эпицентров землетрясений (по полному каталогу событий), или недостатка данных (после исключения из рассмотрения слабых землетрясений), в данной работе сформирован подход на основе следующих положений:

 тектонические процессы протекают достаточно медленно и в ограниченном временном интервале приводят к возникновению сейсмически активных зон, устойчивых в пространстве;

2) проявление сейсмичности при тектонических процессах имеет иерархию во времени;

3) слабые землетрясения проявляются в структурах, наиболее активных в тектоническом отношении, и в относительно малые интервалы времени.

Для обеспечения большей представительности использования каталога землетрясений Алтае-Саянской складчатой области при анализе сейсмичности за единичный интервал времени взят один год. В этом временном интервале, с учетом вышеприведенных предположений, наиболее сейсмоактивные структуры проявляют свои особенности в достаточной мере, тогда как в целом каталог событий за период инструментальных наблюдений в регионе обладает избыточной информацией относительно наиболее быстро протекающих тектонических процессов. Информация о сейсмичности в предыдущие годы использована для оценки устойчивости тектонических процессов во времени. При изменении временного интервала, например, при выборе интервала более года, появляется возможность изучать более медленные тектонические процессы и оценивать их устойчивость во времени (правда, по меньшему числу повторений). Во всех случаях для формирования обоснованного взгляда на сейсмичность региона данные об эпицентрах землетрясений, ограниченные рамками небольшого временного интервала, нуждаются в дополнении наиболее важной информацией по геологии и тектонике.

При анализе сейсмичности Алтае-Саянской горной области (рисунок 1) был использован ее рельеф, построенный по однокилометровой цифровой модели превышений GLOBE DEM Национального центра геофизических данных (США), и карта активных разломов, основу которой составили данные ГИН РАН, несколько дополненные и уточнённые информацией из [13]. На карту вынесены эпицентры наиболее крупных землетрясений, которых, однако, недостаточно для полноценных выводов об особенностях сейсмического режима рассматриваемого региона.



Рисунок 1. Эпицентры крупных землетрясений Алтае-Саянской области за период 1963 – 2003 гг.

Из рисунка 1 можно видеть, что немногочисленземлетрясения шестнадцатого-семнадцатого ные энергетического классов приурочены к впадинам -Зайсанской, Убсу-Нур, Бусингольской, - и к Чуйско-Курайской зоне. Бусингольское землетрясение приурочено к рифтовой впадине. Остальные крупнейшие землетрясения произошли, по-видимому, в условиях сжатия и приурочены к горному обрамлению впадин. Землетрясения пятнадцатого энергетического класса также немногочисленны. Большинство из них приурочено к геологическим структурам, где произошли землетрясениями с К=16 и более. Только одно событие этого класса (на восточной границе Монгольского Алтая) не приурочено к эпицентру такого события. Землетрясения тринадцатого и четырнадцатого классов более многочисленны. Очень высока плотность крупных землетрясений в Чуйско-Курайской зоне.

Более чем за сорок лет до 2003 г. здесь не было зафиксировано ни одного крупного землетрясения. Чуйское землетрясение (М=7.3) является крупнейшим в Алтае-Саянской зоне за период инструментальных наблюдений и афтершоковый процесс, последовавший за главным толчком, выделил эту зону как наиболее сейсмоактивную в регионе.

Особенностью строения центральной части Алтае-Саянской складчатой области является наличие системы крупных впадин: Тувинская котловина, котловина Убсу-Нур и котловина Больших озёр, которые формируют как бы сегмент окружности, разделённый на части узкими хребтами. С системой впадин связаны наиболее крупные проявления сейсмичности Алтае-Саянской горной страны. Системы горных хребтов разбиты множеством разломов и имеют примерно одинаковые деформационные характеристики, тогда

как впадины являются более монолитными участками и отличаются от горных хребтов по деформационным характеристикам. При воздействии извне такие монолитные участки внутри горной системы должны оказывать сопротивление движению горной системы. Сопоставление карты эпицентров землетрясений с рельефом местности и активными разломами позволяет заметить, что все сейсмоактивные зоны Алтае-Саянской области увязываются с системами впадин. Отмеченные крупные впадины являются блоками, вокруг которых происходят крупные землетрясения. В восточной части региона присутствует другой тип - рифтовые впадины, с проявлением сейсмичности под впадинами. Это впадины Бусингольская, Дархатская, Хубсугульская и Белинская, которые имеют иной механизм формирования сейсмичности, чем в других структурах Алтае-Саянской складчатой области. Если горной системе сообщено движение, то впадины, как более прочные блоки, оказывают ему сопротивление и вокруг них формируется сейсмичность. Сейсмоактивные зоны могут возникать перед впадиной со стороны движущегося на неё массива (зона сопротивления движению), внутри, нее, когда впадина под воздействием сил ломается

(зона излома) и с противоположной стороны (зона передачи движения).

Для изучения пространственно-временных особенностей сейсмичности Алтае-Саянской горной области были построены карты эпицентров сейсмических событий для каждого года в интервале 1963-2000 гг. Все карты имеют высокое качественное сходство, что отражает устойчивость тектонических процессов во времени. Ниже приведены данные за два произвольно выбранных года – 1997 и 1984 г.

Карта эпицентров землетрясений 1997 г., приведенная на рисунке 2, позволяет выделить цепь землетрясений, протягивающихся вдоль Монгольского Алтая - через западную границу плато Укок к Катунскому хребту, далее к Коксуйскому хребту, - и заканчивающихся в его северо-западном окончании. Район Зайсанской впадины выглядит как область с землетрясениями, прилегающими к линейной зоне, но беспорядочно рассыпанными. В соответствии с концепцией тектоники плит, выявленные зоны сейсмичности можно рассматривать как результат тектонического взаимодействия Тянь-Шаня и Алтая через структуры Джунгарии и Восточного Казахстана.



Рисунок 2. Эпицентры землетрясений Алтае-Саянской горной области за 1997 г.

Воздействие литосферных плит на такую мощную структуру как Алтай встречает на её границах мощное сопротивление, часть энергии движения участвует в процессе разрушения горных пород и, как следствие, в сейсмичности.

Тувинская котловина - самая крупная впадина рассматриваемой зоны (рисунок 1), выгнута на север и отделена горными хребтами и системой разломов от мелких впадин с севера и от котловины озера Убсу-Нур с юга. Она состоит из трёх элементов [24]: Хемчикской, Улугхемской и Кызыльской впадин. Линейные зоны эпицентров, секущие Тувинскую котловину, соответствуют границам между названными элементами котловины. На карте эпицентров землетрясений 1997 г. (рисунки 1, 2) можно видеть, что с запада Тувинской котловины расположена весьма сейсмоактивная зона вдоль Шапшальского хребта, имеющая разворот к северу на Алашское плато. Активизированной является область, вплотную прилегающая к Тувинской котловине, которую можно рассматривать как зону сопротивления Тувинской котловины движению. Между хребтами Западный и Восточный Танну-Ола проявляется линейная цепь землетрясений, приуроченных вначале к борту впадины вдоль хребта Западный Танну-Ола, а затем после разворота впадины цепь землетрясений пересекает Тувинскую котловину. Прослеживаемая цепь событий может свидетельствовать о зоне излома в Тувинской котловине, сформированной давлением с запада. Восточное окончание Тувинской котловины высокой сейсмичностью не характеризуется, но восточнее впадины отмечены две сейсмически активные зоны - Бусингольской впадины и Дархатской котловины. Обе структуры практически ортогональны Тувинской котловине. В 1997 г. Бусингольская котловина характеризуется максимальной сейсмической активностью по сравнению с другими сейсмоактивными участками.

Южнее Тувинской котловины располагается впадина Убсу-Нур - вторая по размерам в Алтае-Саянской зоне (рисунки 1, 2). В 1997 г. землетрясения внутри впадины практически отсутствуют, что позволяет полагать, что впадина ведёт себя как монолит. На ее запалном фланге имеется линейная сейсмически активная зона - горное обрамление впадины. В юговосточном углу впадины зарегистрировано несколько землетрясений вдоль разлома, что позволяет предположить существование здесь излома впадины. Как и в случае Тувинской котловины, восточное окончание впадины Убсу-Нур несейсмично. Две линейных цепочки землетрясений, параллельных разломной зоне, ограничивающей впадину с востока, отчётливо видны на некотором удалении от оконечности впадины: первая, более интенсивная, проходит через хребты Сенгилен и Хорумнуг-Тайга в зоне их сближения, вторая формируется южнее Бусингольской впадины. С юга впадины Убсу-Нур вдоль хребта Ханхухэй проходит мощная разломная зона (Болнайский разлом) с множеством ответвлений, как бы отсекающая расположенную с юга впадину Больших озёр и хребта Хангай. Эпицентры землетрясений рассредоточены по ответвлениям, тогда как главная зона несейсмична, что может объясняться особенностями тектонических движений вдоль системы разломов.

Впадина Больших озёр и подпирающий её горный массив Хангай, как бы, отрезаны от горных масс, сейсмические процессы в этой системе идут с меньшей скоростью. Ещё одна проявившая себя в 1997 г. сейсмоактивная область - зона Курайского хребта из двух впадин: Курайской и Чуйской. Другие внутренние впадины, которые имеются на Алтае, в сейсмическом отношении за год заметно не проявились.

Таким образом, в 1997 г. в Алтае-Саянской области не произошло крупных землетрясений, про-

явились сейсмические процессы, протекающие около впадин, прежде всего, Тувинской котловины, котловины Убсу-Нур и северной части впадины Больших озёр, представляющих единую систему в центре Алтае-Саянской области. Можно предположить, что данные впадины являются препятствием на пути медленных перемещений горных масс от Тянь-Шаня через Алтай к Байкалу и с ними связано формирование быстро проявляющих себя в сейсмичности тектонических процессов. Чуйская и Курайская впадины являются внутренними структурами Горного Алтая, вокруг них так же происходят тектонические процессы, проявившиеся в сейсмичности за год. Обе впадины явно выделяются среди других по повышенной сейсмичности, о причинах которой можно высказывать лишь догадки. Согласно существующим представлениям [9] Алтай испытывает горизонтальное воздействие, ориентированное субмеридианально. Если рассматривать систему крупных впадин (Тувинская, Убсу-Нур), то по проявлению сейсмичности (рисунок 2) можно говорить об отклонении направления движения блоков земной коры к востоку. Не исключено, что тектонические процессы, протекающие в окрестности Курайской и Чуйской впадин, играют заметную роль в изменении направления движения плит на Алтае. Этим может объясняться яркость и быстротечность сейсмического процесса на этом участке Алтая.

На рисунке 3 приведена карта эпицентров землетрясений за 1984 г. Как можно видеть из ее анализа, в сейсмическом отношении проявляются те же геологические структуры, что и в 1997 г.

Сравнивая карту эпицентров сильных землетрясений (рисунок 1) и эпицентров землетрясений, произошедших в течение года (рисунки 2 и 3), можно выделить большее число геологических структур, проявляющихся в сейсмичности за год, чем очаговых зон крупных землетрясений. Это может быть объяснено тем, что не все сейсмоактивные зоны Алтае-Саянской области проявились крупными землетрясениями. Сейсмогеологическое обследование Горного Алтая [20] показало существование следов крупных землетрясений практически во всех структурах, быстро проявляющих себя в сейсмичности. Можно предположить, что многие сейсмоактивные структуры могут проявить себя как очаговые зоны крупных землетрясений.

Кроме одногодичных карт эпицентров землетрясений, построены и проанализированы карты для двух-, пяти- и десятилетних интервалов наблюдения (рисунок 4). Это позволило выявить целый ряд деталей в сейсмическом режиме региона, которые не видны на одногодичных картах. Например, в Тувинской котловине установлена вторая линейная зона излома и линейная зона повышенной сейсмичности в северном горном обрамлении впадины.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВЯЗИ СЕЙСМИЧНОСТИ С РЕЛЬЕФОМ МЕСТНОСТИ ДЛЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ ОБЛАСТИ



Рисунок 3. Эпицентры землетрясений Алтае-Саянской горной области за 1984 г.



Рисунок 4. Эпицентры землетрясений Алтае-Саянской горной области за пятилетний период (1993-1997 гг.)

В [13], где дан пространственно-временной анализ сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области, до Чуйского землетрясения, отмечены высокая активность Чуйско-Курайской зоны по слабым землетрясениям и высокая вероятность крупного землетрясения в этой зоне. К числу других зон, где угадываются быстро текущие тектонические процессы по большому количеству землетрясений малых энергий, можно отнести западное обрамление Тувинской котловины (Шапшальский хребет, Алашское плато), югозападную границу Алтая с Джунгарской впадиной, линию излома Тувинской котловины на продолжении хребта Западный Тану-Ола, хребта Сенгилен, Белинскую впадину и Дархатский грабен. Другие зоны быстротечных тектонических процессов, характеризующиеся слабыми землетрясениями, уже отмечены крупными землетрясениями. За период инструментальных наблюдений с 1963 года по настоящее время землетрясения 16-17 энергетического класса происходили только в зонах со стабильной слабой сейсмичностью, т.е вероятность крупных землетрясений более высока в структурах, отмеченных как зоны быстротекущих тектонических процессов, хотя нельзя утверждать, что крупные землетрясения не могут произойти и в других зонах.

Изучение пространственно-временного режима сейсмичности проведено с учетом существования системы линейных зон сейсмоактивной геологической структуры Алтае-Саянской складчатой области. При этом использована идея исключения одного из пространственных измерений, реализованная при пространственно-временном анализе сейсмичности геологической структуры озера Байкал по достаточно крупным землетрясениям [4]. В данном случае анализируются структуры более мелкого уровня и используются землетрясения всех энергетических классов. Выбирается линия и задается ширина полосы вдоль структуры, в пределах которой все эпицентры землетрясений проектируются на линию и весь сейсмический процесс представляется на плоскости, координатами которой являются расстояние вдоль линейной структуры и время.

Пространственно-временной анализ сейсмичности проведен для всех основных линейных структур, однако в данной работе внимание сосредоточено на наиболее крупных землетрясениях за период существования региональной сети станций.

Крупнейшие Активизации Алтае-Саянской горной области

Крупные землетрясения в Алтае-Саянской складчатой зоне вызывают мощнейший афтершоковый процесс. В этом случае активизированная зона резко выделяется на фоне рядовой сейсмичности всей области и процесс затухания сейсмичности в активизированном районе длится годы.

Крупнейшими землетрясениями Алтае-Саянской области являются Чуйское землетрясение 27.09.2003г. (М=7.3), Урег-Нурское 16.05.1970г. (М=7.0), Зайсанское 14.06.90г. (М=6.9), Бусингольское 27.12.1991г. (М=6.5) (рисунок 1). Из-за существенных различий в плотности сети станций данные по каждому из землетрясений не равноточные и детальность результатов соответствует точности каталога.

Бусингольское землетрясение связано с самой западной структурой системы рифтовых впадин Байкальской зоны. Именно здесь проходит восточная граница Алтае-Саянской области. Как известно [13], для структур Байкальского рифта сейсмичность в основном концентрируется внутри впадин, а для Алтае-Саянской области характерна концентрация землетрясений в их горном обрамлении. Западное окончание Байкальской рифтовой зоны составлено системой параллельных впадин, развёрнутых почти перпендикулярно к общему простиранию рифтовой зоны. Бусингольская, Белинская и Терехольская впадины образуют узкие линейные зоны, почти стыкующиюся друг с другом. Линия, выбранная для пространственно-временного анализа сейсмичности. начинается в горах Восточного Саяна, проходит вдоль впадин Белинской, Бусингольской и заканчивается в Терехольской впадине. Как видно из рисунка 1, выбранная линия совпадает с линейной зоной разломов, секущей геологические структуры, к одной из которых (Бусингольская впадина) приурочено землетрясение с К=16. Впадины входят в семейство рифтовых впадин Хубсугулья [23], из которого в данной работе внимание уделено трем впадинам: Бусингольской, Белинской и Терехольской, составляющим границу рифтовой зоны с Алтае-Саянской горной областью. В работах по анализу сейсмичности данной территории эти структуры рассматривались как одно целое, хотя уже в работах В.М. Кочеткова и др. [16] отмечалось, что для землетрясений одного и того же энергетического класса (тринадцатого) в северной части Бусингольской сейсмоактивной зоны линейные размеры афтершоковой области составляют 15-20 км, а для центральной – 50-70 км.

На рисунке 5 приведено пространственновременное распределение сейсмичности, построенное для рассматриваемой линейной зоны.

Интервалу расстояний 130-180 км соответствует впадина Белинская, интервалу 220-310 км - впадина Бусингольская. Для впадин характерно наличие периодов хаотического пространственно-временного распределения землетрясений и интервалов одновременной активизации всей структуры. Вне активизаций обе впадины имеют близкую по уровню сейсмичность. В 1991 г. Бусингольская впадина испытала сильнейшую сейсмическую активизацию, которая началась с Бусингольского землетрясения 27.12.1991г. (М=6.5) [13]. С этого времени сейсмичность Бусингольской впадины существенно отличается от сейсмичности впадины Белинского. Главная особенность - многократность активизации по всей длине Бусингольской впадины. На протяжении более чем десятилетия отмечается пульсирующий характер сейсмической активизации. Можно выделить порядка десятка циклов сейсмической активизации. На рисунке 5 представлены данные до 2000 г., но этим периодом афтершоковый процесс не закончился. Приведенные данные характеризуют уникальную для всего региона активизацию линейной структуры. Других активизаций такого типа в Алтае-Саянской складчатой зоне авторам обнаружить не удалось. За период инструментальных наблюдений происходили и более сильные землетрясения, чем Бусингольское, однако сейсмических активизаций, подобных активизации, вызванной Бусингольским землетрясением, не наблюдалось. В [15] показано, что имеет место чередование активизаций впадины и горного обрамления поочерёдно. Сейсмичность впадины - характерная черта рифтовых образований, сейсмичность горного обрамления – характерная особенность блочных структур при горизонтальном сжатии, вызванном коллизией. Противоборством двух процессов объясняется пульсирующая активность афтершокового процесса Бусингольского землетрясения. До 1991 г. сейсмический режим Бусингольской впадины во многом похож на сейсмический режим других сейсмоактивных структур Алтае-Саянской складчатой зоны. Наблюдается фоновая сейсмичность и редкие линейные сейсмические активизации по всей длине впадины. Самая крупная из них связана с землетрясением 01.04.1976 г. с К=14 (M_S=5.4), но длительность отмеченной линейной активизации во времени не сравнима с сейсмической активизацией данной структуры, начавшейся в 1991 г.

В сейсмическом режиме Белинской впадины можно также отметить попытки сейсмической активизации по всей длине, но линейные активизации выглядят как активизации другого масштаба. Примечательным является то, что сейсмические активизации двух рассматриваемых впадин не совпадают по времени. Первая активизация впадины Белинская связана с землетрясением 29.11.74 г. с К=13 (M=5.2), вторая - с меньшим по энергии землетрясением в 1992 г., а третья, более слабо выраженная активизация, вызвана землетрясением 04.11.1999 г. с К=12.8 (М=5.0). На рисунке 6 представлено развитие сейсмического процесса при двух землетрясениях во впадине Белинская 1974 г. и 1999 г., примерно равных по энергии и крупнейших за период существования сети станций. Сейсмическая активизация, вызванная землетрясением 1974 г., оказалась существенно сильнее, чем после землетрясения 1999 г., но размеры афтершоковых областей примерно равные (15-20 км).



Рисунок 5. Пространственно-временное представление сейсмического режима линейной зоны: Восточный Саян – впадина Белинского – Бусингольская впадина

Длина впадин Белинской и Бусингольской примерно одинакова, но как уже было отмечено, линейные размеры афтершоковых областей у них существенно различны. Этот вывод сделан при сравнении афтершокового процесса землетрясения в Бусингольской впадине 01.04.1976 г. и в Белинской впадине 29.11.1974 г. Отличительной чертой Белинской впадины является изогнутость её профиля к северозападу. В северо-восточной части ширина этой впадины приближается к ширине Бусингольской впадины, но после зигзага в простирании она сужается практически до ущелья, в котором течёт река Белин. Восточным обрамлением для рассматриваемых впадин является Шишхидское нагорье.



Рисунок 6. Эпицентры землетрясений в Белинской впадине, характеризующие развитие сейсмического процесса в период 1973 – 2001 гг.

Как следует из рисунка 6, землетрясение 1974 г. произошло чуть восточнее землетрясения 1999 г. и, соответственно, дальше в горах, фактически на восточной границе рассматриваемого блока. В 1973 г в зоне будущего очага наблюдается затишье. Слабые землетрясения окружают будущую афтершоковую область, не затрагивая её. Карта эпицентров землетрясений 1974 г. показывает, что землетрясение и афтершоковая область полностью сосредоточены в Шишхидском нагорье, на восточной границе блока, искривляющего Белинскую впадину. Афтершоковая область в 1974 г. компактна, в 1975 г. незначительно расширяется, а в 1976 г. афтершоковый процесс почти затихает.

Эпицентр землетрясения 1999 г., так же как и в 1974 г., приурочен к горному выступу, искривляющему Белинскую впадину, расположен чуть западнее и приходится на седловину рассматриваемого блока. Область афтершоков вытянута от эпицентра главного толчка в северном направлении. Длительность и интенсивность афтершокового процесса оказалась существенно меньше, чем при землетрясении 1974 г. Событием 1974 г. начат афтершоковый процесс на западной границе блока, что можно рассматривать как отражение его конфликта с горной системой Шишхидского нагорья, а землетрясение 1999 г. и его афтершоковый процесс – как конфликт между этим же блоком и впадиной. Обшей чертой двух крупнейших землетрясений, произошедших в окрестности Белинской впадины, является то, что они приурочены к локальным тектоническим процессам вокруг блока из горного окружения, тогда как сейсмический процесс, происходящий во впадине в целом, мало интенсивен. Длина афтершоковой области Белинской впадины втрое меньше, чем в в Бусингольской впадине. хотя общая длина обеих впадин примерно одинакова.

Во время Бусингольского землетрясения активизировались разломные структуры как горного обрамления, так и впадины, но главный толчок в горном обрамлении и сила сейсмической активизации впадины несоизмеримо меньше силы активизации её горного обрамления. Отмеченный в [13] пульсирующий характер Бусингольской активизации может быть связан с противоборством двух различных процессов, приводящих к землетрясениям: коллизия и рифтогенез. Такое развитие сценария сейсмической активизации оказалось возможным только на границе двух регионов с принципиально разными закономерностями в проявлении сейсмичности. После Бусингольского землетрясения (01.04.1976 г.) пульсирующая активизация медленно затухала во времени, но после Чуйского землетрясения (27.09.2003 г.) энергия пульсаций в зоне Бусингольского землетрясения возросла. В 2004 и в 2005 гг. произошли землетрясения с магнитудой 4-5. На рисунке 7 приведены карта эпицентров и механизмы некоторых наиболее сильных землетрясений в окрестности Бусингольской впадины. Наибольшее число

определений механизмов очагов землетрясений сделано для активизации 2004 г. Землетрясения этого года являются событиями в горном обрамлении, но расположенными южнее эпицентра Бусингольского землетрясения. Как можно видеть из рисунка 7, события 2004 г. являются сбросами, в то время как главный толчок Бусингольского землетрясения – сдвиг [2].



б – ориентация осей сжатия и растяжения



Для более детального анализа Бусингольской активизации построены карты эпицентров за год и рассмотрена сейсмичность зоны более чем за сорокалетний период. Было выявлено, что для впадины характерны длинные линейные активизации, а для горного обрамления - более короткие линейные активизации, ориентированные под углом к оси впадины. Это позволяет предположить, что часть Шишхидского нагорья, примыкающего к Бусингольской впадине, разбита системой разломов на блоки, вдоль границ которых происходит процесс активизации, смещающийся в пространстве, при постоянном сейсмическом процессе вдоль Бусингольской впадины. Повидимому, имеет место сейсмическая активизация, при которой к афтершоковому процессу присоединяется серия самостоятельных активизаций вдоль разломов, входящих в единую систему. Серия землетрясений 2004 г. и само Бусингольское землетрясение относятся к разным элементам этой системы разломов, чем можно объяснить различие в смене механизмов землетрясений во времени.

Характерным для сейсмичности линейной системы впадин, составляющих границу Алтае-Саянской горной области и Байкальской рифтовой зоны, является:

- проявление сейсмической активности как внутри впадин, так и в горном обрамлении;
- существование упорядоченных линейных активизаций с одновременной сейсмической активностью структуры в целом;
- увязка наиболее крупных сейсмических активизаций с блочным строением горного обрамления;
- уникальность по длительности и пульсирующему характеру сейсмической активизации, продолжающейся по сей день, вызванной Бусингольским землетрясением, как, возможно, результат столкновения рифтовых процессов с коллизионными.

На рисунке 8 приведены результаты пространственно-временного анализа структуры по линии: Шапшальский хребёт - западное обрамление котловины Убсу - Нур - горное обрамление Котловины больших озёр (рисунок 1), т.е. по границе сегмента, образованного системой впадин, находящихся в центре горной системы. В этой линейной структуре 16.05.1970 г произошло Урег-Нурское землетрясение (M=7.0) [25]. Как следует из рисунка 8, после землетрясения наблюдается сильнейшая сейсмическая активизация линейной зоны длиной около 90 км, но которая не похожа на сейсмическую активизацию Бусингольской впадины (рисунок 5): отмечается уменьшение во времени линейного размера активизированной области; примерно через 5 лет сейсмическая активность уменьшается до фонового уровня. Шапшальскому хребту соответствует интервал расстояний 0-150 км, в котором отмечается повышенная фоновая сейсмичность и короткая во времени попытка одновременной активизации структуры.



Рисунок 8. Пространственно-временное представление сейсмического режима линейной зоны Линия: Шапшальский хребёт-западное обрамление котловины Убсу-Нур-горное обрамление Котловины больших озёр

Наиболее крупным землетрясениям, произошедшим в рассматриваемой геологической структуре, соответствуют быстро затухающие во времени активизации её линейных участков. Интересен факт повышение активности через четыре года после Урег-Нурского землетрясения, не соответствующий закону Омори. Более внимательный анализ показал, что эта активность увязывается с близко расположенной разломной структурой и спровоцирована данным землетрясением, а не афтершоковым процессом.

Для Чуйского землетрясения (27.09.2003г., М=7.3), произошедшего в центре сети станций Алтайского сейсмологического полигона, развёрнутой за год до главного толчка [14], получены экспериментальные данные значительно более точные и полные, чем для других землетрясений, что позволило рассмотреть процесс сейсмической активизации более детально. Эпицентр Чуйского землетрясения находится в центральной части горного Алтая, в Чуйско-Курайской зоне (рисунок 1). Сравнительно небольшие впадины - Чуйская и Курайская, - разделены приподнятым Чаган-Узунским блоком и окружены горными хребтами Курайский, Северо-Чуйский и Южно-Чуйский. В течение сорока лет до 27 сентября 2003 г сейсмический режим Чуйско-Курайской зоны имел следующие особенности [6]: крупных землетрясений с энергетическими классами К ≥13 не наблюдалось, зона ярко отмечалась как район с быстропротекающим сейсмотектоническим процессом по количеству землетрясений с энергией менее двенадцатого класса, сейсмические события в основном концентрировались вокруг впадин.

На рисунке 9 показано изменение во времени суммарной сейсмической энергии, выделившейся в Чуйско-Курайской зоне. Для расчетов взят прямоугольный участок, охватывающий Курайскую и Чуйскую впадины, Чаган-Узунский приподнятый блок, Северо-Чуйский, Южно-Чуйский и Курайский хребты (рисунок 1). Каждая точка на графике – суммарная сейсмическая энергия за год. График заканчивается 2001 г, для которого имеется выверенный (по стандартной обработке) каталог землетрясений Алтая.



Рисунок 9. Изменение во времени суммарной сейсмической энергии по Чуйско-Курайской зоне

Как можно видеть из рисунка 9, на протяжении многих лет значение суммарной сейсмической энергии не превышало $3 \cdot 10^{11}$ Дж. За всю историю инструментальных наблюдений зафиксировано три года с повышенной суммарной сейсмической энергией: 1985 г. – $1 \cdot 10^{12}$ Дж, 1996 г. – $1.5 \cdot 10^{12}$ Дж и 2000 г. – $2 \cdot 10^{12}$ Дж. Серия событий 1996 г. рассматривалась А.Г. Филиной как Акташский рой землетрясений [26]. Три года с повышенной энергией в сорокалетнем ряду инструментальных наблюдений выглядят как некоторое заблаговременное предупреждение о грядущей сейсмической активизации.

В 1985 г. наибольший вклад в значение суммарной сейсмической энергии внесено одним землетрясением в горном обрамлении юго-восточного угла Чуйской впадины. Достаточно активен Чаган-Узунский блок. Цепь землетрясений малых энергий проходит вдоль всего Курайского хребта. Небольшое количество слабых событий приурочено к Чуйскому хребту.

В 1996 г. крупных землетрясений не происходило. Аномальным по выделившейся сейсмической энергии год делает большое количество близких по энергии землетрясений. Особой активностью отличаются периметр Чаган-Узунского блока и Курайский хребет. Эта активизация вполне обосновано может рассматриваться как рой землетрясений в эпицентральной области за семь лет до главного толчка будущего крупного землетрясения.

Аномалия 2000 г. связана, прежде всего, с землетрясением двенадцатого энергетического класса, произошедшего на стыке Чаган-Узунского блока с Северо-Чуйским хребтом. Повышенная сейсмичность в данном случае присуща Чаган-Узунскому блоку и Курайскому хребту с максимумом активности в районе, прилегающем к поселку Акташ. Землетрясение двенадцатого класса почти в эпицентре будущего главного толчка зафиксировано в наблюдаемой зоне впервые за весь период инструментальных наблюдений.

В 2001 г. суммарная сейсмическая энергия в сравнении с предыдущим годом существенно снижается, но остается выше обычного фона. Наиболее сильные землетрясения сосредоточены на Курайском хребте в районе поселка Акташ и в горном обрамлении юго-восточного окончания Чуйской впадины. Землетрясения малых энергий (до K = 8) цепью проходят по Курайскому хребту и в пределах Чаган-Узунского блока, охватывая зону соприкосновения с этим блоком в Северо-Чуйском хребте.

В 2002 г. Чуйско-Курайской зоне наблюдается сейсмическая активизация. Землетрясения имеют небольшую энергию, но по числу событий это самый активный участок Алтае-Саянской складчатой зоны. Землетрясения концентрируются, главным образом, в окружении Курайской впадины, размещаясь также и внутри неё.

С начала 2003 г. и до времени главного толчка землетрясения Чуйско-Курайская зона относительно

спокойна, особенно в летний период. Развернутые летом 2002 и 2003 гг. локальные сети станций в Курайской впадине, позволили получить данные на новом уровне точности по координатам эпицентров и по глубинам землетрясений в Чуйско-Курайской зоне [13]. Наибольшее число землетрясений в 2002 г. пришлось на интервал глубин 12-16 км, примечательны землетрясения на глубинах 2-4 км.

Рисунок 10 позволяет проследить за сейсмическим процессом в Чуйско-Курайской зоне в разные периоды его развития: сейсмической активизации с 3 августа по 30 октября 2002 г. (рисунок 10а), сейсмического затишья с 10 августа по 10 сентября 2003 г. (рисунок 10б), Чуйского землетрясения и его афтершоков с 27 сентября по 22 октября 2003 г. (рисунок 10в).





Как видно из рисунка 10 а, во второй половине 2002 г. в зоне будущего крупного землетрясения отмечается сейсмическая активизация с ореолом событий, имеющим протяженный линейный размер в два-три раза превышающий его диаметр. Проявляясь во всем Курайском хребете, активизация существенно отличается от структуры афтершокового процесса (рисунок 10 в). Повышенная концентрация эпицентров землетрясений наблюдается в югозападном углу Курайской впадины, далее цепь событий окаймляет Чаган-Узунский блок с трех сторон. Примечательно, что зона будущего толчка свободна от землетрясений. Не было землетрясений и по линейной зоне, участвовавшей в афтершоковом процессе Чуйского землетрясения.

Из рисунка 10 б видно, что в период затишья в Чаган-Узунском блоке практически отсутствуют даже слабые толчки. Большая часть землетрясений локализуется в овальной области, начинающейся в Северо-Чуйском хребте, охватывающей всю Курайскую впадину и заканчивающейся у северо-западного окончания Курайского хребта. Обращает на себя внимание, что в Курайской впадине эпицентры сейсмических событий образуют линейные цепи.

Эпицентр главного толчка Чуйского землетрясения (рисунок 10 в) приурочен к разлому, являющемуся границей между Чаган-Узунским блоком и Северо-Чуйским хребтом. Сейсмические события первого дня происходят, главным образом, по периметру Чаган-Узунского блока. В последующие дни наблюдается распространение афтершоков в стороны вдоль линейного разлома по юго-западным границам Курайской и Чуйской впадин. Глубины афтершоков относятся к интервалу от четырех до шестнадцати километров. Наибольшее число афтершоков произошло в интервале глубин от девяти до одиннадцати километров. Механизмы очагов землетрясений, исследованы в [12], где показано, что по линии разлома вдоль Северо-Чуйского хребта наблюдается почти чистый горизонтальный сдвиг, а на обоих окончаниях афтершоковой зоны механизмы изменяются, существенной становится вертикальная составляющая сдвига. Линейная зона афтершоков (вторая фаза развития) состоит из ряда элементов. Северо-западное окончание зоны сформировалось в виде разветвлённой к концу кисти, на юговосточном окончании этого элемента отмечается загиб линии афтершоков внутрь Курайской впадины. Крупнейший афтершок произошёл здесь 27.09.2003 г. в 18:52 GMT (К=16.6, М=6.3). Второй элемент афтершокового процесса разместился в юго-западном углу Курайской впадины. Афтершоки выстраиваются в нём в две параллельные изогнутые линии. Главное событие этого элемента произошло 01.10.2003 г. в 01:03 GMT (К=16.4, М=6.6). Третий элемент афтершокового процесса возглавляет главный толчок 27.09.2003 г. в 11:33 GMT (К=17.0, М=7.3). События в этом элементе формируют цепочки, перпендикулярные линии простирания зоны афтершоков. Четвёртый элемент составляют землетрясения, размещённые в северо-западном углу Чуйской впадины. В этой группе афтершоков нет события, явно выделяющегося по силе, и они выглядят как хаотическое переплетение цепочек эпицентров, соответствующих системе разломов, по которой идёт разрушение угла Чуйской впадины. Анализ гипоцентров событий [12] показал, что большая часть событий вдоль границы Курайской впадины и Северо-Чуйского хребта соответствует разрывам, параллельным границе и находящимся внутри впадины. Преимущественно происходит разрушение края Курайской впадины. Зафиксирован наклон области афтершоков от Курайской впадины под Северо-Чуйский хребёт.

Приведенные материалы позволяют сформировать предварительные представления об особенностях сейсмотектонических процессов, происходивших в зоне Чуйского землетрясения:

1. Чуйскому землетрясению 27 сентября 2003 г. предшествовали сейсмические активизации в 1985 г., в 1996 г., в 2000 г., во второй половине 2002 г. и сейсмическое затишье в 2003 г.

2. В 1985 г. наибольший вклад в выделившуюся повышенную суммарную сейсмическую энергию внесло одно землетрясение, произошедшее в горном обрамлении юго-восточного угла Чуйской впадины, и активность в Чаган-Узунском блоке.

3. В 1996 г. наблюдается активизация в виде роя землетрясений в Чаган-Узунском блоке и Курайском хребте в зоне, граничащей с одноименной впадиной.

4. В 2000 г. практически в эпицентре будущего Чуйского землетрясения произошло землетрясение двенадцатого энергетического класса, первое крупнейшее событие за период инструментальных наблюдений в рассматриваемой структуре.

5. Сейсмическая активизация 2002 г. проявилась на большей площади, чем афтершоковый процесс Чуйского землетрясения. По-видимому, здесь происходила релаксация напряжений в виде распределенного по большой площади не очень интенсивного сейсмического процесса.

6. Сейсмическое затишье, природа которого остается неясной, как и в отношению к другим крупным землетрясениям, характеризуется упорядоченной структурой микроземлетрясений. Отмечаются линейные цепочки событий по Курайской впадине. Можно предположить, что мощный блок впадины начинает испытывать тектоническое воздействие окружающих его горных блоков.

7. Чуйское землетрясение произошло на югозападной границе Чаган-Узунского блока, где не было землетрясений при сейсмической активизации 2002 г., и где не было микроземлетрясений в период затишья. Афтершоки охватили структуры, которые не активизировались в 2002 - 2003 гг. Разрядка напряжений с разрушениями геологической среды произошла не по тем структурам, в которых происходили сейсмические события в период, предшествующий Чуйскому землетрясению.

8. В начальной стадии афтершокового процесса выделяются две фазы развития: первая связана с процессами вокруг Чаган-Узунского приподнятого

блока, вторая – с линейной зоной вдоль югозападной границы Курайской и Чуйской впадин.

9. В первые сутки после главного толчка произошла мощнейшая серия афтершоков по периметру Чаган-Узунского блока. Отмечается разрушительное влияние процесса на северо-западное окончание Чуйской впадины. Подвижка на одном крае блока привела к разрядке созданных напряжений по всему периметру. Новое положение блока повысило напряжения в соседних структурах.

10. В последующие сутки афтершоковый процесс стал распространяться от Чаган-Узунского блока по разломам, идущим вдоль юго-западной границы Курайской и Чуйской впадин. Сформировалась линейная зона афтершоков. Сейсмический процесс по периметру Чаган-Узунского блока затих. Если Чуйская впадина оказалась лишь слегка вовлечена в афтершоковый процесс, то Курайская впадина испытала мощнейшую активизацию всей югозападной границы с Северо-Чуйским хребтом. На данной стадии происходило изменение структур, соседних с Чаган-Узунским блоком.

11. Линейная зона афтершоков обладает сложной поэлементно организованной структурой. Процесс разрушения охватывает краевые части Чуйской и Курайской впадин.

О Чуйском землетрясении 2003 г. имеется информация, несравнимо более полная, чем о любом другом крупном событии Алтая, но главным недостатком в его исследовании является незавершённость активизации до настоящего времени. Окончательные заключения об активизации, которая продолжается, и данные по которой обрабатываются, сделаны быть не могут.

Основные особенности сейсмического режима Алтае-Саянской горной области

Опираясь на проведённые исследования, можно дать следующую характеристику основных особенностей сейсмического режима Алтае-Саянской горной области:

- Сейсмичность Алтае-Саянской области формируется в основном под воздействием коллизионных процессов от столкновения Индии с Евразией. Лишь на восточном фланге появляются впадины (Белинская и Бусингольская), где коллизионная тектоника и рифтовые процессы сопоставимы по силе, а за ними выстраивается система впадин, где рифтовые механизмы формирования сейсмичности доминируют.
- Определяющее влияние на протекание сейсмического процесса оказывает блочная структура Алтае-Саянской горной области. Сочетание приподнятых горных массивов с впадинами создаёт ячеистую структуру, которая оказывает упорядоченное сопротивление коллизионному воздействию со стороны Джунгарской впадины, являющейся прочным элементом между Алтаем и Тянь-Шанем.
- В сейсмическом режиме региона следует выделить фоновую сейсмичность и сейсмические ак-

тивизации, как правило, связанные с крупными землетрясениями.

- Фоновая сейсмичность, на первый взгляд хаотичная, с течением времени упорядочивается в соответствии с блочной структурой Алтае-Саянского региона и концентрируется преимущественно в горном обрамлении впадин. Система впадин Алтае-Саянской области, являющихся более крупными, прочными блоками, чем блоки раздробленных горные хребтов, оказывает сопротивление коллизионным процессам, и фоновая сейсмичность приурочена к разрушающимся при этом горным обрамлениям, а так же к редким линейным разломам, секущим впадины. Наблюдается стабильность проявления тектонических процессов в фоновой сейсмичности во времени, а так же иерархия этих процессов по скорости проявления в сейсмичности. Геологические структуры с наиболее быстро протекающими тектоническими процессами проявляются в организации фоновой сейсмичности за год, основные черты которой повторяются из года в год. Разделение структур по скорости проявления фоновой сейсмичности проливает свет на напряжённое состояние блоков земной коры.
- Сейсмические активизации можно рассматривать как нестационарный режим той или иной геологической структуры. Мощные сейсмические активизации структур Алтае-Саянской области формирова-

лись вокруг крупнейших землетрясений, прежде всего, как афтершоковый процесс. Крупным землетрясениям сопутствуют достаточно индивидуальные по сценарию развития сейсмические активизации. По надёжным данным об эпицентрах, полученных в период существования региональной сети сейсмологических станций, все крупные землетрясения приурочены к зонам, стабильно проявляющим себя в сейсмичности за год. По имеющимся на сегодняшний день данным не во всех зонах, активных по землетрясениям малых энергий, происходили крупные события. Крупным активизациям предшествуют попытки упорядоченной активизации этих же структур, часто неоднократные, не увенчавшиеся крупными землетрясениями.

 По материалам изучения афтершокового процесса Чуйского землетрясения выявлены стадии развития и поэлементная структура афтершокового процесса, в значительной степени направленного на разрушение блоков Чуйской и Курайской впадин.

Работа выполнена при поддержке ОИГГМ СО РАН (проекты ВМТК №1734, №1739), Президиума СО РАН (интеграционный проект № 73), Российского фонда фундаментальных исследований (проект 05-05-64439) и президиума РАН (программа № 13).

Литература

- Баяр Г., Монкоо Д. Сейсмичность территории Монголии за 1991-1998 гг.//Сейсмологический мониторинг в Сибири и на Дальнем Востоке (100-летие сейсмической станции «Иркутск»). - Иркутск: «Арт-пресс», - 2002. - С. 43 – 50.
- 2. Вдовин В.В. Следы землетрясений в Беллино-Бусийнгольской впадине Восточной Тувы// Сейсмогеология восточной части Алтае-Саянской горной области.- Новосибирск: Наука, 1978. С. 6 27.
- 3. Гайский В. И., Жалковский Н. Д. Исследование повторяемости землетрясений Западной Тувы//Изв. АН СССР. Физика Земли. 1971. № 9. С. 16 27.
- Голенецкий С.И., Гилёва Н.А., Мельникова В.И. и др. Прибайкалье и Забайкалье//Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. - М.: ГС РАН, 2002. - С. 81 – 94.
- 5. Гольдин С.В. Дилатансия, переупаковка и землетрясения//Физика Земли. 2004. № 10. С. 37 54.
- Гольдин С.В., Селезнёв В.С., Еманов А.Φ. и др. Чуйское землетрясение и его афтершоки//Доклады академии наук, 2004.
 т. 395. № 4. С. 534 537.
- 7. Дельво Д., Тениссен К., Ван-дер-Мейер, Берзин Н.А. Динамика формирования и палеостресс при образовании Чуйско-Курайской депрессии Горного Алтая: тектонический и климатический контроль//Геология и геофизика.– Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 1995. - т. 36. № 10. - С. 31 – 51.
- 8. Добрецов Н.Л., Берзин Н.А., Буслов М.М., Ермиков В.Д. Общие проблемы эволюции Алтайского региона и взаимоотношения между строением фундамента и развитием неотектонической структуры//Геология и геофизика. -Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 1995. - т. 36. № 10. - С. 5 – 19.
- 9. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. 409 с.
- Жалковский Н.Д., Кучай О.А., Мучная В.И. Сейсмичность и некоторые характеристики напряжённого состояния земной коры Алтае-Саянской области//Геология и геофизика. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 1995.- Т.36. № 10. - С. 20 – 30.
- 11. Зятькова Л.К. Структурная геоморфология Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука, 1977. 215 с.
- Еманов А.А., Лескова Е.В. Структурные особенности афтершокового процесса Чуйского (Алтайского) землетрясения 2003 г.//Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2003г.//Материалы предварительного изучения. - М.: ИФЗ РАН, 2004. - С. 83 – 91.
- Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г. и др. Пространственно-временной анализ сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны//Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия/Материалы международной геофиз. конф., г. Новосибирск, 15-19 сент. 2003 г. - Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. - С.73 – 86.
- 14. Еманов А.Ф., Колесников Ю.Й., Еманов А.А. и др. Изучение землетрясений малых энергий на локальной сети Алтайского сейсмологического полигона//Напряжённо-деформированное состояние и сейсмичность литосферы/Труды Всерос. совещания, Иркутск, 26-29 авг. 2003 г.- Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2003. - С. 324 – 326.

- 15. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В. Пространственно-временные особенности сейсмичности Алтае-Саянской складчатой зоны/ Физическая мезомеханика, 2005. Том 8. № 1. С. 49 64.
- Кочетков В.М., Хилько С.Д., Зорин Ю.А. и др. Сейсмотектоника и сейсмичность Прихубсугулья. Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. - 183 с.
- 17. Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2004. 313 с.
- Нурмагамбетов А., Садыков А., Тимуш А.В. и др. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990г.//Землетрясения в СССР в 1990 году. - М: ОИФЗ РАН, 1996. - С. 54 – 60.
- 19. Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии). М.: Изд-во МГУ, 1996. 448 с.
- 20. Рогожин Е.А., Платонова С.Г. Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. М.: ОИФЗ РАН, 2002. 130 с.
- 21. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 96 с.
- Садовский М.А. Автомодельность геодинамических процессов//Избранные труды/Геофизика и физика взрыва. М.: Наука, 1999. - С. 171 – 177.
- Уфлянд А.К., Ильин А.В., Спиркин А.И. Впадины байкальского типа Северной Монголии//Бюлл. м. о-ва исп. Природы. Отд. геологии, 1969. - Т. 44. № 6. - С. 18 – 24.
- Чернов Г.А. К изучению сейсмогеологии и неотектоники Алтае-Саянской горной области//Сейсмогеология восточной части Алтае-Саянской горной области. - Новосибирск: Наука, 1978. - С. 6 – 27.
- 25. Филина А.Г., Землетрясения Алтая и Саян//Землетрясения в СССР в 1991 году. М: ОИФЗ РАН, 1997. -С. 38 39.
- 26. Филина А.Г. Алтай и Саяны//Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. М.: ГС РАН, 2002. С. 76 80.
- 27. Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. М. Наука, 1978. 238 с.
- 28. P. Molnar, P. Tapponier Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision//Science, 1975. V. 189. № 4201. P. 419 426.
- 29. P. Tapponier, P. Molnar Active faulting and Cenozoic tectonics on the Tien-Shan, Mongolia and Baikal region//J. Geophys. Res., 1979. V. 84. № 7. P. 3425 3459.

АЛТАЙ-САЯН ТАУ АТЫРАБЫНА ЖЕРГІЛІКТІ БЕЛДЕРІНІҢ СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫМЕН БАЙЛАНЫСЫНЫҢ КЕҢІСТІК-УАҚЫТТЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Филина А.Г., Лескова Е.В., Ярыгина М.А., Рудаков А.Д.

РҒА СБ ГҚ Алтай-Саян филиалы, Новосибирск, Ресей

Алтай-Саян тау атырабының сейсмикалылығы жергілікті белдерімен және активті жарылымдармен бірлестіріп талданылған. Тектоникалық ең активті құрылымдар сейсмикалылығына қатысты өздерін жыл ағымында көрсететіні табылған, олардың сейсмикалылығы жылдан жылға орнықты болып табылады. Аумақтың ең ірі жерсілкінулері, кіші энергия жерсілкінулеріне қатысты активті құрвлмдарының қатарына орайластырылған. Сейсмикалық режімінде ая сейсмикалық және активтігі көрсетілген. Ая сейсмикалығы, бірінші байқағанда, ретсіз болып көрінеді, уақыт ағымында Алтай-Саян тау атырабының блокты құрылымына сәйкес реттеледі және, негізінде, ойпаңдарының тау жиектерінде шоғырланады. Активтігі ең ірі жерсілкінулерімен тығыз байланыста және өзінің үлкен бөлшегінде афтершоқ процесстері ретінде өтеді.

SPATIAL-TEMPORAL CONNECTION PECULIARITIES OF SEISMICITY WITH AREA RELIEF FOR ALTAI-SAYAN MOUNTAIN REGION

A.F. Emanov, A.A. Emanov, A.G. Philina, E.V. Leskova, M.A. Yaryggina, A.D. Rudakov

Altai-Sayan Affiliate of Geological Survey SB RAS, Novosibirsk, Russia

Altai-Sayan mountain region seismicity was analyzed together with area relief and active faults. It was found out that most tectonic active structures showed seismicity for a year, their sismicity was stable from year to year. Largest earthquakes of this region are connected with a number of structures, which are active in relation with earthquakes of low energies. Background seismicity and activation are picked out in seismic mode. Background seismicity at first sight looks chaotic, but eventually it is normalized in accordance with block structure of Altai-Sayan mountain region and it basically concentrates in mountain framing of hollows. Activation is tightly related to largest earthquakes and for a major part it occurs as aftershock process.

УДК 550.348(574.3)

О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

¹⁾Михайлова Н.Н., ²⁾Полешко Н.Н.

¹⁾Институт геофизических исследований, Казахстан, Курчатов, Казахстан ²⁾Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция МОН РК, Алматы, Казахстан

Впервые систематизированы и обобщены сведения о механизмах очагов сильных землетрясений Восточного Казахстана за 90-е годы и более слабых землетрясений за последние годы, решения по которым получены с использованием данных новых станций НЯЦ РК. Определены направления осей главных действующих напряжений и наиболее вероятные плоскости подвижек. Рассмотрено пространственное положение очагов землетрясений, характеризующихся различными типами движений. Полученные новые данные имеют важное значение как для понимания геодинамических процессов, происходящих в Восточном Казахстане, так и для их соотнесения с общей ситуацией по сейсмотектонической деформации всего региона Центральной Азии.

В течение трёх последних десятилетий в Казахстане проводятся массовые определения механизмов очагов землетрясений [2 - 6]. При этом используется стандартная методика А.В.Введенской, базирующаяся на знаках первых движений в Р-волне для построения стереограммы механизма очага, определения ориентации трёх главных осей напряжений и положения двух равновероятных нодальных плоскостей [1].

В [2] впервые обобщены результаты массового определения механизмов очагов землетрясений Казахстана, произошедших с 1975 г. по 1987 г. В [3] дана характеристика сейсмотектонической деформации по результатам анализа механизмов очагов. Выполненные исследования относятся к ограниченной территории Северного Тянь-Шаня и частично Джунгарии, поскольку именно здесь происходит основная масса землетрясений и здесь сконцентрирована сеть сейсмических станций СОМЭ МОН РК.

С развитием системы наблюдений в других районах Казахстана, в частности, сети станций Национального ядерного центра РК на севере и востоке Республики, появилась возможность изучения сейсмичности и определения механизмов очагов в Центральном и Восточном Казахстане. В [4] впервые даны сведения о механизмах очагов землетрясений Центрального Казахстана, в [5] приведены новые сведения о сейсмическом режиме Восточного Казахстана по данным сейсмической группы PS23-Маканчи. Показано распределение очагов в пределах Восточного Казахстана на новом энергетическом уровне, определены параметры повторяемости событий, сделаны выводы о достаточно высоком уровне сейсмической опасности.

В настоящей статье представлены результаты определения механизмов очагов землетрясений Восточного Казахстана, произошедших за период 1990 – 2002 гг. Первыми событиями в этом районе, для которых были изучены механизмы очагов, стали два землетрясения в районе озера Зайсан с магнитудой $M_s = 6,6$ и $M_s = 6,1$. Именно потому, что землетрясения были очень сильными, удалось собрать данные о знаках первых вступлений по большому числу станций разных сетей наблюдений, располо-

женных в Казахстане, Кыргызстане, России, Китае. В определении механизмов первого и второго сильных зайсанских землетрясений участвовали данные 124 и 89 станций, соответственно.

Для более слабых землетрясений возможность определений механизмов появилась с открытием станций НЯЦ РК. Удалось снизить порог энергетического класса землетрясений, используемых для определения механизмов очагов, до К=9. На рисунке 1 дан обзор стереограмм решений механизмов очагов землетрясений и показано расположение станций, данные которых были использованы для их получения. Расчёты проведены с применением программы Масаки Накамура [7]. Механизмы очагов определены в общей сложности для 41 землетрясения с К ≥ 9. В таблице 1 приведены параметры механизмов только наиболее сильных землетрясений Восточного Казахстана - с К > 12, поскольку именно по механизмам сильных землетрясений можно наиболее достоверно судить о системе главных региональных напряжений.



1 – аналоговые сейсмические станции СОМЭ МОН РК; 2 – цифровые сейсмические станции СОМЭ МОН РК; 3 – сейсмические группы НЯЦ РК; 4 – сейсмические станции Кыргызстана, 5 – сейсмические станции СУАР КНР, 6 – станции системы КNET

Рисунок 1. Схема расположения сейсмических станций и очагов землетрясений, для которых определены механизмы

Nº	к	Р	Т	N	1 плоскость	2 плоскость	
		Azm⁰′ Pl⁰	Azm ^{0/} Pl ⁰	Azm ^{0/} Pl ⁰	Str/ Dip /Slip	Str/ Dip/ Slip	
3	16.8	159/1	69/10	252/80	25/83/7	294/84/174	
4	15,8	155/11	248/18	38/77	203/84/22	109/68/17	
5	13,5	154/49	258/12	0/36	17/68/–49	133/45/—147	
6	13,8	130/3	38/57	224/33	13/51/47	250/5/132	
13	12,9	4/6	100/55	270/34	64/60/50	304/49/138	
18	12,2	116/65	223/7	316/26	108/44/–124	334/34/-42	
21	12,6	202/4	297/61	119/29	267/55/53	141/49/130	
23	13,6	142/68	251/5	338/22	1/55/—64	140/43/–122	
27	12,2	120/83	232/4	320/7	134/41/–99	326/49/-81	
28	12,0	276/51	16816	67/35	231/69/–128	117/43/–33	
40	12,5	212/38	319/21	72/45	182/47/–165	82/79/-43	

Таблица 1. Параметры механизмов очагов землетрясений Восточного Казахстана с К>12

Примечание: номера в первом столбце соответствуют номерам землетрясений на рисунке 2; Р, Т, N - оси напряжений сжатия, растяжения, промежуточного; Azm⁰ Pl⁰ - азимут и угол с горизонталью, характеризующие ориентацию осей напряжений; Str, Dip – азимут и угол падения с горизонталью, характеризующие ориентацию двух нодальных плоскостей; Slip -угол скольжения, характеризующий вектор первого движения.



На рисунке 2 стереограммы механизмов очагов наложены на карту сейсмогенерирующих зон района [8].

1-6 сейсмопотенциал сейсмогенерирующих зон Тарбагатай-Алтайского района в значениях возможных магнитуд [8], 7 номер зоны

Рисунок 2. Стереограммы механизмов очагов землетрясений

Все наиболее сильные очаги связаны с Северо-Зайсанской, Южно-Саурской, Тарбогатайской и Калба-Чингизской сейсмогенирирующими зонами, в которых возможно возникновение землетрясений с М = 6 - 7. Сильнейшие Зайсанские землетрясения 14 июня и 3 августа 1990 г. произошли в Северо-Зайсанской сейсмогенерирующей зоне, которая протягивается по северному берегу озера Зайсан и связана с Западно – Калбинским глубинным разломом, имеющим северо-западное простирание. Для очагов этих землетрясений характерен сдвиг по обеим нодальным плоскостям, одна из которых имеет северовосточное, а другая - северо-западное простирание. Оси напряжений сжатия и растяжения близгоризонтальны с близмеридиональной ориентацией сжатия и близширотной - растяжения. С привлечением других независимых данных о макросейсмическом поле и пространственном распределении очагов афтершоков было выдвинуто предположение, что разрыв произошел по плоскости северо-западного простирания и имел характер правостороннего сдвига. В этой же зоне находится эпицентр афтершока, произошедшего 27 сентября 1990 г. (№ 5, таблицы 1). Его механизм определен по данным 30 станций. Одна из плоскостей имеет северо-западное простирание и падение на юго-запад под углом 45°, тип подвижки по этой плоскости - сдвиго-сброс. По более крутой близмеридиональной плоскости произошел сброс с небольшой сдвиговой компонентой.

Установлено, что подавляющее большинство землетрясений, очаги которых расположены между Северо-Зайсанской, Северо-Саурской, Тарбогатайской и Калба-Чингизкой сейсмогенерирующими зонами, имеют одну из плоскостей северо-западного простирания, по которой произошел либо сдвиг, либо сдвиг с небольшой сбросовой компонентой. По второй, крутой плоскости, подвижка - сбросо-сдвиг с преобладанием вертикальной компоненты. Лишь в нескольких очагах, в том числе у землетрясения с К = 13,6 (№ 23 таблицы 1), по обеим плоскостям тип подвижки - сброс с небольшой сдвиговой компонентой. В очагах землетрясений 2002 г. (№ 40 и № 41 таблицы 1) вместо плоскости, ориентированной на северо-запад, появляется близмередиональная плоскость с подвижкой сдвиго-сбросового типа. Такие же типы механизмов очагов наблюдаются и у землетрясений Восточно-Джунгарской сейсмогенерирующей зоны, хотя здесь отмечены толчки только средней силы с К = 9-10.

Совершенно другой тип механизма наблюдается в очаге землетрясения, произошедшего 19 августа 1991 г. с К = 13,8 (№ 6 таблицы 1). Эпицентр очага приурочен к южной границе Южно-Саурской зоны. Плоскости разрыва ориентированы на северовосток, вкрест простирания основных разломов. Подвижка по обеим плоскостям определена как взброс, сдвиговая составляющая очень незначительна. Взбросовая подвижка наблюдается также и в очаге землетрясения с К = 12,6 (№ 21 таблицы 1), эпицентр которого расположен севернее озера Зайсан. Одна из плоскостей простирается на северозапад, другая - близширотная и согласуется с простиранием зоны, к которой приурочен эпицентр. Взбросовый тип подвижек характерен и для ряда других слабых землетрясений Восточного Казахстана: их эпицентры заключены между Восточно-Джунгарской на юго-западе и Северо-Саурской и Тарбагатайской зонами на северо-востоке. Одна из плоскостей для этих очагов ориентирована на северо-запад, и подвижка по этой плоскости - сдвиговая. Другая плоскость – крутопадающая, по которой произошла вертикальная подвижка.

На рисунке 3 представлено распределение изучаемых очагов Восточного Казахстана по типам подвижек. Для дислокаций в очагах характерно преобладание сдвиговой подвижки со слабой сбросовой или взбросовой компонентой - сдвиго-взбросы и сдвиго-сбросы.



Рисунок 3. Гистограмма основных типов механизмов землетрясений Восточного Казахстана

В большинстве очагов присутствует плоскость северо-западного простирания, в том числе и у сильнейших очагов Зайсанских землетрясений 1990 г. Поскольку в большинстве очагов ориентировка одной нодальной плоскости и характер дислокации по ней совпадают с параметрами, определёнными для землетрясения 1990 г., можно предположить, что именно плоскость этого направления является наиболее вероятной из двух равновозможных для большинства очагов Восточного Казахстана, т.е. разрывы в очагах происходят по плоскостям северо-западного простирания и характеризуются сдвиго-сбросами.

Для изучения закономерностей распределения очагов с разными типами подвижек в пространстве проведена их градация по трем основным группам взбросы, сбросы и сдвиги. Ко взбросам отнесены все очаги, где присутствует взбросовая компонента по одной из плоскостей (взбросо-сдвиг, сдвиго-взброс, взброс). Аналогично отнесение очагов к сбросам. К сдвигам отнесены очаги, у которых отмечен чистый сдвиг по обеим компонентам. Распределение землетрясений разных типов подвижек по площади показано на рисунке 4, из которого виден его неслучайный характер. Выделяются две зоны преобладания очагов сбросового типа, обрамлённые «взбросовыми» очагами. Одна зона, назовём её Зайсанской, находится северо-восточней Южно-Саурской (11), Тарбогатайской (12) и Калба – Чингизкой (8) зон. Вторая – юго-западнее Восточно – Джунгарской зоны. Между ними располагается зона взбросов, представленная землетрясениями в основном средней силы с K = 9 -10. Наиболее сильные землетрясения взбросового типа с K = 13,8; 12,9; 12,6 произошли на границе зон с разными типами движений.



 6 сейсмопотенциал сейсмогенерирующих зон Тарбагатай-Алайского района в значениях возможных магнитуд [8], 7 – номер сейсмогенерирующей зоны

Рисунок 4. Эпицентры землетрясений с разными типами механизмов очагов

Наличие зон с разными типами подвижек свидетельствует о том, что в них действуют разные системы напряжений. На границах таких зон наиболее вероятно возникновение сильных землетрясений. Принимая во внимание сейсмопотенциал сейсмогенерирующих зон, их магнитуда может достигать $M_s = 6.0 - 7.5$.

На рисунке 5 показаны направления осей напряжения сжатия Тарбогатай – Алтайского района, полученные в результате расчёта тензора сейсмотектонической деформации по ячейкам $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$. Чётко видна неоднородность в направлении осей. Обычно направление осей напряжений сжатия очень устойчиво и отражает региональное поле действующих напряжений. В этом районе видно, что существует локальная область, не согласующаяся с региональным полем напряжений. Возможно, что причиной этого нарушения явились процессы подготовки сильнейшего Алтайского землетрясения 27 сентября 2003 г. с $M_s = 7,3$., произошедшего вблизи этой области. Интересно будет представлять исследование здесь поля напряжений спустя несколько лет.


Рисунок 5. Направление осей напряжений сжатия Тарбагатай-Алтайского района

После получения достаточно полной информации о действующих напряжениях в районе Восточного Казахстана появилась возможность рассмотреть полную картину распределения региональных напряжений на всей территории Казахстана. На рисунке 6 приведена карта направления осей напряжений сжатия. Для Северного Тянь-Шаня, Джунгарии и Восточного Казахстана представлены направления оси Р тензора сейсмотектонической деформации, рассчитанные по ячейкам размером 2°×2°. Это было возможно, поскольку имелось достаточное количество событий для проведения подобных расчётов. Для Центрального Казахстана показаны непосредственные данные по имеющимся механизмам очагов [4].

Как можно видеть из рисунка 6, в Восточном Казахстане направление осей напряжения сжатия характеризуется северо-западным направлением. Угол отклонения от меридиана составляет порядка 40°. В Центральном Казахстане оси напряжения сжатия отклонёны от меридиана к востоку. Таким образом, с переходом от Северного Тянь-Шаня к более северным районам происходит изменение картины действующих региональных тектонических напряжений, что находит отражение в отклонении осей от близмеридионального направления к западу в Восточном Казахстане и востоку в Центральном Казахстане. На фоне регионального поля существуют локальные области, где наблюдаются развороты осей вплоть до близширотного направления. В этих областях характерно преобладание растягивающих напряжений над сжимающими, что определяет другую ориентировку плоскостей подвижек и типы движений в очагах.



Рисунок 6. Карта направлений осей напряжения сжатия для территории Казахстана

Представленные результаты о механизмах очагов в Восточной части Казахстана и выводы в отношении поля сейсмотектонической деформации будут уточняться и дополняться по мере получения новых экспериментальных данных по сейсмическим событиям в этом районе.

Литература

- 1. Введенская А.В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. М. 1969. С. 47 66.
- Михайлова Н.Н., Власова А.А. и др. Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий (в 2^x томах). Алма-Ата: Наука. 1990.
- 3. Михайлова Н.Н., Власова А.А. Поле сейсмотектонической деформации и параметры разрыво-образования на Северном Тянь-Шане//Изв. АН Каз ССР, серия геологическая. 1991. № 4. С. 87 92.
- Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Центрального Казахстана// Вестник/НЯЦ РК. Курчатов: НЯЦ РК, 2003. - Вып. 2. - С. 100 – 105.
- 5. Михайлова Н.Н., Вольф Н.А., Синёва З.И. Сейсмичность районов, окружающих новые сейсмические группы Маканчи и Каратау//Вестник НЯЦ РК. Курчатов: НЯЦ РК, 2003. Вып. 2. С. 94 99.
- Нурмагамбетов А., Сыдыков А., Тимуш А.В., Михайлова Н.Н. и др. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г.//Землетрясения в СССР в 1990г.- М.: ОИФЗРАН, 1996. - С. 54 – 60.
- 7. Masaki Nakamura Determination of focal mechanism sulution using initial motion polarity of P and S waves// Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2002. # 130. Pp. 17 29.
- Курскеев А.К., Тимуш А.В., Шацилов В.И., Сыдыков А. и др. Сейсмическое районирование Республики Казахстан. -Алматы. - 2000. - 220 с.

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЖЕРСІЛКІНУЛЕР ОШАҚТАРЫНЫҢ МЕХАНИЗМДЕРІ ТУРАЛЫ

¹⁾Михайлова Н.Н., ²⁾Полешко Н.Н.

¹⁾ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан ²⁾ҚР БҒМ Тәжрибелі-әдістемелік сейсмологиялық экспедициясы, Алматы, Қазақстан

Алғашқы рет Шығыс Қазақстандағы жерсілкінулер ошақтарының механизмдері туралы мағлұматтар топтастырылған. Әрекеттегі бас кернеулері біліктерінің бағыттары және жылжыуының ең ықтимал жазықтары анықталған. Қозғалыстарының әр түрлеріндегі жерсілкінулер ошақтарының кеңістік жайы қаралған. Алынған жаңа деректер Шығыс Қазақстанда өтіп жатқан геодинамикалық процесстерін ұғыну үшін де, және оларды Орта Азияның барлық аймағындағы сейсмотектоникалық деформация бойынша жалпы жағдайымен қатынасын белгілеу үшін маңызды болып келеді.

EARTHQUAKE SOURCES MECHANISMS OF EASTERN KAZAKHSTAN

¹⁾N.N. Mikhailova, ²⁾N.N. Poleshko

¹⁾Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan ²⁾Seismologic scientific-methodical expedition MES RK, Almaty, Kazakhstan

For the first time data on mechanisms of strong earthquakes sources in Eastern Kazakhstan in 90's and weaker ones for the last years were arranged. Interpretation results were obtained by means of obtained data from NNC RK stations. Main active tensions axis directions and mostly probable plane sharing were determined. Spatial location of earthquake sources with different types of motions was reviewed. New data were obtained that had important value as for understanding of geodynamic process in Eastern Kazakhstan and as for their correlation with general situation on seismotectonic deformation of the whole Central Asia region.

УДК 550.34 + 546.292

ПОДЪЕМ МАНТИЙНЫХ ФЛЮИДОВ В РАЙОНАХ ОЧАГОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И КРУПНЫХ РАЗЛОМНЫХ ЗОН: ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА

¹⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Соколова И.Н.

¹⁾Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия ²⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Анализируются литературные данные о вариациях отношения содержания изотопов гелия (параметр $R = {}^{3}He/{}^{4}He$) в подземных флюидах вблизи очаговых зон сильных землетрясений, а также в окрестностях некоторых крупных разломных зон (районы Тянь-Шаня, Монголии, Калифорнии, Центрального Хонсю и Центральных Апеннин). Показано, что во многих случаях наблюдается закономерное уменьшение величины параметра R по мере удаления от эпицентров сильных землетрясений и зон крупных региональных разломов. Выявленная закономерность трактуется как свидетельство подъема мантийных флюидов в верхнюю часть землетрясений, а также в некоторых зонах, характеризующихся сверхвысокой проницаемостью, и дальнейшего расплывания их в горизонтальном направлении.

Введение

В [9-13] получены данные о пространственновременных вариациях поля поглощения поперечных волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня, свидетельствующие о подъеме мантийных флюидов в земную кору. Вывод о подъеме флюидов из верхней мантии в очаговую зону землетрясения 1995 г. в Антофагасте (Чили, М=8.0) сделан также на основании анализа вариаций скоростей Р- и S- волн [29]. Это согласуется с данными метода магнитотеллурического зондирования, по которым в некоторых очаговых зонах выделены узкие каналы очень низкого сопротивления, рассекающие литосферу и проникающие на глубины ~ 100 км [2].

В настоящей работе, продолжающей эти исследования, проводится дополнительная проверка существования выявленного эффекта путем анализа геохимических данных, опубликованных разными авторами, а именно, изотопного состава гелия в подземных флюидах вблизи от очагов сильных землетрясений в различных районах земного шара и, в первую очередь, в районе Центральной Азии. Для сравнения рассматриваются аномалии геохимического параметра вблизи некоторых крупных разломных зон, в том числе Таласо-Ферганского разлома в районе Тянь-Шаня и разлома Сан-Андреас в Калифорнии.

Суть метода

Как известно [16,18,27,30,31,34,], отношение содержания изотопов гелия $R = {}^{3}He/{}^{4}He$ в свободно циркулирующих подземных флюидах варьируется в пределах примерно 3-х порядков (от 10⁻⁸ до 10⁻⁵). При этом минимальные значения R соответствуют древней земной коре. В то же время в газах многих активных вулканов, термоминеральных источников и других объектов, происхождение которых связывается с дифференциацией и дегазацией мантии, обнаружены гораздо более высокие значения этого параметра, явно свидетельствующие о сохранении в мантии первичного гелия. В связи с этим изотопный состав гелия является исключительно чувствительным индикатором проникновения мантийных флюидов в верхнюю часть земной коры [18]. Выявлена зависимость средних величин R от времени, прошедшего от последнего тектономагматического события в регионе, хотя даже в пределах одной и той же тектонической провинции разброс данных достигает почти трех порядков (как, например, для Байкальской рифтовой зоны [21]).

Использованные данные

Анализировались первичные данные об изотопном составе гелия, опубликованные в [19-21,30,31,34] и относящиеся, в первую очередь, к районам Тянь-Шаня и Монголии, а также к некоторым районам Калифорнии, Италии и Японии. Для единообразия все величины параметра R нормировались к атмосферной величине: R' = R/Rat, где Rat = 1.4×10^{-6} . Как правило, полученные данные исправлялись за контаминацию глубинных газов атмосферным воздухом [18]. В большинстве случаев рассматривались пространственные вариации параметра R'. Для двух районов (Нагано, Япония и Умбриа-Марче, Италия) изучались временные вариации R' в связи с сильными землетрясениями.

Анализ данных

Анализ данных проведен для районов Тянь-Шаня, Монголии, Калифорнии, Японии (район Нагано), Италии (район Умбриа-Марче).

Тянь-Шань

На рисунке 1 показаны пункты опробования подземных флюидов и локальные величины параметра R' в районе Центрального Тянь-Шаня. Данные получены в основном в 1982 - 1988 гг. Величины R' варьируются в диапазоне 2.5 порядков. Видно, что в юго-западной и северо-восточной частях рассматриваемой территории выделяются две аномальные области - высоких и сверхвысоких значений R'. Существенно, что столь большие величины R', которые зарегистрированы в двух источниках на Южном Тянь-Шане (4.5-4.6, R= (630-650)×10⁻⁸), ранее встречались только в областях современного вулканизма [20]. Важно заметить, что максимальные величины R' получены в водах источников, расположенных поблизости от зон двух крупнейших глубинных разломов – Памиро-Гималайского (ПГ) и Таласо-Ферганского (ТФ).



Величина R* в пунктах опробования флюидов: 1 – 1.5 – 5.0; 2 – 0.1 – 0.5; 3 – 0.015 - 0.060. Эпицентры землетрясений: 4 - M≥8.0; 5 - 8.0 > М≥7.0. 6 - разломные зоны: СТ – Северо-Тяньшаньская, 3 – Заилийская, ТФ – Таласо-Ферганская, ПГ – Памиро-Гимлайская

Рисунок 1. Район исследований на Тянь-Шане (по [19, 20] с авторскими дополнениями и изменениями)

На рисунке 1 представлены также эпицентры очагов сильных землетрясений (М≥7.0), произошедших с 1885 по 1988 гг. Подавляющее большинство сильных землетрясений Тянь-Шаня, находящегося в условиях субмеридионального сжатия, имеет взбросовый тип механизма [36]. Обращает на себя внимание то, что повышенные и очень высокие величины R' на Северном и Южном Тянь-Шане наблюдаются вблизи очаговых зон трех сильнейших землетрясений с М>8.0, произошедших на рубеже 19-20 веков (Чиликского, 1889; Кашгарского, 1902; Кеминского, 1911). На Южном Тянь-Шане в 1955-1988 гг. произошло девять землетрясений с М≥6.6, в том числе три с М≥7.0 (Улугчатское, 1955; Маркансуйское, 1974; Кашгарское, 1985). За этот же период на Северном Тянь-Шане зарегистрировано только два землетрясения с М>6.6 (Сарыкамышское, 1970 и Жаланаш-Тюпское, 1978).

Максимальные величины R' наблюдались в 1988 г. в водах источника Кара-Киндик, расположенного на расстоянии ~ 40 км от эпицентра Маркансуйского землетрясения 1974 г., в ~90 км от эпицентра Улугчатского землетрясения 1955 г. и на расстоянии 120-130 км от северного участка постоянно активной памирской зоны глубокофокусной сейсмичности. На рисунке 2а представлена зависимость параметра R' от расстояния до Таласо-Ферганского разлома (ТФ на рисунке 1).



Рисунок 2. Зависимость величины параметра R'' от расстояния

Из рисунка 2a следует, что в диапазоне расстояний 0-160 км величина R' с удалением от разлома закономерно падает как в юго-западном, так и в северо-восточном направлениях. Единственное исключение – данные источника Кара-Киндик, расположенного от разлома на удалении ~140 км. Отмечается также очень быстрое падение величин R' в районе Ферганской впадины (к юго-западу от разлома, значения менее 0.1).

Рисунок 2б иллюстрирует зависимость параметра R', определенного для пунктов замеров в предгорьях хребта Заилийский Алатау и в Илийской впадине, от расстояния до эпицентра Жаланаш-Тюпского землетрясения 1978 г., произошедшего в районе Северного Тянь-Шаня. В диапазоне расстояний от 50 до 140 км наблюдается убывание доли мантийного гелия. При этом даже на наибольшем удалении от очага величины R' остаются выше интервала значений параметра, типичных для палеозойской коры в области неотектонической активизации Центральной Азии (верхняя граница этого интервала ~0.11 [18]). Однако, в отличие от хребта Заилийский Алатау, величины R' резко падают на сравнительно небольших расстояниях от эпицентра Жаланаш-Тюпского землетрясения в районе Иссык-Кульской впадины. Зависимость параметра R' от расстояния до крупного регионального Заилийского разлома (З) не отмечена (рисунок 1). Для очагов сильных землетрясений, произошедших задолго до времени измерения параметра R', не наблюдается сколько-нибудь значительного повышения доли ³Не на сравнительно небольших удалениях от них. Так, достаточно низкие величины R' получены для водных источников вблизи от очаговых зон Беловодского землетрясения 1885 г. (М=6.9), а также Кемино-Чуйского землетрясения 1938 г. (М=6.9) в районе Северного Тянь-Шаня.

Монголия

На рисунке 3 приведена карта района Монголии, на которой показаны пункты опробования флюидов, крупные разломные зоны и эпицентры четырех сильнейших землетрясений (М>=7.6) за последние 100 лет.



Величины R'в пунктах опробования флюидов:] – 0.18 – 0.30; 2 – 0.09 – 0.15; 3 – 0.03 – 0.09. Эпицентры землетрясений 4 - М≥8.0; 5 - 8.0 > М≥7.0. 6 - разломные зоны: Б – Болнайская, Д – Долиноозерская

Рисунок 3. Район исследований в Монголии (по [21] с авторскими дополнениями и изменениям)

Три очага землетрясений приурочены к крупнейшим сдвиговым зонам: Цэцерлегское 1905 г. (M=7.6) и Болнайское 1905 г. (M=8.2) - к Болнайской зоне, Гоби-Алтайское 1957 г. (М=8.1) - к Долиноозерской зоне. Все эти землетрясения имели механизм типа взбрососдвига [25]. Очаг Могодского землетрясения 1967 г. (M=7.8) не связан с известным крупным разломом. По данным о знаках первых вступлений, его механизм представляет почти чистый сдвиг. Южный фланг Байкальской рифтовой зоны, где зарегистрированы очень высокие величины параметра R (до 10⁻⁵), связанные с молодым вулканизмом, а также с высокой проницаемостью земной коры для мантийных флюидов [21], не анализировался. Анализ проведен для района Хангайского сводового поднятия, сложенного позднепалеозойской корой [6].

В [21] отмечено, что для нескольких источников в районе Хангая получены существенно повышенные

величины R' (~0.2-0.3) по сравнению со значениями, обычными для палеозойской коры. На рисунке 4а показана зависимость R' от расстояния (ось абсцисс) до эпицентра Могодского землетрясения (Δ, км).



Рисунок 4. Зависимость величин R' от расстояния

Наблюдается постепенное убывание величины R' в интервале 20-210 км. Максимальные значения R' зафиксированы в 1983 и 1990 гг., т.е. через 16 лет и 23 года после этого события, на расстояниях от эпицентра ~ 20 и 65 км, соответственно.

Для нескольких источников проводились измерения величины R в разные годы. Для трех из них (Чулуту, 1982 и 1990 гг.; Ходжулин и Халун-Ус, 1978 и 1982 гг.) содержание мантийного гелия не изменилось, а для двух других (Худжиртэ и Шиберту, 1982 и 1990 гг.) заметно (на 13-15%) уменьшилось в 1990 г.

Во время Гоби-Алтайского землетрясения 1957 г., одного из сильнейших на континенте за последние 100 лет, разломы вскрылись на протяжении ~300 км [25]. С учетом этого зависимость величин R' анализировалась не от эпицентрального расстояния, а от расстояния до Долиноозерского разлома, с которым связан очаг этого события. Из рисунка 46 следует, что в диапазоне расстояний до разлома 130-210 км величина R' заметно падает с увеличением Δ . Вместе с тем, для трех пунктов на расстояниях до 200 км от разлома величина R' существенно выше, чем значения, типичные для палеозойской коры. Наибольшее содержание мантийного гелия зарегистрировано в 1983 и 1990 гг., т.е. через 26 лет и 33 года после землетрясения.

На рисунке 4в показана зависимость отношения изотопов гелия от расстояния до Болнайского разлома, с которым связаны Цэцерлегское и Болнайское землетрясения 1905 г. Видно, что довольно высокое значение R' зарегистрировано только в источнике Тошинт, расположенном непосредственно в зоне разлома. Для трех других источников на расстояниях 80 - 150 км от разлома через 70-80 лет после землетрясений получены значения R, нормальные для палеозойской коры.

Калифорния

В [31] приведены данные об изотопном составе гелия в районе разлома Сан-Андреас – крупнейшего на земном шаре сдвига. Зона этого разлома в первом приближении делится на три главные части: северную и южную, где происходили сильнейшие землетрясения с М>8.0 (в 1906 и 1857 гг., соответственно), и центральную, где наблюдается постоянный крип с максимальной скоростью ~ 30 мм/год, но в то же время отсутствуют землетрясения с М≥6.0 [35].

На рисунке 5 показано расположение источников, для которых анализировался изотопный состав гелия.

Величины R' в данном районе варьируются от 0.1 до 4.0. Из рисунка 5 следует, что наибольшие величины R' наблюдаются в центральной части разлома Сан-Андреас (СА), при одновременно достаточно большом разбросе данных (R'max/R'min ~ 40). Наибольшие величины R' зарегистрированы в водах источника Мерси Хот Спрингс, в районе разлома Тесла-Ортигалита (ТО), на расстоянии ~ 35 км к востоку от зоны разлома Сан-Андреас. В южной части разлома Сан-Андреас величины R' в целом существенно ниже (максимум ~1.2). Корреляция между величинами R' и расстоянием до областей кайнозойского вулканизма (возрастом от 8 до 30 млн. лет [31]) не установлена.

К западу от разлома Сан-Андреас наблюдается постепенное убывание величины R' с расстоянием до него (рисунок 5). Этот тренд связан, в первую очередь, с источниками, расположенными в зоне разлома Санта-Инес. Существенно, что вблизи разлома произошли два сильных землетрясения – Сан-Фернандо (М=6.7, 1971 г.) и Нортридж (М=6.7, 1994 г.). Из рисунка 9 следует, что величины R' закономерно убывают с удалением от эпицентра землетрясения Сан-Фернандо в диапазоне расстояний ~25-175 км.



Величина R' в пунктах опробования флюидов: 1 – 1.0–4.0; 2 - 0.5– 1.0; 3 – 0.1–0.5. Разломные зоны: 5 - Сан-Андреас (СА), Тесла-Ортигалита (ТО), Санта-Инес (СИ); 6 – центральная часть разлома Сан-Андреас, характеризующаяся криповыми движениями.







Япония (район Нагано)

Рассматриваемый район (рисунок 10) находится в центральной части острова Хонсю. Здесь расположен действующий вулкан Онтакэ, который извергался последний раз в 1979 г. 14 сентября 1984 г. в префектуре Нагано произошло сильное землетрясение (М=6.8), эпицентр которого находился на расстоянии ~10 км к юго-востоку от вулкана. Очаг землетрясения был близко к поверхности (глубина гипоцентра – около 2 км). Землетрясение имело механизм сдвигового типа [34].



 пункты опробования флюидов; 2, 3 –эпицентр и очаговая зона землетрясения 1984 г., соответственно; 4 – предполагаемая разломная зона, с которой связан очаг землетрясения; 5 – вулкан Онтакэ

Рисунок 7. Район исследований в Центральной Японии (по [34])

Замеры изотопного состава гелия проведены до и после землетрясения на ряде пунктов, удаленных до 23 км от предполагаемой линии разлома, с которым связывается очаг землетрясения (рисунок 7). Замеры, проведенные в сентябре 1981 г., через 2 года после извержения вулкана Онтакэ, показали закономерное уменьшение величин R' по мере удаления от конуса вулкана. На расстояниях до 25 км от вулкана коэффициент корреляции величин R' и Δ составил 0.87 [34]). На рисунке 8 представлен график изменения величин R' в зависимости от расстояния до линии предполагаемого разлома в разные периоды времени по сравнению с 1981 г. Рассматривался параметр Δ R', определявшийся по формуле: Δ R'= [(R'-R'₁₉₈₁)/ R'₁₉₈₁]х100%, где R'₁₉₈₁ – данные, полученные в 1981 г.



Рисунок 8. Пространственно-временные вариации параметра R' в районе Нагано (по [34])

Из рисунка 8 следует, что в сентябре 1984 г наблюдается постепенное убывание величин $\Delta R'$ с расстоянием до разлома, что связывается с изменением содержания мантийного гелия после извержения вулкана Онтакэ [34]. Видно, что только на одном пункте (KIS), ближайшем к разлому, максимальная величина R' наблюдалась в сентябре 1984 г., т.е. сразу после землетрясения (Δ R'~13%). На трех из четырех более далеких пунктах максимум R' соответствует замерам, проведенным в октябре 1984 г. На двух самых далеких пунктах величины R' увеличились в октябре и еще сильнее – в апреле 1985 г. (на пункте АКG по сравнению с сентябрем 1984 г. величина Δ R' составила 9 и 14 %, соответственно).

Италия (район Умбриа-Марче)

Рассматриваемый район находится в центральной части Апеннинского полуострова (рисунок 9). В 1997-1998 гг. (в основном в сентябре-октябре 1997 г.) здесь произошел рой землетрясений, из которых два сильнейших (26 сентября 1997 г.) имели магнитуду Mw 5.7 и 6.0, остальные события – магнитуды от 4.0 до 5.5 [30]). Очаги землетрясений приурочены к разломам сбросового типа и к глубинам 5-10 км. Механизмы землетрясений представляют сбросы с осями растяжения, ориентированными в направлениях NE-SW и E-W.



Рисунок 9. Район исследований в Центральной Италии

В трех пунктах на расстояниях ~ 50-60 км от эпицентра сильнейшего землетрясения произведены замеры изотопного состава гелия с сентября 1997 по декабрь 1999 гг. (рисунок 9). На рисунке 10 показаны временные вариации величин R' за этот период, а на верхнем рисунке - магнитуды землетрясений роя (M≥4.0).



средние значения (по месяцам) и стандартные отклонения; 2,
среднее значение и интервал ±2σ за сентябрь 1998 – декабрь 1999 гг., соответственно

Рисунок 10. Вариации параметра R' во времени на разных пунктах (по [30] с авторскими изменениями)

Видно, что на всех пунктах максимальные величины R' наблюдались в 1998 г. с существенным запаздыванием относительно времени самых сильных событий: в Вибио (МV) – в феврале, в Сан-Фаустино (SF) – в сентябре, в Умбертиде (UB) – в августе. С сентября 1997 г. по июль 1998 г. зарегистрировано также значительное увеличение суммарного выхода газов (в частности, в пункте MV в два раза по сравнению с 1999 г.). Отсюда следует, что повышенные величины R' с сентября 1997 г. по июль 1998 г. указывают на существенное увеличение абсолютного вклада мантийной компоненты гелия.

Максимальное изменение величин R' по сравнению со средними значениями, показанными пунктиром на рисунке 10, составляет ~28, 32 и 54 % в пунктах MV, SF и UB, соответственно. Наибольшие вариации величины параметра наблюдались в пункте UB, где средние величины R' в 5-9 раз ниже, чем в двух других пунктах. В пунктах SF и UB повышение величин R' носит импульсивный характер. В пункте MV нарастание величин R' имеет более размытый вид, однако, начиная с августа 1998 г., наблюдается их резкое падение, как и на других пунктах.

Обсуждение

Имеющиеся данные убедительно свидетельствуют о присутствии мантийного гелия в близких окрестностях очаговых зон сильных землетрясений. После Рачинского землетрясения 1991 г. (М=6.9) в районе Большого Кавказа в термоминеральных водах эпицентральной области выделена также мантийная компонента углерода [17]. Эти геохимические данные согласуются с выводами, сделанными в [9-11,29] по результатам анализа сейсмической информации, о важной роли мантийных флюидов в геодинамических процессах, связанных с сильными коровыми землетрясениями.

Другой существенный результат проведенного анализа состоит в том, что во многих случаях отмечено закономерное уменьшение величин R' с расстоянием от крупных разломных зон и очагов сильных землетрясений с разными типами подвижек, произошедших за сравнительно небольшие отрезки времени до моментов измерения изотопного состава гелия. Трудно ожидать, что такие эффекты могут быть обусловлены одновременным подъемом мантийных флюидов в больших областях радиусом до ~200 км из-за чрезвычайно низкой проницаемости (в целом) средней коры [3,7]. Гораздо естественнее предположить, что в коре существуют локальные зоны резко повышенной проницаемости, связанные с недавними сильными землетрясениями [32,33] или с крупными разломными зонами (своеобразные «зияющие дыры»). В этой связи заметим, что очаги сильных землетрясений, как правило, приурочены к пересечениям больших разломных зон [22], характеризующимся достаточно высокой проницаемостью пород [28]. Такие участки сверхвысокой проницаемости, связанные с зонами пересечения небольших разломов, обнаружены даже в слабосейсмичных районах [14]. Кроме того, непосредственно при землетрясении и в результате афтершоковой деятельности в очаговых зонах и их близких окрестностях проницаемость возрастает, по крайней мере, на порядок [33]. В таких областях мантийные флюиды могут поступать под сверхгидростатическим давлением в верхнюю часть коры, что подтверждается, в частности, данными о временных вариациях скоростей поперечных волн в очаговой зоне землетрясения 1995 г. в Северном Чили (М=8.0) [32]. Далее флюиды распространяются по трещинам в горизонтальном направлении, постепенно смешиваясь с приповерхностными водами. При этом происходит разбавление мантийного гелия радиогенным, продуцируемым в земной коре. Такой механизм предложен, в частности, для интерпретации эффекта постепенного уменьшения величин параметра R с расстоянием от вулкана Онтакэ через 2 года после извержения [34].

Из рисунков 1, 2 следует, что величины R' падают с расстоянием особенно быстро в районах Ферганской и Иссык-Кульской впадин, для которых

характерна большая мощность осадочных отложений [15]. Низкие величины R' (~0.01-0.02) зарегистрированы в районе Таримского массива, на окраинах которого мощность молодых осадочных пород во многих случаях превышает 10 км [38]. В гидротермальных водах таких районов наблюдается очень высокое содержание радиогенного гелия [20].

О расплывании флюидов от очаговых зон свидетельствуют данные о пространственно-временных вариациях поглощения волн Lg [12], а также данные о макросейсмических эффектах сильных землетрясений в районе Тянь-Шаня [13].

С использованием собранных сведений проведена оценка скорости горизонтальной миграции флюидов V_f в районах Центрального Хонсю и Центральных Апеннин (таблица). Было принято, что начало расплывания флюидов от очаговой зоны соответствует моменту сильного землетрясения. Для района Нагано выбраны пункты, в которых вариации величин R' в 4-10 раз превышают точность их определения.

Район	Источник	Δ, км	ΔТ, лет	V _f , км/год	V _f , мм/с
Хонсю (Нагано)	ККН	10 [×]	~0.1	~100	~3
	AKG	24 ^x	0.6	40	1.3
Апеннины	UB	50 ^{xx}	0.9	55	1.8
(Умбриа-Марче)	SF	52 ^{xx}	0.8	65	2.1

Таблица. Оценки величин скорости горизонтальной миграции флюидов V_f

^х Расстояние от эпицентра землетрясения 1984 г. ^{хх} Расстояние от эпицентра сильнейшего землетрясения роя.

Из таблицы следует, что величины V_f варьируются в диапазоне ~1-3 мм/с. Для сравнения отметим, что в [11] приведена скорость подъема флюидов из верхней мантии в очаговых зонах Тянь-Шаня: ~0.2-0.4 мм/с. По данным, приведенным в [24], базальтовые магмы на глубинах 2-5 км во время извержений в рифтовой зоне Исландии текут по трещинам в горизонтальном направлении со скоростью на 2-2.5 порядка больше (~40-50 см/с), распространяясь на расстояния до 65 км.

Рассмотрим особенности крупных разломных зон, в окрестностях которых зарегистрированы субмантийные величины параметра R. Следует отметить, что всем им соответствуют высокие скорости смещения. Так, по геологическим данным, в юговосточной части Таласо-Ферганского разлома и в зоне Памиро-Гималайского разлома, где зафиксированы самые большие величины R в районе Тянь-Шаня, наблюдается максимальный контраст амплитуд вертикальных движений в голоцене: $\Delta h \sim 100$ м [15]. Отсюда следует, что средняя скорость смещения крыльев разломов за 10 000 лет составляет ~ 1 см/год. В центральной части сдвига Сан-Андреас максимальная скорость скольжения в результате крипа составляет ~ 3 см/год [35]. Существенно, что в юго-восточной части Таласо-Ферганского разлома и в центральной части разлома Сан-Андреас не зарегистрированы землетрясения с М~>6.0 [8, 26]. В зоне Памиро-Гималайского разлома, поблизости от источника Кара-Киндик, также достоверно не известны события такой силы [8].

Можно полагать, что поступление ювенильных флюидов под сверхгидростатическим давлением является необходимым условием криповых движений по крупным разломам. С этим заключением согласуются и другие имеющиеся геологогеофизические данные. Так, например, в скважине Вариан-Филипс, на расстоянии 1.4 км от главной трассы разлома Сан-Андреас (в зоне крипа) на глубине 1.5 км давление флюидов превышает гидростатическое на величину ~12 МРа [31]. В юговосточной части Таласо-Ферганского разлома методом МТЗ обнаружена узкая вертикальная зона очень высокой проводимости, проникающая от поверхности, по крайней мере, до глубины ~40 км. Скорее всего, она также связана с присутствием соленого водного флюида [1].

Отметим, что аномально большие величины R' в районе Южного Тянь-Шаня, вероятнее всего, связаны с существованием активных разломов, а также с очень высоким уровнем сейсмичности за несколько десятилетий, предшествовавших замерам изотопного состава.

В [11] уже отмечалось, что одна из важных функций сильных коровых землетрясений состоит в высвобождении ювенильных флюидов. Отсюда может следовать, что в областях больших скоростей скольжения крыльев разломов из-за возможности постоянного подъема мантийных флюидов просто не нужны достаточно сильные землетрясения. Аналогичный эффект наблюдается во впадинах континентальных рифтовых зон, где предполагается поступление мантийной воды из-за очень высокой проницаемости пород [5] и, вместе с тем, практически отсутствуют землетрясения с М>6.0 [4].

Таким образом, подъем мантийных флюидов в зонах крупных разломов может осуществляться двумя путями - либо с помощью их постоянной медленной миграции [31], свидетельством которой являются криповые движения, либо путем эпизодических «впрыскиваний» от сильных коровых землетрясений. Оба эти процесса энергетически выгодны, поскольку ведут, в конечном счете, к уменьшению потенциальной энергии Земли. Индикатором процессов и служит присутствие мантийной компоненты гелия. Здесь существует аналогия с вулканическими извержениями, которые обеспечивают подъем к поверхности легкой расплавленной фазы и выделение огромного объема летучей фазы. Как известно, именно с действующими вулканами, а также с подводными гидротермами в районах срединно-океанических хребтов, где постоянно происходят излияния базальтовых лав, однозначно связано наиболее высокое содержание мантийного гелия [18].

Следует отметить еще, что очаги сильнейших землетрясений и вулканы, очевидно, неслучайно разнесены в пространстве. Наиболее ярко это проявляется в районах островных дуг, где практически все землетрясения с М~>8.0, приуроченные к погружающимся океаническим плитам, происходят на глубинах до 70 км, в то время как проекции вулканов на кровлю плит соответствуют глубинам ~ 100 км и более [23]. Данный эффект наблюдается в меньшем масштабе, например, в Восточно-Африканской рифтовой зоне. Известно, что Западный рифт в этой зоне характеризуется высоким уровнем сейсмичности и очень слабым вулканизмом, в то время как Восточный рифт, наоборот, слабой сейсмичностью и активными вулканическими процессами [4]. Таким образом, между сейсмичностью и вулканизмом существует своеобразное «разделение сфер влияния» в отношении подъема к поверхности легкой фазы из мантии.

Авторы выражают признательность Б.Г.Поляку за предоставление данных по изотопному составу гелия для источника Кара-Киндик.

Литература

- Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Щелочков Г.Г. и др. Таласо-Ферганский разлом глубинное строение и геодинамика (на основе данных геоэлектрики)//Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов. – Москва - Бишкек, 2003.- С. 180 - 189.
- Бердичевский М.Н., Борисова В.П., Голубцова Н.С. и др. Опыт интерпретации МТ-зондирований в горах Малого Кавказа//Физика Земли. - 1996. - № 4. - С. 99 - 117.
- 3. Ваньян Л.Л., Хайндман Р.Д. О природе электропроводности консолидированной коры//Физика Земли.- 1996. № 4. С.5-11.
- 4. Грачев А.Ф. Рифтовые зоны Земли. Л.: Недра, 1977. С. 247.
- 5. Грачев А.Ф., Мартынова М.А. Некоторые закономерности формирования гидросферы//Вестник Ленингр. ун-та. 1980. № 24. С.76 85.
- 6. Зорин Ю.А., Новоселова Р.М., Рогожина В.А. Глубинное строение территории МНР. Новосибирск: Наука. 1982. С. 93.
- 7. Киссин И.Г. Флюидонасыщенность земной коры, электропроводность, сейсмичность//Физика Земли. 1996. № 4. С. 30 40.
- 8. Кондорская Н.В., Шебалин Н.В. (ред.). Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1977. С.535.
- 9. Копничев Ю.Ф., Михайлова Н.Н. Геодинамические процессы в очаговой зоне Байсорунского землетрясения 12 ноября 1990 г. (Северный Тянь-Шань)//Докл. РАН. 2000. Т. 373, № 1.- С. 93 97.
- 10. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н., Шепелев О.М. Временные вариации поля поглощения поперечных волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня//Докл. РАН. 2000. Т. 374, № 1. С. 99 102.
- 11. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня//Физика Земли. 2003. № 5. С. 73 86.
- 12. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Анализ пространственно-временных вариаций поля поглощения поперечных волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня по записям подземных ядерных взрывов //Докл. РАН.- 2004. Т. 395, №. 6. С. 818 821.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Пространственно-временные вариации макросейсмичеких эффектов сильных землетрясений в районах Тянь-Шаня и Памира //Вестник НЯЦ РК. – Курчатов: НЯЦ РК, 2004. - Вып. 3. - С. 104 - 110.
- 14. Кочарян С.С., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. М.: Академкнига. 2003. 423 с.
- 15. Крестников В.Н., Белоусов Т.П., Ермилин В.И. и др. Четвертичная тектоника Памира и Тянь-Шаня. М.: Наука. 1979. 116 с.
- Мамырин Б.А., Ануфриев Г.С., Толстихин И.Н. Аномальный изотопный состав гелия в вулканических газах //Докл. АН СССР. - 1969. - Т. 184, № 5. - С. 1197 - 1199.
- 17. Николаев А.В., Войтов Г.И., Гриневский А.О. и др. Вариации некоторых параметров водно-газовых систем месторождения минеральных вод Сартуани, обусловленные афтершоковой деятельностью Рачинского землетрясения 29 IV 1991//Докл. АН СССР. 1992. Т. 326, № 3. С. 403-405.
- 18. Поляк Б.Г. Тепломассопоток из мантии в главных структурах земной коры. М.: Наука, 1988. 192 с.
- Поляк Б.Г., Прасолов Э.М., Каменский И.Л. и др. Изотопный состав гелия, неона и аргона в подземных флюидах Тянь-Шаня//Геохимия.- 1989. - № 1. - С. 87 - 98.
- 20. Поляк Б.Г., Каменский И.Л., Султанходжаев и др. Субмантийный гелий во флюидах юго-восточного Тянь-Шаня//Докл. АН СССР. 1990. Т. 312, № 3. С. 721 725.
- Поляк Б.Г. Изотопы гелия в подземных флюидах Байкальского рифта и его обрамления (к геодинамике континентального рифтогенеза//Российский журнал наук о Земле. - 2000. - Т. 2, № 2.
- 22. Рогожин Е.А. Тектоника очаговых зон сильных землетрясений Северной Евразии конца XX столетия //Российский журнал наук о Земле. 2000.- № 2 (1). С. 37 62.

- 23. Уеда С. Новый взгляд на Землю. М.: Мир. 1980. С. 214.
- 24. Федотов С.А. (ред.) О подъеме основных магм в земной коре и механизме трещинных базальтовых извержений//Физика Земли. 1976. № 10. С. 5 23.
- 25. Флоренсов Н.А., Солоненко В.П. Гоби-Алтайское землетрясение. М.: Изд-во АН СССР. 1963. С. 391.
- R Burford, P.Harsh Slip on the San Andreas fault in Central California from alinement array surveys//Bull. Seismol. Soc. Amer. -1980. - N 4. - P. 1233 - 1262.
- H.Craig, J. Lupton Primordial neon, helium and hydrogen in oceanic basalts//Earth Planet. Sci. Lett. 1976. V. 31. N 3. P. 369 - 385.
- D. Curewitz, J. Karson Structural settings of hydrothermal outflow: fracture permeability maintained by fault propagation and interaction//J. Volcanol. Geotherm. Res. - 1997. - V. 79. - P. 149 - 168.
- S.Husen E. Kissling Postseismic fluid flow after the large subduction earthquake of Antofagasta, Chile //Geology. 2001.- v. 29, N 9. - P. 847 - 850.
- F. Italiano, G.Martinelli, P. Nuccio Anomalies of mantle-derived helium during the 1997-1998 seismic swarm of Umbria-Marche, Italy//Geophys. Res. Lett. - 2001. - V. 28, N 5. - P. 839 - 842.
- B. Kennedy, Y. Kharaka, W. Ewans et al. Mantle fluids in the San Andreas fault system, California//Science. 1997. 278. P. 1278 - 1281.
- A. Koerner, E.Kissling, S. Miller A model of deep crustal fluid flow following the Mw=8.0 Antofagasta, Chile, earthquake//J. Geophys. Res. - 2004. - V. 109, N B6. DOI 10.1029/2003JB002816.
- S. Rojstaczer, S. Wolf Permeability changes associated with large earthquakes: an example from Loma Prieta, California//Geology.- 1992. - V.20. - P. 211 - 214.
- 34. Yu. Sano, Yu.Nakamura, H. Wakita et al. ³He/⁴He ratio anomalies associated with the 1984 Western Nagano earthquake: possibly induced by a diapiric magm//J. Geophys. Res. 1986. V. 91, N B12. P. 12291 12295.
- C. Scholz, M. Wyss, S. Smith Seismic and aseismic slip on the San Andreas fault//J. Geophys. Res. 1969. V. 74, N 8. P. 2049 - 2069.
- P. Tapponnier, P. Molnar Active faulting and cenozoic tectonics of the Tien Shan, Mongolia, and Baikal regions //J. Geophys. Res. - 1979. - V. 84. - P. 342 - 3459.
- 37. K. Tiampo, J. Rundle, S. McGinnis et al. Eigenpatterns in southern California seismicity//J. Geophys. Res.- 2002. V. 107, N B12.
- S. Xu, S.Nakai, H. Wakita et al. Helium isotope compositions in sedimentary basins in China//Appl. Geochem. 1995. V. 10. -P. 643 - 656.

ҚАТТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕР ОШАҚТАРЫНЫҢ ЖӘНЕ ІРІ ЖАРЫЛЫМДЫ БЕЛДЕМДЕРІНІҢ АУДАНЫНДАРЫНДА МАНТИЯЛЫҚ ФЛЮИДТЕРІНІҢ КӨТЕРІЛУІ: ГЕОХИМИЯЛЫҚ АЙҒАҚТАР

¹⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Соколова И.Н

¹⁾РҒА О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасының институты, Мәскеу, Ресей ²⁾ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты , Алматы, Қазақстан

Қатты жерсілкінулерінің ошақ белдемдері жанында, сондай-ақ кейбір ірі жарылымдар белдемдерінің төңіректерінде (Тянь-Шань, Монғолия, Калифорния, Орта Хонсю және Орта Аппениндер аудандары) жер астындағы флюидтерде гелий изотопы (параметр R = ³He/⁴He) болу қатынастарының вариациялары туралы әдебиетті деректер талдануда. Оқиғалардың көбінесінде қатты жерсілкінулер эпиорталықтарынан және ірі аумақтық жарылымдар белдемінен алыстауымен R параметрдің заңды түрде кемуі байқалатыны көрсетілген. Анықталған заңдылық қатты жерсілкінулерден кейін, сондай-ақ аса жоғары өтімділігімен сипатталатын кейбір жарылымды белдемдерінде мантиялық флюидтері жер қыртысының жоғары жағына көтерілетінің, және кейінде олар горизонтальды бағытында жайылу айғағы ретінде дәлелденеді.

MANTLE FLUIDS ASCENT IN THE REGIONS OF STRONG EARTHQUAKE SOURCES AND LARGE DEEP FAULT ZONES: GEOCHEMICAL EVIDENCES

¹⁾Yu.F.Kopnichev, ²⁾I.N. Sokolova

¹⁾Institute of Earth Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia ²⁾Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

Data on variations of a ratio of the helium isotope content (parameter $R={}^{3}He/{}^{4}He$) near the sources of strong earthquakes and some large fault zones (in the regions of Tien Shan, Mongolia, California, Central Japan and Central Apennines) are being analyzed. It was shown that in many cases R values regularly diminish with the distance from epicenters and large regional faults. This testifies to the ascent of mantle fluids into the earth's crust after strong earthquakes and in some deep fault zones, which are characterized by superhigh permeability and their further migration in horizontal direction.

УДК 556.5.04.08:551.24.312

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАК ОСНОВЫ КРАТКО– И СРЕДНЕСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ

Ужкенов Б.С.

Комитет геологии и охраны недр Министерства энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, Кокшетау

Приводится обоснование применения гидрогеодинамического метода в целях кратко – и среднесрочного прогноза сильных землетрясений на примере более чем 20-летнего опыта работы Алматинского прогностического полигона.

Гидрогеодинамические (ГГД) методы занимают значительное место в системе сейсмического мониторинга как наиболее эффективные для краткосрочного и среднесрочного прогноза готовящегося землетрясения. Установлено, что процессы подготовки сильных землетрясений находят своё отражение в гидрогеологическом режиме подземных вод. Комитетом геологии и охраны недр Министерства энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан создана специализированная режимная сеть для изучения ГГД предвестников землетрясений, состоящая из 8 пунктов наблюдений на Алматинском прогностическом полигоне. В свою очередь, эта действующая сеть входит в республиканскую систему сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений Казахстана.

На Алматинском прогностическом полигоне наблюдения за изменением дебита и уровня подземных вод проводятся более 20 лет. Пункты гидрогеодинамических наблюдений базируются на самоизливающихся скважинах, вскрывших термоминеральные воды различного генезиса, и на напорных, но не изливающихся скважинах. В 8 режимных скважинах Алматинского прогностического полигона ведется наблюдение за пьезометрическим уровнем, который на 5-ти скважинах («Медео», «Казачка», «Копа», «Сарыжас», «Каскелен») находится выше дневной поверхности, на остальных («Богуты», «Акколь», «Тургень») - ниже поверхности земли. Работы, проводимые на прогностическом полигоне, являются продолжением ранее начатых многолетних исследований, предусматривавших изучение ГГД - режима в связи с поиском предвестниковых эффектов сильных землетрясений. Основными параметрами, наблюдаемыми на полигоне, являются уровень и температура подземных вод, а второстепенными - атмосферное давление и температура воздуха. Наблюдения за режимом подземных вод и атмосферным давлением на постах специализированной режимной сети Комитета геологии и охраны недр ведутся непрерывно. Регистрация измерений проводится автоматически.

Накопленный многолетний опыт убедительно свидетельствует об эффективности использования гидрогеодинамического метода в целях кратко – и среднесрочного прогноза сильных землетрясений. При этом установлено, что каждый водопункт имеет свои характеристики - чувствительность, дальнодействие, основную направленность, по которой он улавливает прогнозные сигналы. Это обусловлено конкретными геолого-тектоническими условиями размещения водопункта, глубиной скважины, особенностями конструкции и устройством её оголовка, гидрогеологическими условиями. Для выявления гидрогеодинамических предвестников необходимо знать особенности режима подземных вод, зависящие от климатических условий, рельефа, геологоструктурных особенностей, литологии вмещающих пород и других факторов.

В формировании естественного режима подземных вод значительное место принадлежит метеорологическим факторам и, в первую очередь, атмосферным осадкам. Связь количества выпавших осадков с колебаниями уровня и дебитом подземных вод достаточно сложная. Области питания рассредоточены и находятся, в основном, на различном расстоянии от точек водопроявления. В некоторых случаях, имеется несколько областей питания, как например, на водопункте «Акколь».

Особое значение имеют методы обработки получаемой первичной информации. Первоначальный оптимизм, когда на начальном этапе наблюдений напрямую фиксировались аномальные проявления режима подземных вод перед некоторыми сильными землетрясениями, не оправдался. Многие землетрясения происходили без явных амплитудных изменений в динамике подземных вод. И, наоборот, некоторые изменения режима, носившие как бы предвестниковый характер, не завершались сколько-нибудь значительным сейсмическим событием. Это вызывает необходимость поиска скрытых закономерностей в динамическом режиме подземных вод, характеризующих, в очередь, изменение напряженнопервую деформированного состояния геологической среды. Безусловно, все методы обработки, применяемые в настоящее время, и те, которые будут разработаны в будущем, должны учитывать гидрогеологические условия формирования подземных вод и развития каждого конкретного участка недр.

Естественный гидрогеодинамический режим подземных вод формируется под воздействием разнообразных природных факторов – метеорологических, космических и биогенных. Правильность интерпретации данных, полученных в результате наблюдений за режимом подземных вод, с целью поиска предвестниковых эффектов землетрясений во многом зависит от знания природных ритмов воздействия этих факторов. Применительно к поставленной задаче, влияние основных из них можно представить как условную систему непрерывно действующих природных эффектов:

1) пополнение запасов подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков или поверхностных вод – инфильтрационный эффект;

2) колебания атмосферного давления – барометрический эффект;

 приливные солнечно-лунные возмущения – приливный эффект;

4) изменения напряженно-деформационного состояния земной коры – геодинамический эффект.

Конечная и пока нерешенная задача в программе изучения гидрогеологических предвестников землетрясений состоит в построении такой модели, которая позволила бы количественно оценить первые из трех перечисленных факторов, исключить их из наблюденной величины приращения уровня подземных вод за данный отрезок времени и, тем самым, определить величину геодинамического эффекта во времени и пространстве.

На разных этапах прогнозных работ поиск предвестников землетрясений заключается в исследовании поведения временных рядов наблюдаемых полей уровня постоянной составляющей сигнала, аномального апериодического сигнала специфической морфологии, «бухты» положительной или отрицательной полярности, отклонения от закономерного хода исследуемого параметра. Как правило, при визуальной интерпретации графиков наблюдаемых параметров, выделение аномалий-предвестников, носит элемент субъективизма, в результате чего наблюдения могут быть интерпретированы разными специалистами неоднозначно. Сами наблюдаемые параметры могут иметь (и имеют) значительные по величине вариации различных периодов - от многолетних до первых часов. Некоторые из этих вариаций, если они происходят перед землетрясениями, могут быть ошибочно приняты за прогностические аномалии. И, наоборот, слабые предвестниковые аномалии могут быть заглушены более сильными сезонными вариациями или долговременным трендом. Опыт многолетних наблюдений показал неустойчивость данного параметра к помехам различной природы, зачастую проявляющихся в виде сезонного хода и длиннопериодных трендов, что затрудняет выделение полезного сигнала.

Первым шагом в разработке методики формального анализа с применением методов математической статистики является введение в величину измеренного уровня подземных вод поправок за влияние атмосферного давления как наиболее влияющего на значение уровня воды во многих скважинах наблюдательной сети. Наиболее простым способом получения скомпенсированной величины уровня подземных вод является использование регрессионного анализа для атмосферного давления и уровня подземных вод, который позволил определить для случая Алматинского прогностического полигона уравнение линейной регрессии вида:

$$H_{\text{комп}} = A \cdot H_{\text{набл}} + B,$$

где: H_{комп} – величина скомпенсированного уровня; А – коэффициент линейной регрессии; Н_{набл} – величина наблюденного уровня; В – постоянная.

Разработана программа, проведена обработка с ее использованием и анализ данных, наблюденных в период подготовки Байсорунского землетрясения (К=14,6), происшедшего 12.11.1990 г. на примере водопунктов «Тургень» и «Казачка». На рисунке 1а показан отрезок графика наблюденных среднесуточных значений уровня подземных вод на водопункте «Тургень» за период с 01.09.1990 г. по 30.12.1990 г., а на рисунке 16 - график среднесуточных значений уровня подземных вод за тот же период, скомпенсированных за атмосферное давление согласно вышеприведенной экспериментальной зависимости.





На обоих графиках (рисунок 1), построенных при ретроспективном анализе, когда имелись данные наблюдений после землетрясения, и стало возможным построить линию тренда, удалось выделить аномалию типа «бухта», которая на рисунке 16 имеет более четкие границы начала аномалии. Аналогичная картина относительно того же землетрясения наблюдается по данным водопункта «Казачка» (рисунок 2).



Рисунок 1. Водопункт «Казачка». Уровень воды перед Байсорунским землетрясением

Здесь аномалия скомпенсированных значений уровня воды имеет большую глубину «бухты» (рисунок 2б). Следует отметить, что на обоих водопунктах аномалия проявляется на фоне сильного долговременного тренда, что затруднило ее выделение в реальном времени, в связи с чем своевременный прогноз землетрясения сделан не был. В декабре 1990 г. проявляется амплитуда локальных короткопериодных вариаций, сопоставимая с предвестниковой аномалией, выделенной в октябреноябре (рисунок 2б), хотя примечательных сейсмических событий, кроме землетрясения с К= 11.8, состоявшегося 28.12.1990 г., на полигоне не было. Отсюда можно сделать вывод, что выявление в реальном времени бухтообразной аномалии затруднено ее морфологической схожестью с трендом, в связи с чем при краткосрочной оценке сейсмической ситуации возможен пропуск предвестниковой аномалии. Отмеченные особенности явились основанием для выработки нового подхода ко всем анализируемым параметрам при выделении предвестников землетрясений. Суть методики обнаружения полезной аномалии заключается в устранении долговременного тренда и учете влияния мешающих факторов, выделении в остаточных членах рядов сигналов, наиболее вероятным образом (по статистике ретроспективного анализа) отражающих сейсмотектонические процессы.

В заключительной стадии подготовки землетрясения могут появиться сигналы относительно высокой частоты, смещение спектральных линий или изменение амплитуды тех или иных периодических вариаций, в том числе, совпадающих по периоду с приливными вариациями силы тяжести. Выделение аномалий во временных рядах гидрогеодинамических параметров, наблюдаемых на полигоне, как показывает аналитический опыт, требует особого внимания к качеству исходных данных и методике измерений, поскольку эти данные, не являясь компонентами потенциальных полей, отражают локальный гидрогеологический режим в пункте наблюдений.

Следующим важным разделом методики краткои среднесрочного прогноза является нормирование данных. Анализ данных за многолетний период показал отсутствие универсального предвестника и полностью информативного поста. Зачастую «предвестниковые» аномалии давали «пропуск цепи» перед более сильными или близкими сейсмическими событиями, что привело к комплексированию методов анализа нормированных данных при прогнозе. Все данные, получаемые на сейсмопрогностическом полигоне, измерены разными «инструментами» и имеют разную чувствительность к воздействию внешних и внутренних факторов. Однако они содержат информацию о физическом состоянии среды. Спецификой данных является то, что они весьма разнородны, прежде всего, по изменчивости и по их исходным величинам (масштабам). Комплексная обработка и анализ, особенно на конечной стадии, предъявляют ряд требований к входным данным, основным из которых является их представление в едином временном и амплитудном масштабе. При анализе данных и получении оценки сейсмической ситуации, целесообразно иметь некоторый единый интегральный показатель состояния среды – комплексный параметр, все компоненты которого должны быть привязаны к единым безразмерным величинам.

Главным и основополагающим при выделении полезной аномалии является получение из временного ряда наблюденного параметра такого временного ряда, который:

- не имеет тренда;
- все аномальные отклонения имеют один знак (положительный);
- выходной временной ряд может быть получен суммированием всех компонентов, полученных в результате анализа исходного ряда;
- выходной ряд подчиняется законам статистики, имеет среднюю дисперсию (ненулевую) и каждое его - значение определяется с вычисляемой ошибкой.

На рисунке 3 показан временной ряд выходного нормированного параметра за тот же интервал времени, что и на рисунках 1, 2 – с 01.09.1990 г. по 31.12.1990 г. В этом случае выделение аномалии становится возможным в реальном времени, т.к. нет необходимости проводить линию тренда при ретроспективном рассмотрении материалов. Аномалия выделяется, как только значение выходного параметра превысило 1.0.



Рисунок 3. Аномальная компонента уровня воды (Am) перед Байсорунским землетрясением 12.11.1990 г. на водопунктах

При аномалиях, выявленных по данным наблюдений какого-либо поста или их совокупности. возникает потребность определения их площадных размеров и плановой привязки. Если исходить из общефизических представлений о существовании источника возмущений, то величина этого возмущения, являясь функцией расстояния, должна затухать по определенному закону. То есть, зона аномально высоких значений выходного ряда, отражающая, по нашим представлениям, напряженнодеформированное состояние геологическое среды, должна быть ограничена по площади, а ее эпицентр, в случае квазиизотропной среды, будет совпадать с эпицентром источника возмущений (эпицентром готовящегося землетрясения). При сопоставлении результативных материалов с фактической сейсмичностью, для того, чтобы произвести привязку «прогностической» аномалии к тому или иному сейсмическому событию, необходимо руководствоваться одними и теми же критериями, которые не должны меняться при переходе от одного пункта наблюдения к другому. Землетрясения, к которым приурочивается рассматриваемая аномалия, также должны отбираться, начиная с некоторого минимального энергетического класса, и не должны быть за пределами радиуса чувствительности данной скважины, которая, как было сказано выше, имеет сугубо индивидуальные характеристики. При визуальном анализе часто многие из бухтообразных аномалий, даже не выходящие за пределы ошибок наблюдений, и имеющие периодический характер (вариации) связываются с землетрясением малого энергетического класса (вплоть до 7-8), происшедшими на расстоянии свыше 400 км от поста наблюдения.

Сравнение результатов обработки по двум методикам – ранее принятой методике ВСЕГИНГЕО (оценка изменяющихся характеристик ГГД–полей) и новой методике (с применением методов математического анализа), - показало, что при режимных наблюдениях за уровнем подземных вод, достаточно уверенно выделяется прогностический эффект, предваряющий землетрясения с энергетическим классом 12 и выше.

Таким образом, при анализе гидрогеодинамических данных, с учетом влияния режимообразующих факторов, представляется возможным выделение полезного сигнала и расчет чувствительности наблюдательных станций. Использование величины связи с постоянно действующими на режим подземных вод факторами позволяет повысить надежность выделения кратко- и среднесрочных гидрогеодинамических предвестников и эффективность системы прогнозирования землетрясений.

ҚЫСҚА – ЖӘНЕ ОРТАМЕРЗІМДІ БОЛЖАМЫ НЕГІЗІ РЕТІНДЕ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРІНІҢ ГИДРОГЕОДИНАМИКАЛЫЫҚ НЫШАНДАРЫН ЗЕРДЕЛЕУ

Ужкенов Б.С.

ҚР ЭМРМ Геология және жер қойнауын қорғау комитеті, Көкшетау, Қазақстан

Алматыдағы болжамдау полигоны жұмысының 20 жылдан астам тәжрибесі үлгісінде қатты жерсілкінулерінің қысқа- және ортамерзімді болжамы мақсатындағы гидрогеодинамикалық әдісін қолдану негіздеуі келтіріледі.

STUDY OF HYDRODYNAMIC EARTHQUAKE FORERUNNERS AS A BASIS OF SHORT- AND LONG-TERM PROGNOSIS

B.S. Uzhkenov

Committee of Geology and Mineral Resources Conservation MEMR RK, Kokshetau, Kazakhstan

Substantiation of hydrodynamic method application is given for the purpose of short- and long-term prognosis of strong earthquakes as an example of 20-years experience of Almaty Prognostic Test Site.

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА

Нусипов Е.Н., Оспанов А.Б., Рахымбаев М.М.

Институт сейсмологии Министерства образования и науки РК, Алматы, Казахстан

В статье обобщен зарубежный и отечественный опыт изучения геодинамических явлений в районах разработки крупных месторождений нефти и газа. Приводится описание сейсмического мониторинга, проводимого с аналогичной целью на территориях пяти нефтяных месторождений Казахстана. В районах четырех месторождений зарегистрированы слабые местные землетрясения. Эти признаки сейсмической активизации авторы связывают с техногенным развитием месторождений.

Интенсивная разработка крупных месторождений нефти и газа сопровождается мощным техногенным воздействием на геологическую среду [2,5,10,11]. Неблагоприятное сочетание техногенных факторов с природными геодинамическими процессами может привести к возникновению аномальных и, соответственно, опасных природно-техногенных геодинамических событий. Такие геодинамические события как землетрясения, активизация разломов, интенсивные просадки земной поверхности, горизонтальные смещения массивов горных пород, поверхностное разломообразование, флюидодинамические процессы хорошо известны и надёжно зарегистрированы на разрабатываемых месторождениях нефти и газа в различных регионах мира. На рисунке 1 приведен пример сейсмической активизации на газовом месторождении Лак (Франция).



1 – сейсмические станции; 2-7 – магнитуды землетрясений (2 – M=6, 3 – M=5, 4 – M=4, 5 – M=3, 6 – M=2, 7 – M=1;); 8 – глубинный разлом; 9 – изогипсы кровли продуктивной толщи

Рисунок 1. Эпицентры землетрясений, зарегистрированных на газовом месторождении Лак (Франция) за период 01.04.1974 - 01.03.1980 гг.

До начала разработки месторождения на его территории землетрясения отсутствовали. Первые сейсмические толчки были зафиксированы после 12 лет промышленной эксплуатации месторождения. За семь лет (с 1974 г. по 1980 г.) на территории месторождения и в непосредственной близости от него произошло более 1000 землетрясений с магнитудой от 1 до 6.

На рисунке 2а показаны эпицентры землетрясений энергетического класса от 4 до 9 на Ромашкинском и Ново-Ельховском нефтяных месторождениях Российской Федерации только за один 1994 г.

Как видно из рисунка 2а, территория, считавшаяся ранее асейсмичной, характеризуется значительной сейсмической активностью. На рисунке 26 на тех же двух месторождениях приведены эпицентры наиболее сильных землетрясений - интенсивностью от 4 до 6 баллов (по шкале MSK-64). Из рисунков 2a, б видно, что подавляющее количество землетрясений происходило на границе двух месторождений и приурочено к тектоническому разлому. В таблицу 1 сведены данные о количестве землетрясений на Ромашкинском месторождении по годам и количестве выделившейся энергии.

Годы	Кол-во землетрясений	Суммарная выделившаяся энергия, Дж
1986	17	3·10 ¹⁰
1987	50	7·10 ⁹
1988	52	2·10 ⁹
1989	29	5·10 ⁹
1990	63	1.10 ⁹
1991	77	1·10 ¹¹
1992	86	2·10 ⁹
1993	82	1.10 ¹⁰
1994	140	3·10 ⁹
1995	77	6·10 ⁸
1996	31	2·10 ⁸

Таблица 1. Количество землетрясений, зарегистрированных по годам, на месторождении Ромашкинское (Татарстан)

Описанные события имеют место не только в сейсмоактивных регионах, но и на платформенных территориях, которые, хотя и относятся к стабильным в геологическом времени участкам земной коры, подвержены современным движениям, порой значительным. В таблице 2 приведены примеры более десятка тектонических землетрясений с магнитудой 7-8 на территории древних платформ [11].



 – эпицентры землетрясений (в числителе год, в знаменателе балл); 2 – тектонический разлом 3 – сейсмические станции; 4 – шестибалльные изосейсты; 5 – контуры месторождений

Рисунок 2. Эпицентры слабых (а) и сильных (б) землетрясений на Ромашкинском и Ново-Ельховском месторождениях (Татарстан)

Таблица 2. Сильные	землетрясения,	зарегистрированные в
пределах стабі	ильных участкое	з земной коры[11]

№ п/п	Место, год	Магнитуда
1	Нью-Мадрид, 1812	8,3
2	Нью-Мадрид, 1811	8,2
3	Нью-Мадрид, 1812	8,1
4	Кач, 1819	7,8
5	Море Баффина, 1933	7,7
6	Тайваньский пролив, 1604	7,7
7	Южная Каролина, 1886	7,6
8	Нанай, 1918	7,4
9	Большие Банки, 1929	7,4
10	Базель, 1356	7,4
11	Хайнань, 1605	7,3
12	Плато Эксмаус, 1906	7,2
13	Ливия, 1935	7,1
14	Португалия, 1858	7,1
15	Южно-Тасманское поднятие, 1951	7,0

Наиболее близкими примерами подобного рода являются два десятибалльных Газлийских землетрясения (1976, 1984 гг.) на Туранской плите, считавшейся слабосейсмичной [1] и девятибалльное Нефтегорское землетрясение, произошедшее в 7балльной зоне согласно карте сейсморайонирования [8], которые привели к многочисленным человеческим жертвам и тяжелым экономическим потерям. С добычей углеводородов связаны многочисленные землетрясения средней силы (до 6 баллов по шкале MSK-64) в слабосейсмичных регионах Пермского Прикамья, Башкирии, Западной Сибири. В таблице 3 систематизированы результаты наблюдений за просадкой земной поверхности на ряде месторождений углеводородов мира.

	```	\	<u>`</u>	<pre>&gt;&gt;&gt;&gt;</pre>
$Iabmua \prec IInc$	садки земной поверхнос	ти над пазпабатыва	емыми местопождениям	111 V2710800000000
1 <i>aominina</i> 5. 11pc	сиоки земной новержное	ma nao paspaoamoioa	emound meentopooleoenduum	n yeneoooopoooo

№ п/п	Наименование месторождения	Год открытия	Глубина месторождения, м	Период наблюдений за деформацией	Максимальное накопление опусканий, м
1	Willmington (США)	1926	760-1830	1928-1966	8,8
2	Lagunilas (Венесуэла	1926	300-1200	1926-1980	4,1
3	Экофиск (Норвегия)	1970	3000	1984-1985	2,6
4	Сураханы (Азербайджан)	1904	180-2650	1912-1972	3,0
5	Балаханы-Сабунчи-Романы (Азербайджан)	1871	180-1280	1912-1947	2,45
6	Buena Vista (США)	1910	1130	1942-1964	2,3
7	Inglewood (США)	1924	900	1911-1963	1,7
8	Baldwin Hills (США)	1924	650	1926-1962	1,3
9	Huntigton Beach (США)	1920	930	1933-1965	1,2
10	Goose Creek (США)	1916	600	1917-1925	1,0
11	Saxset (США)	1930	800	1942-1959	0,9
12	Северо-Ставрапольское (РФ)	1956	170-750	1956-1976	0,9
13	Santa Fe Spring	1919	1300	1927-1963	0,66
14.	Long Beach (США)	1921	1690	1925-1967	0,6

Как видно из таблицы 3, размеры просадок могут быть внушительными. Наличие и масштабы природнотехногенных процессов могут быть установлены только посредством комплексного геодинамического мониторинга на разрабатываемых месторождениях нефти и газа и прилегающей территории. Особую важность приобретает выбор начала проведения такого мониторинга. Мониторинг должен начинаться до промышленной разработки месторождения. В этом случае удаётся достаточно хорошо изучить природный фон современной природной геодинамики недр. В дальнейшем, по мере разработки месторождения, можно надежно установить уровень техногенной компоненты геодинамического состояния недр на фоне природной геодинамики и оценить роль и меру опасности комплексного влияния природно-техногенных геодинамических процессов для систем и объектов нефтегазопромысла.

Анализ статистики аномальных геодинамических процессов показывает, что ни одно длительно разрабатываемое месторождение нефти и газа не гарантировано от проявления техногенных землетрясений, порой имеющих разрушительную силу. Поэтому статья 6.3.4 «Единых правил разработки нефтяных и газовых месторождений Республики Казахстан (Постановление Правительства Республики Казахстан от 18.06.1996 г. № 745) предусматривает обязательное проведение геодинамического мониторинга в процессе подготовки месторождений к разработке и в процессе самой разработки с целью выявления конкретных очагов сейсмической активности и определения механизма техногенных землетрясений.

Геодинамический мониторинг включает в себя, в первую очередь, сейсмологические наблюдения за проявлениями естественной и техногенной сейсмичности, геодезические наблюдения (в наземном или космическом вариантах) за вертикальными и горизонтальными подвижками дневной поверхности на территории месторождений, геофизические (гравиметрические, геомагнитные, геоэлектрические) наблюдения за внутренним состоянием месторождения, гидрогеологические и гидрогеохимические наблюдения, а также эксплуатационные наблюдения. Результаты такого комплексного геодинамического мониторинга могут позволить разрабатывать 3-хмерные модели месторождения, вести контроль за динамикой развития негативных процессов и принимать превентивные меры по их предупреждению [4,6].

Одним из наиболее чувствительных методов геодинамического мониторинга является сейсмический мониторинг. В отличие от других методов, он не требует предварительных знаний об участках геодинамической активизации. Система сейсмического мониторинга равномерно контролирует целиком всю площадь месторождения (в случае локального мониторинга), либо с охватом значительных площадей, примыкающих к месторождению (в случае регионального мониторинга) [3,6,7]. По результатам сейсмического мониторинга выделяют наибопее активные участки, где впоследствии сосредоточивают проведение других методов геодинамического мониторинга. Именно поэтому создание системы комплексного геодинамического мониторинга на нефтяных и газовых месторождениях Западного Казахстана начато с организации системы сейсмического мониторинга. Так, в 2001 г. вокруг Карачаганак месторождения в Запално-Казахстанской области создана система сейсмологических наблюдений из четырех сейсмических станций (рисунок За).



5 – населенные пункты, 6 – автомобильные и проселочные дороги, 7 – реки, 8 – пески

Рисунок 3. Системы сейсмологических наблюдений на месторождениях Западного Казахстана

Из-за высокого фона сейсмических шумов на территории месторождения станции вынесены за ее пределы. Расстояние между пунктами наблюдений изменяется от 25 до 45 км. Такая система наблюдений обеспечивает представительную регистрацию сейсмических событий с энергетическим классом  $K_{min} \ge 6$  в пределах месторождения и ближайшей его окрестности. За время наблюдений зарегистрировано более двух десятков местных, слабых землетрясения расположены в полосе шириной 10 км, протягивающейся с северо-востока на юго-запад и проходящей через восточный фланг месторождения, что можно видеть на рисунке За.

В 2002 г. создана система сейсмического мониторинга на нефтяных месторождениях Жанажол и Кенкияк, состоящая из четырех сейсмических станций (рисунок 36). Система наблюдений обеспечивает представительную регистрацию землетрясений с энергетическим классом К≥6. На изученной территории также наблюдалась местная сейсмичность. За время наблюдений зарегистрировано 5 слабых землетрясений с магнитудой от 0,8 до 1,6. Эпицентры землетрясений вытянуты вдоль русла реки Эмба, с юго-запада на северо-восток, и проходят по западному краю месторождения Жанажол. Непосредственно на территории месторождения пока наблюдалось только одно землетрясение (рисунок 36). В 2003 г. на месторождении Кумколь в Кызылординской области создана система сейсмического мониторинга из пяти сейсмических станций (рисунок 4a).

В отличие от предыдущих случаев, здесь за время наблюдений не зарегистрировано ни одного близкого местного землетрясения. Ближайшие к месторождению землетрясения зарегистрированы в 150 км к северо-востоку, в районе г. Жезгазган.

На месторождении Тенгиз, еще до начала промышленной разработки, в 1987-1989 гг. существовала система сейсмического мониторинга Института сейсмологии МОН РК, которая перестала существовать с развалом Советского Союза. Главным результатом сейсмологических наблюдений тех лет явилась констатация факта полного отсутствия местной сейсмичности. В 2003 г. система сейсмического мониторинга на месторождении Тенгиз создана вновь в составе пяти сейсмических станций (рисунок 4б). За время наблюдений зарегистрировано пять слабых местных землетрясений с магнитудой от 0,5 до 1,8. Только одно из землетрясений приходится на территорию месторождения. Три землетрясения произошли к западу от месторождения, одно - к северу, за пределами рамки рисунка. Этот факт свидетельствует о том, что в результате техногенного воздействия на геологическую среду появилась местная техногенная сейсмичность, правда, ещё достаточно слабая.



Рисунок 4. Системы сейсмологических наблюдений на месторождениях: а – Кумколь; б - Тенгиз

Аппаратура, используемая в системах сейсмического мониторинга на всех описанных месторождениях, однотипная и представлена сейсмическими регистраторами GSR-18 швейцарского производства и сейсмоприемниками CMG-40T производства английской фирмы Gurlop. Амплитудно-частотные характеристики этих приборов обеспечивают регистрацию близких слабых землетрясений.

В настоящее время непрерывные сейсмологические наблюдения продолжаются. Общая длительность наблюдений на разных месторождениях составляет от 1 до 3 лет, т.е. очень мала, и поэтому преждевременно делать далеко идущие выводы. Тем не менее, уже можно констатировать, что в районах месторождений Карачаганак, Жанажол и Тенгиз слабая местная сейсмичность присутствует. Задача заключается в наборе статистически значимого экспериментального материала, который позволит делать научно-обоснованные выводы.

## Литература

- 1. Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. Ташкент, 1986. С.94-105.
- 2. Кузьмин Ю.Г. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов//Геологическое использование недр/Геоинформатика, 1996.- вып. 4.
- 3. Нусипов Е.Н. Задачи и проблемы геодинамического мониторинга Прикаспия Казахстана//Геология и охрана недр. Алматы, 1998. № 1.
- Нусипов Е.Н., Сидоров В.А. и др. Геодинамическая безопасность освоения месторождений углеводородов Республики Казахстан. Концепция. - Алматы, 2002.
- Нусипов Е.Н., Сидоров В.А. и др. Геодинамический мониторинг нефтегазовых месторождений Казахстана: состояние и перспективы//Проблемы предотвращения последствий разрушительных землетрясений/ Сборник докладов второго Казахстанско-Японского международного семинара. - Алматы: Эверо, 2003. - С.451-465.
- Нусипов Е.Н., Сидоров В.А. и др. Методическое руководство (регламент) по созданию комплексных геодинамических полигонов и проведению многофункционального мониторинга природно-техногенных сейсмодеформационых и флюидодинамических процессов при освоении углеводородного потенциала недр Республики Казахстан. - Алматы: Гылым, 2003.
- Нусипов Е.Н., Оспанов А.Б. и др. Геодинамическая безопасность освоения месторождений углеводородов Казахстан: основные положения//Современная геодинамика и сейсмический риск Центрально Азии/ Сборник докладов пятого Казахстанско-Китайского международного семинара.- Алматы, 2004. - С.104-107.
- 8. Память и уроки Нефтегорского землетрясения. М. Полтекс, 2000.
- 9. Рагожин Е.А., Тейтельбаум Ю.М. Сильное землетрясение в Тенгизе. Возможно ли?//Разведка и охрана недр, 1999.- № 5-6.
- Сидоров В.А. Возникновение опасных геодинамических событий в связи с разработкой месторождений нефти и газа//Разведка и охрана недр, 1999.- №5-6.
- 11. A.C. Jonson and L.R. Kanter Earthquakes in stable continental crust. Scientific American, 1990. 262.- P.68-75.

## ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ МҮНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ КЕНОРНЫНДАРЫНЫҢ СЕЙСМОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГІСІ

## Нусіпов Е.Н., Оспанов А.Б., Рақымбаев М.М.

#### ҚР білім және ғылым министрлігінің Сейсмология институты, Алматы, Қазақстан

Мұнай және газ ірі кенорнындарының ауданында сейсмологиялық мониторингісін өткізуінің шетел және отандық тәжрибесі қорытылған. Қазақстандағы бес мұнай кенорнындарының аумағында ұқсасты мақсатымен өткізілетін сейсмикалық мониторингісінің сипаттамасы келтіріледі. Мониторинг нәтижесінде төрт кенорнының аумағында әлсіз жергілікті жерсілкінулер тіркелген. Сейсмикалық белсенуінің бұл нышандары кенорнының техногендік дамуымен байланыстырылады.

#### SEISMOLOGICAL MONITORING AT OIL AND GAS DEPOSITS OF KAZAKHSTAN

## E.N. Nusipov, A.B.Ospanov, M.M. Rakhimbaev

#### Seismology institute MES, Almaty, Kazakhstan

The article gives generalized international and native investigation experience of geodynamic phenomena at some world's large oil and gas deposits. Seismological description is given, executed with the same purpose at the territory of five oil deposits in Kazakhstan. As a result of monitoring in the area of four deposits weak local earthquakes were recorded. These signs of seismic activity are related to man-caused deposits development.

### УДК 550.34:504.53.06

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАПИСЕЙ ОПОЛЗНЕЙ НА СЕЙСМОГРАММАХ

¹⁾Соколова И.Н., ²⁾Шепелев О.М.

#### ¹⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан ²⁾Научно-производственный комплекс «Прогноз» ГУ «Казселезащита» МЧС РК, Алматы, Казахстан

По записям сейсмической станции Талгар, расположенной в Северном Тянь-Шане, выявлены однозначные критерии для идентификации на сейсмограммах оползневых явлений, происходящих в предгорьях Заилийского Алатау. Рассмотрены динамические характеристики сейсмических записей оползней. Исследованы факторы, обусловившие резкое увеличение числа оползней весной 2004 г

Экзогенные геологические процессы, в том числе, оползни (рисунок 1), отражают развитие приповерхностной части литосферы, обусловленное как тектоническими процессами, геологическими, геоморфологическими, гидрогеологическими условиями, так и воздействием комплекса антропогенных факторов. Проявления оползневых процессов наносят значительный ущерб экономике, приводят к разрушениям на большой территории и человеческим жертвам. Так, в результате схода оползня в ущелье Талды-Булак 13 марта 2004 г. погибло 29 человек. В последние годы в предгорьях Заилийского Алатау оползневые процессы заметно активизировались [1]. Поэтому изучение факторов, определяющих формирование и развитие оползней, а также исследование сейсмического эффекта этих явлений представляет большой интерес.



Стрелками показаны трещины, обычно являющиеся предвестниками схода оползня

Рисунок 1. Оползни 8 мая (левый след) и 9 мая 2004 (правый след) [1]

#### ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ распределение оползней в районе Заилийского алатау

В предгорьях Заилийского Алатау оползневые явления регистрируются повсеместно с различной периодичностью активизации. В период с 1997 г. до 2004 г. самое большое количество оползней наблюдалось в бассейнах рек Малая Алматинка, Талгар, Каскелен и Иссык. На рисунке 2 приведена сейсмическая запись оползня 13.03.2004 г, который повлек за собой человеческие жертвы. На рисунке 3 дано распределение по годам ежемесячного количества оползней за период с 1997 г. по 2004 г. В 2000-2001 г. сведения о сошедших оползнях отсутствуют (возможно, из-за небольшого количества и незначительности они остались вне сферы наблюдений [1]). Как видно из рисунка 3, максимальное количество оползней наблюдалось в мае 2004 г.



Рисунок 2. Сейсмическая запись оползня 13.03.2004 19:22 (GMT), φ=43.2894°, λ=77.1611°. Станция TLG



Рисунок 3. Количество землетрясений и оползней в период с 1997 г. по 2004 г в изучаемом районе

Известно [1], что сейсмогенные напряжения земной коры, сейсмотектонические деформации подготавливают и вызывают смещение горных масс, нарушая их устойчивость. На рисунке 3 одновременно с количеством оползней показан временной ход количества землетрясений в районе, ограниченном координатами 42.75°-43.75° с.ш. 76.72°-77.72° в.д. Видно, что в апреле-мае 2004 г. имел место резкий рост количества регистрируемых слабых землетрясений. Следует отметить, что увеличение количества землетрясений в первой половине 2004 г. произошло не только в рассматриваемом районе, но и на территории всего Северного Тянь-Шаня. Площадное распределение оползней и землетрясений за январь-май 2004 г. показано на рисунке 4.



Звездочки – места схода оползней. Кружки – эпицентры землетрясений, произошедших за: 1 - январь; 2 - февраль; 3 -март; 4 - апрель; 5 – май 2005 г. Треугольник – сейсмическая станция Талгар. Квадрат – карьер Котур-Булак. Размеры значков пропорциональны энергии события.

Рисунок 4. Карта исследуемого района

Места возникновения некоторых оползней совпадают с эпицентрами землетрясений (в пределах расстояний до 400 м). Диапазон магнитуд зарегистрированных землетрясений m_{рva} - 1.4~4.2.

### Анализ записей оползней, зарегистрированных сейсмической станцией Талгар

Сейсмическая станция Талгар (рисунок 4) начала регистрацию сейсмических событий с 1961 г. В 1994 г. здесь вместо аналоговой аппаратуры была установлена трёхкомпонентная цифровая станция. Анализ сейсмограмм, полученных на станции, проведен с целью создания методик идентификации событий различной природы и внедрения в практику мониторинга опасных природных явлений. В этой связи отобраны сейсмические записи событий, которые были проассоциированы с оползнями, произошедшими на небольших расстояниях от станции Талгар. Для цифровых записей проведена узкополосная частотная фильтрация. Использовались фильтры с центральными частотами 0.6, 1.25, 2.5, 5.0 Гц и шириной 2/3 октавы по уровню -3 дБ от максимума, аналогичные соответствующим ЧИСС – фильтрам [2]. Были исследованы также динамические характеристики сейсмограмм серии оползней, основные параметры которых представлены в таблице 1.

18 мая 1998 г. в бассейне реки Талгар на расстоянии около 100 м от сейсмической станции по азимуту 81.4° произошел оползень (п. 1 таблицы 1) с ориентировочным объемом сместившейся массы 1.3-1.5 тыс. м³ [1]. На рисунке 5 приведены сейсмические записи этого оползня на 4-х частотах, полученные станцией Талгар (вертикальная компонента), с использованием ЧИСС-фильтров [2]. Обращает на себя внимание необычность формы записи - быстрое затухание амплитуды, широкая полоса частот. На рисунке 6 приведен характер поляризации сейсмических волн: а - в течение первых пяти секунд записи; б - цуга, соответствующего максимуму амплитуды (5с) для фильтра 0.6 Гц. Как видно из рисунка, поляризация сейсмического сигнала коррелируется с направлением схода оползня.

N	Дата	Время GMT	Объем V, м ³	Широта	Долгота	Высота, h, м	Рассто- яние, км	Азимут	Амплитуда, нм, фильтр 0.6 Гц	Длитель- ность за- писи, с	t _{max} фильтр 0.6 Гц
1	18.05.1998	22:02	1300	43.2486	77.2228	1200	0.1	81.4	258.3	65.9	28.8
2	13.03.2004	19:19	300000	43.2894	77.1611	1075	6.8	131.6	56.7	90	20.8
3	13.03.2004	19:22	700000	43.2894	77.1611	1075	6.8	131.6	107.3	74	13.1
4	08.05.2004	21:54	2200	43.255	77.2069	1540	1.5	117.2	224.5	84.5	17.4
5	09.05.2004	4:59	800	43.2625	77.2319	1500	1.7	203.6	55.8	73.6	22.8
6	24.05.2004	6:25	1200	43.2639	77.2	1520	2.6	131.3	26.5	51.5	8.3
7	25.05.2004	0:30	2800	43.2633	77.2033	1525	2.3	134.4	64.2	40	9.8
8	25.05.2004	3:35	2800	43.2633	77.2033	1525	2.3	134.4	83.9	59	20.2

Таблица 1. Основные параметры оползней, зарегистрированных станцией Талгар



Рисунок 5. Записи оползня 18.05.1998, полученные станцией Талгар. Вертикальная компонента. Каналы (сверху вниз): 0.6, 1.25, 2.5, 5 Г, 10 Гц.



б - по цугу с максимальными амплитудами Канал 0.6 Гц

Рисунок 6. Характер поляризации сигнала по записям оползня 18.05.1998, полученным станцией Талгар



Таблица 2. Сравнительные характеристики сейсмических записей различных типов источников. Станция TLG. Zкомпонента

Тип источника	Период максимальной амплитуды, сек	Время нарастания максимума, сек		
Оползень	0.5	10.9		
Карьерный взрыв	0.075	0.4		
Землетрясение	0.075	4		

В отличие от записей взрыва и землетрясения, где максимум амплитуды достигается на первых секундах события, запись оползня не имеет четкого первого вступления, характеризуется медленным нарастанием амплитуды и является самой низкочастотной.

На рисунке 76 приведены спектры сейсмических колебаний вертикальной компоненты сейсмического сигнала для тех же трех событий.

Спектр оползня существенным образом отличается от двух других. Он имеет 2 локальных максимума в районе 0.6-0.8 Гц и 1 Гц. Сейсмические записи взрывов и землетрясений являются гораздо более высокочастотными.



Рисунок 7. Сравнение сейсмических записей (а) и спектров (б) событий разной природы: верхняя - землетрясение 20 июня 1997г. (t₀=20:07:05.6, φ=43.1°, λ=77.1°); средняя – карьерный взрыв 23 июля 1997 г. (t₀=4:56:51.0); нижняя - оползень 13 марта 2004 г. (t₀~19:22). Z-компонента. Станция Талгар

На рисунке 8 представлена зависимость отношения амплитуды смещения грунта (А) по сейсмическим записям, полученным станцией Талгар (фильтр 0.6 Гц), к объёму сошедшей оползневой массы (V) в зависимости от расстояния до оползней, включенных в таблицу 1. Как следует из рисунка 8, наблюдается ярко выраженная линейная зависимость параметра A/V от расстояния. Уравнение линейной регрессии, полученное для использованных исходных данных, имеет вид:

 $lg(A/V) = -0.44042 - 0.48498 \Delta$ , R= - 0.99465,

где A - амплитуда смещения грунта (нм), V – объем оползневой массы ( $M^3$ ),  $\Delta$  - расстояние в км, R – коэффициент корреляции.

Полученный результат позволяет сделать важный практический вывод: существует принципиальная возможность быстрой оценки объема массы сошедшего оползня на основании анализа динамических характеристик сейсмограмм.

В целом анализ записей оползней на сейсмограммах показывает наличие однозначных критериев идентификации оползней, таких как отличие спектра, времени нарастания максимума, периода максимальной амплитуды, а также длительности записи. Это открывает перспективы для создания аппаратурных систем мониторинга и предупреждения оползневых явлений с использованием записи обычных высокочувствительных сейсмостанций.



Рисунок 8. Зависимость параметра A/V от расстояния

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Хайдаров М.С. и др. Методы и перспективы мониторинга оползневых явлений//Отчет ГУ «Казселезащита», Алматы. 2004.
- Запольский К.К. Частотно-избирательные сейсмические станции ЧИСС//Экспериментальная сейсмология. М.: Наука, 1971. - С. 20 - 36.

### КӨШКІНДЕРДІҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖАЗБАЛАРЫН СӘЙКЕСТЕНДІРУ

### ¹⁾Соколова И.Н., ²⁾Шепелев О.М.

¹⁾КР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Қазқстан, Курчатов ²⁾ҚР ТЖМ «Казселқорғау» ББ «Прогноз» ҒӨК, Алматы, Қазақстан

Солтүстік Тянь-Шаньда орналасқан Талғар сейсмикалық станциясының жазбалры бойынша Алатау тауалдында өтетін көшкін құбылыстарын сәйкестендіру үшін бірмәнді критерийлер анықталған. Көшкіндердің сейсмикалық жазбаларының динамикалық сипаттамалары қаралған. 2004 ж. көктемде көшкіндер саны шұғыл өсуін шарттаған факторлер зерттелген.

### IDENTIFICATION OF LANDSLIDE SEISMIC RECORDS

¹⁾I.N. Sokolova, ²⁾O.M Shepelev

¹⁾Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan ²⁾Scientific Forecasting Center, Head Management "Kazselezaschita" Emergency Agency of RK, Almaty, Kazakhstan

Criteria for identification of landslides occurred in foothills of Zailiy Alatau were found using records of Talgar seismic station located in Northern Tien Shan. Dynamical characteristics of landslide seismic records were considered. Factors induced sharp increase of landslide numbers in spring of 2004 were studied.

## ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ БЕЛЯШОВ (1940 -2003)

8 октября 2005 г. день памяти Дмитрия Николаевича Беляшова, доктора

геолого-минералогических наук, действительного члена Международной Академии информатизации, сотрудника Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан.

Дмитрий Николаевич родился 5 ноября 1940 г. в городе Пермь. Закончив геологоразведочный факультет Казахского политехнического института в 1964 г., он начал активную трудовую деятельность в должности младшего научного сотрудника этого же института. Основное направление деятельности Дмитрия Николаевича было связано с математизацией и автоматизацией геологических исследований. Некоторые результаты этих исследований легли в основу кандидатской диссертации, успешно защищенной им в 1969 г. В 1974 г. Дмитрию Николаевичу было присвоено научное звание – старший научный сотрудник.

В 1970-1994 гг. он работал в Казахском научноисследовательском институте разведочной геофизики (КазНИИГеофизика, КазВИРГ), где прошел путь от старшего научного сотрудника до заместителя директора по научной работе. Теоретические исследования, выполненные Дмитрием Николаевичем в этот период, явились основой для создания нового научного направления - компьютерной технологии нового поколения для оперативного решения геологических задач - региональных, поисковых, разведочных. В рамках этого направления была разрабоконцепция гибридной интеллектуальной тана информационно-вычислительно-экспертной системы. Созданная под его руководством информационно-вычислительная система АСОД-Прогноз, являяется прообразом систем нового поколения. Она широко использовалась во многих научных и производственных геологических организациях стран СНГ и дальнего зарубежья (Венгрия, Монголия) с высокой геологической и экономической эффективностью, с прогнозными оценками, подтвержденными бурением и результатами подсчета запасов, принятыми ГКЗ СССР.

В 1991 г. Дмитрий Николаевич защитил докторскую диссертацию, а в 1994 г. был избран действительным членом Международной Академии информатизации.

С 1994 г. по 2000 г. он работал в Институте геофизических исследований НЯЦ РК в должности заместителя директора по научной работе. Здесь он руковогеолого-геофизическими исследованиями в дил составе Республиканской целевой научно-технической программы и другими работами по изучению и мониторингу геологических структур бывших ядерных полигонов, металлогеническими исследованиями, разработкой современных методов обработки геофизической информации (нейронные сети при идентификации подземных ядерных взрывов, топологический метод анализа площадных загрязнений территории бывших ядерных полигонов и др.).

С 2000 г Дмитрий Николаевич являлся генеральным директором Института естественных наук. Обладая разносторонними научными интересами, Дмитрий Николаевич помимо решения геолого-геофизических проблем, внес существенный вклад в развитие программ по серокомпозиционным материалам и в становление серобетонной индустрии в Казахстане.

Результаты научной деятельности Дмитрия Николаевича отражены в 200 публикациях, они были широко представлены на международных и республиканских форумах. Его доклады на международных симпозиумах «Горнорудный Пржибрам» в 1985 г. и 1989 г. удостоены высших наград симпозиумов – большой серебряной медали. Настоящий ученый преданный и влюбленный в свое дело, Дмитрий Николаевич щедро делился знаниями с молодежью. Под его руководством подготовлено и защищено несколько кандидатских диссертаций. Его ученики продолжают работать в организациях Казахстана, России, Австралии, Германии и Канады.

Для тех, кому довелось работать в коллективе, возглавляемом Дмитрием Николаевичем, он был, прежде всего, Учителем. У него можно было учиться всему – науке, профессии, жизни, отношению к людям. Он никого не оставлял равнодушным. Все, кто хоть раз общался с ним, запомнили его навсегда. Его дом был всегда открыт для многочисленных друзей и добрых знакомых. Истинный интеллигент, деликатный человек, щедрый руководитель, обаятельный мужчина – таким он останется в памяти тех, кому посчастливилось с ним работать.

Задача тех, кто работал с Дмитрием Николаевичем и продолжает работать – сохранить и продолжить то, что сделал, и что не успел сделать Дмитрий Николаевич.

Коллеги, друзья, ученики

Ан В.А., 41 Аристова И.Л., 62 Барриентос С.П., 5, 15 Годунова Л.Д., 41 Голубов Б.Н., 73 Гордиенко Д.Д., 35, 122 Гоу Р.Г., 21 Девез П., 21 Дроздов А.В., 95 Еманов А.Ф., 127 Жемчугова И.В., 101 Каазик П.Б., 41

# СПИСОК АВТОРОВ

Кабайлов А.Н., 95 Комаров И.И., 35 Копничев Ю.Ф., 122, 147 Кунаков А.В., 35 Лескова Е.В., 127 Лисейкин А.В., 101 Михайлова Н.Н., 41, 62, 142 Мохтари М., 29 Нусипов Е.Н., 160 Овчинников В.М., 41 <u>Оспанов А.Б.</u>, 109, 160 Полешко Н.Н., 142 Рахымбаев М.М., 160 Рудаков А.Д., 127 Селезнев В.С., 101 Синева З.И., 46 Смирнов А.А., 53 Соколова И.Н., 122, 147, 165 Соловьев В.М., 101 Старовойт Ю.О., 15 Стромов В.М., 95 Ужкенов Б.С., 156 Филина А.Г., 127 Шепелев О.М., 165 Ярыгина М.А., 127

## 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 A4 (210×297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 25 мм; справа 15 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi).

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков. Текст печатается через один интервал, между абзацами 2 интервала.

В левом верхнем углу должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами. Через 3 интервала после названия, печатаются фамилии, имена, отчества авторов и полное наименование, город и страна местонахождения организации, которую они представляют. После этого, отступив 3 интервала, печатается основной текст.

### При написании статей необходимо придерживаться следующих требований:

- статья должна содержать аннотации на казахском, английском и русском языках (130-150 слов) с указанием названия статьи, фамилии, имени, отчества авторов и полного названия, города и страны местонахождения организации, которую они представляют;
- ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных [1] скобках по мере упоминания. Список литературы следует привести по ГОСТу;
- иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере или в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата А4. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка;
- математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation. Химические формулы и символы должны быть набраны при помощи инструментов Microsoft Word. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

### К статье прилагаются следующие документы:

- рецензия высококвалифицированного специалиста (доктора наук) в соответствующей отрасли науки;
- выписка из протокола заседания кафедры или методического совета с рекомендацией к печати;
- на отдельном листе автор сообщает сведения о себе: фамилия, имя, отчество, ученая степень, должность, кафедра и указывает служебный и домашний телефоны, адрес электронной почты.

Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован. В конце статья должна быть подписана автором с указанием домашнего адреса и номеров служебного и домашнего телефонов, адрес электронной почты.

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

**Ответственный секретарь** к.ф.-м.н. М.К. Мукушева тел. (095) 745-54-04, (322-51) 2-33-35, E-mail: MUKUSHEVA@NNC.KZ

> **Технический редактор** А.Г. Кислухин тел. (322-51) 2-33-33, E-mail: KISLUHIN@NNC.KZ

Адрес редакции: 490060, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.

© Редакция сборника «Вестник НЯЦ РК», 2001.

Регистрационное свидетельство №1203-Ж от 15.04.2000г. Выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Тираж 300 экз.

Выпуск набран и отпечатан в типографии Национального ядерного центра Республики Казахстан 490060, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.

