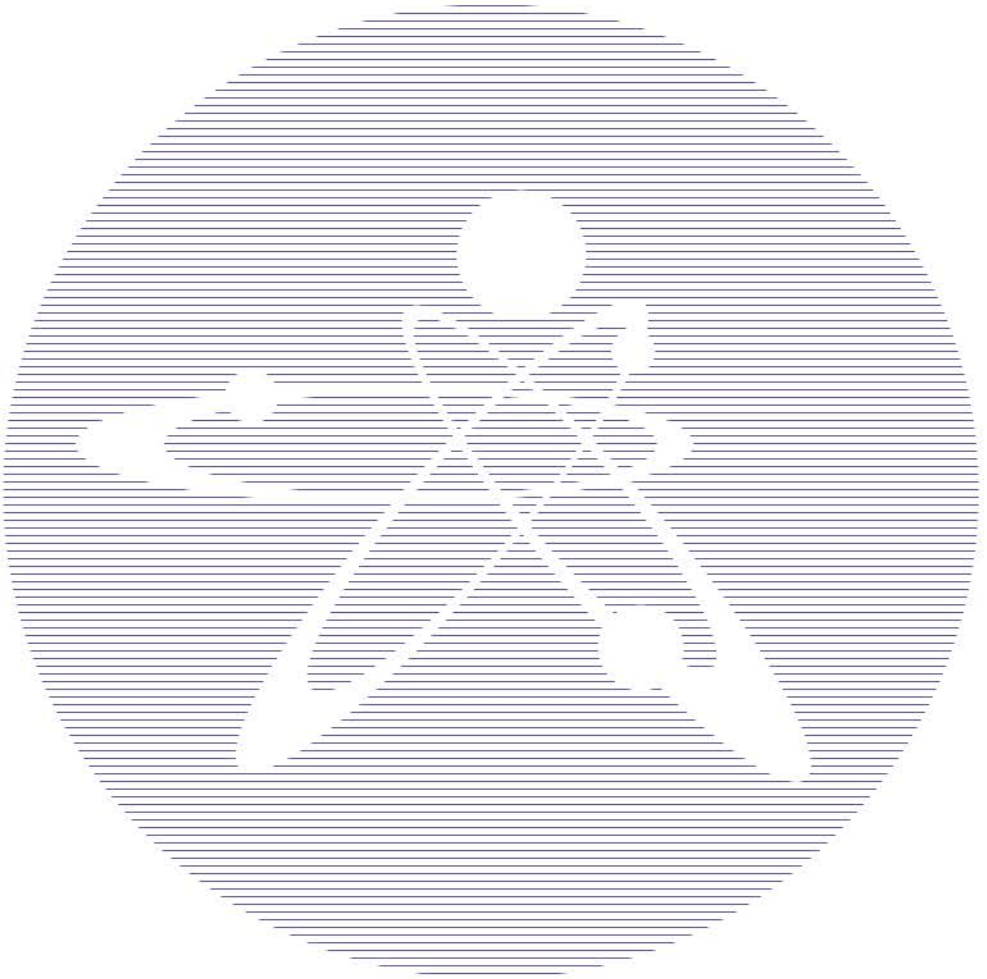
2013
ВЫПУСК 2
ISSN 1729-7516

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ISSN 1729-7516

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 2(54), ИЮНЬ 2013

Издается с января 2000 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – д.ф.-м.н. БАТЫРБЕКОВ Э.Г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р. – **заместитель главного редактора,**
д.т.н. БАТЫРБЕКОВ Г.А., БЕЛЯШОВА Н.Н., к.ф.-м.н. ВОЛКОВА Т.В., к.б.н. КАДЫРОВА Н.Ж.,
д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К., к.ф.-м.н. КЕНЖИН Е.А., к.ф.-м.н. КОЗТАЕВА У.П., д.ф.-м.н. КОПНИЧЕВ Ю.Ф.,
д.г.-м.н. КРАСНОПЕРОВ В.А., ЛУКАШЕНКО С.Н., д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н.,
д.г.-м.н. НУРМАГАМБЕТОВ А.Н., д.б.н. ПАНИН М.С., к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е.,
д.т.н. САТОВ М.Ж., д.ф.-м.н. СКАКОВ М.К., д.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П.

ҚР ҰЯО Жаршысы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

2(54) ШЫҒАРЫМ, МАУСЫМ, 2013 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

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

ISSUE 2(54), JUNE 2013

Периодический научно-технический журнал «Вестник НЯЦ РК», решением Комитета по надзору и аттестации в сфере науки и образования включен в перечень изданий, рекомендованных для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций:

- **по физико-математическим наукам,**
- **по специальности 25.00.00 – науки о Земле.**

В журнале представлены материалы **VII Международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий»** (06-10 августа 2012 г., Курчатов, Казахстан).

СОДЕРЖАНИЕ

ОДВЗЯИ: УКРЕПЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЕРИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
Калиновски М. 5

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЙ ЯДЕРНОГО МОНИТОРИНГА
Синёва З.И., Михайлова Н.Н. 12

О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ПОДЗЕМНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ В ПРИЭЛЬБРУСЬЕ
Ковалевский В.В. 18

НОВАЯ ИНФРАЗВУКОВАЯ ГРУППА «КУРЧАТОВ»
Беляшов А.В., Донцов В.И., Дубровин В.И., Кунаков В.Г., Смирнов А.А. 24

МЕТОДЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ЗАПИСЕЙ В СТАЦИОНАРНЫХ И МОБИЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУППАХ
Башилов И.П., Волосов С.Г., Королёв С.А., Николаев А.В. 31

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ СЕТИ KRNET
Першина Е.В., Берёзина А.В. 40

АРХИВ АНАЛОГОВЫХ СЕЙСМОГРАММ КЫРГЫЗСТАНА ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ
Берёзина А.В., Першина Е.В., Вольхина Е.Т. 44

УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЛАБЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ СЕЙСМОГРАММ
Соколова И.Н., Великанов А.Е. 49

ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОБЕГА ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ *P* НА ТРАССЕ НЕВАДСКИЙ ПОЛИГОН – СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ ИУЛЬТИН, СЕЙМЧАН, БОДАЙБО, ЗАКАМЕНСК
Ан В.А., Годунова Л.Д., Каазик П.Б. 56

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕН ВСТУПЛЕНИЙ И АМПЛИТУД РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ФАЗ ПО ДАННЫМ БЮЛЛЕТЕНЕЙ REB И KNDC
Синёва З.И., Михайлова Н.Н. 64

МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ КАК КРИТЕРИЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ВЗРЫВОВ
Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. 72

ИЗУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА
Великанов А.Е., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Аристова И.Л., Мукамбаев А.С. 77

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В ЛИТОСФЕРЕ НЕВАДСКОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА
Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н., Соколов К.Н. 86

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СИП ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКОВ БАЛАПАН И САРЫ-УЗЕНЬ)
Шайторов В.Н., Казакова Ю.И., Великанов А.Е., Жолдыбаев А.К. 94

ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЛОКА ЗЕМНОЙ КОРЫ УЧАСТКА БАЛАПАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА УГОЛЬНОМ КАРЬЕРЕ КАРАЖЫРА
Беляшов А.В., Шайторов В.Н., Русинова Л.А., Ларина Т.Г., Шелехова О.Х. 104

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧАГОВЫХ ЗОН ПЯВ ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ
Шайторов В.Н., Беляшов А.В., Казакова Ю.И., Ефремов М.В., Жолдыбаев А.К., Ларина Т.Г., Утегенова М.А. 110

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ СЕТИ МОНИТОРИНГА ИС НАН КР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОПОЛЗНЕЙ
Кальметьева З.А., Берёзина А.В., Молдобекова С.К., Торгоев И.А. 116

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ ПРИЕМНИКИ И ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
Мариненко В.А., Максимов Е.М., Шевченко В.П. 121

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ
Яковенко А.М. 128

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР СЕЙСМИЧНОСТИ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ НА ПЕРИФЕРИИ ТИХОГО ОКЕАНА
Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. 131

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ХАРАКТЕР НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СЛАБОСЕЙСМИЧНЫХ РАЙОНАХ КАЗАХСТАНА
Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. 140

О НЕОБЫЧНОМ БАКАНАССКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 1979 Г. В КАЗАХСТАНЕ (MW=5,7)
Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. 154

О РАБОТЕ МЕЖДУНАРОДНОГО УЧЕБНОГО ЦЕНТРА « СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЦИФРОВЫХ ЗАПИСЕЙ В ПОДДЕРЖКУ ОДВЗЯИ»
Михайлова Н.Н., Аристова И.Л. 161

МОЯ ПОЕЗДКА В КУРЧАТОВ
Рейтерер М. 165

НООСФЕРА ВЕРНАДСКОГО И ЧТО ДАЁТ ЗНАНИЕ О НЕЙ ДЛЯ БУДУЩЕГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА
Васильев А.П. 170

СПИСОК АВТОРОВ 174

УДК 621.039.504

ОДВЗЯИ: УКРЕПЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЕРИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Калиновски М.

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

Описана Международная система мониторинга (МСМ) на завершающей стадии ее создания, тенденция объединения региональных и других глобальных сетей со станциями МСМ, позволяющая эффективно использовать современные технологические достижения, роль систематических конференций для мирового научного сообщества, а также роль большого числа технических семинаров для совершенствования опыта и знаний специалистов, связанных с развитием системы верификации.

Создание международной системы мониторинга (МСМ) почти полностью завершено, и на постоянной основе ведется сбор сейсмических, гидроакустических, инфразвуковых и радионуклидных данных от 321 станции и 16 радионуклидных лабораторий, расположенных по всему земному шару. Главной целью этих четырех сенсорных сетей является своевременное осуществление контроля за соблюдением положений Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). По данным на июль 2012 г., ДВЗЯИ подписали 183 государства, 123 из них уже учредили Национальные центры данных (НЦД). Для того чтобы поддержать больше государств-участников в создании НЦД и увеличить возможности развития НЦД, Временный технический секретариат (ВТС) реализует программу по укреплению потенциала. Основные цели Подготовительной комиссии Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний - оказывать техническую помощь государствам – участникам при выполнении ими своих функций как поставщиков и пользователей данных Международной системы мониторинга (МСМ), а также пользователей продуктов Международного центра данных (МЦД).

Роль и компетенция Международного центра данных определены в Договоре и Протоколе к нему (части 20 и 23): «Международный центр данных предоставляет государствам-участникам открытый, равный, своевременный и удобный доступ ко всем данным первичным или обработанным - Международной системы мониторинга, ко всем продуктам Международного центра данных и ко всем другим данным Международной системы мониторинга в архиве Международного центра данных или через Международный центр данных к данным объектов Международной системы мониторинга. Методы обеспечения доступа к данным и предоставления данных включают следующие услуги:

а) автоматическое и регулярное направление государству-участнику продуктов Международного центра данных или их отбор по усмотрению государства-участника и по соответствующему запросу подборку данных Международной системы мониторинга по усмотрению государства-участника;

б) предоставление данных или продуктов, выработанных по специальным запросам государств-участников относительно выборки данных и продуктов из архивов Международного центра данных и объектов Международной системы мониторинга, включая интерактивный электронный доступ к базе данных Международного центра данных;

в) оказание содействия отдельным государствам-участникам по их запросу и при разумных усилиях безвозмездно с использованием экспертного технического анализа данных Международной системы мониторинга и других соответствующих данных, предоставленных запрашивающим государством-участником, с тем чтобы помочь соответствующему государству-участнику в идентификации источника конкретных явлений. Результат любого такого технического анализа считается продуктом запрашивающего государства-участника, но находится в распоряжении всех государств-участников…».

По состоянию на 2012 г. 121 государство – подписанты ДВЗЯИ, имеют гарантированный доступ к данным МСМ и продуктам МЦД, 88 стран, имеющих доступ, не все в полной мере используют данные МСМ и продукты МЦД, 61 страна не имеет доступа к этим данным. Всего насчитывается 1309 авторизованных пользователей данными МСМ и продуктами МЦД (рисунок 1, таблица 1).

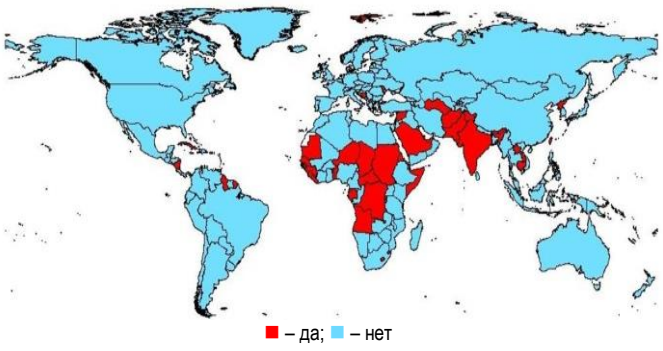


Рисунок 1. Авторизованные пользователи данных МСМ и продуктов МЦД

Таблица 1. Сведения о доступе к данным МСМ и продуктам МЦД для стран, подписавших ДВЗЯИ

Регион	SSA	SS's	No SSA
Африка	25	51	26
Латинская Америка и Карибский регион	22	31	9
Северная Америка и Западная Европа	21	28	7
Восточная Европа	20	23	3
Юго-восточная Азия, Тихоокеанский регион и Дальний Восток	17	28	11
Средний Восток и Южная Азия	15	21	6
ВСЕГО	**120**	**182**	**62**

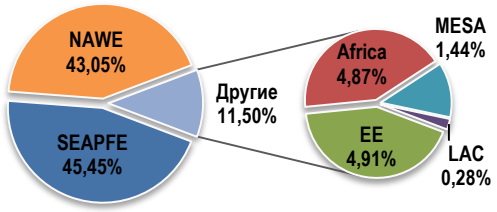
Примечание: SSA (Secure Signatory Account) – доступ с защищенным учетным кодом, SS's – ограниченныq доступ; No SSA – без доступа

В ОДВЗЯИ обеспечено 4 способа доступа к данным МСМ и продуктам МЦД: по автоматическому запросу AutoDRM (The Automatic Data Request Manager), по подписке (Subscriptions), через веб -сервер (Web Server), через базу данных МЦД (IDC Databases), (рисунок 2).

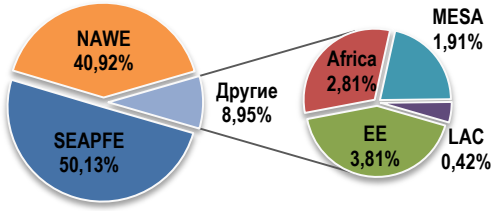


Рисунок 2. Четыре способа доступа к данным МСМ и продуктам МЦД

Достигнутый успех измеряется объемом и областями применения данных МСМ и информационных продуктов МЦД. Общий объем данных, распространенных среди государств-участников ДВЗЯИ, имеющих к ним доступ, за 2011 и 2012 гг. (январь - май) приведен в таблице 2 и на рисунке 3.



а – 2011 г.



б – 2012 г.

LAC – Латинская Америка и Карибский регион; MESA – Средний Восток и Южная Азия; EE – Восточная Европа; Africa – Африка; NAWE – Северная Америка и Западная Европа; SEAPFE – Юго-восточная Азия, Тихоокеанский регион и Дальний Восток

Рисунок 3. Количество пользователей и объемов данных МСМ и продуктов МЦД, распространенных по регионам мира

В 2012 г. 30 из 121 государств с защищенным учетным кодом доступа использовали 92.0% всех данных МСМ и продуктов МЦД; при этом 88 из них, также с защищенным учетным кодом доступа, использовали ограниченный объем данных МСМ и продуктов МЦД. В таблице 3 приведен сведения о объемах данных, переданных в страны различных регионов мира в 2012 г. (январь – май).

Таблица 2. Общий объем данных по регионам. 2012 г.

Регион		LAC	MESA	EE	Africa	NAWE	SEAPFE	ВСЕГО
Общий	Гб	19.77	90.53	180.46	133.36	1,938.57	2,374.81	4,737.47
	%	0.42	1.91	3.81	2.81	40.92	50.13	100.00
Кол-во пользователей		139	166	166	287	318	252	1328

Примечание: LAC – Латинская Америка и Карибский регион; MESA – Средний Восток и Южная Азия; EE – Восточная Европа; Africa – Африка; NAWE – Северная Америка и Западная Европа; SEAPFE – Юго-восточная Азия, Тихоокеанский регион и Дальний Восток.

Таблица 3. Общий объем данных МСМ продуктов МЦД, переданных в регионы в 2012 г. (январь – май)

№	Африка (26)	Лат. Америка – Карибы (22)	Вост. Европа (20)	Средн. Восток, Южн. Азия (15)	Сев. Америка, Зап. Европа (21)	Юго-восточная Азия, Тихоокеанский регион и Дальний Восток (17)
1	Тунис 43.8%	Коста Рика 37.1%	Россия 76.9%	Казахстан 48.7%	США 42.1%	Япония 75.0%
2	Нигер 13.3%	Парагвай 19.3%	Украина 13.0%	Оман 23.9%	Франция 13.2%	Китай 11.1%
3	Египет 11.3%	Доминиканская Республика 20.0%	Болгария 7.3%	Израиль 12.6%	Голландия 12.7%	Австралия 10.0%
4	Кения 7.2%	Гватемала 12.2%	Польша 1.7%	Шри-Ланка 9.5%	Австрия 11.7%	Индонезия 5.7%
5	Кот-д'Ивуар 7.1%	Бразилия 7.0%	Чехия 0.8%	Иран 3.9%	Великобритания 6.4%	Монголия 2.4%
ИТОГО	82.8%	88.4%	99.7%	98.7%	86.1%	96.8%
% от общего объема	2.3%	0.3%	3.8%	1.9%	35.2%	48.5%

Среди подписантов ДВЗЯИ 61 государство пока не имеет гарантированного доступа к данным МСМ и продуктам МЦД, и они составляют целевую группу для реализации в последующие годы программы по наращиванию потенциала. В эту группу входят:

- Африка (25) – Ангола, Бенин, Бурундия, Габон, Гамбия, Гвинея, Гвинея-Биссау, ДР Конго, Кабо-Верде, Коморские острова, Лесото, Либерия, Мавритания, Нигер, Руанда, Сан-Томе и Принсипи, Сенегал, Сейшельские острова, Сьерра Леоне, Судан, Свазиленд, Того, ЦАР, Экваториальная Гвинея, Эритрея;
- Латинская Америка и Карибы (9) – Антигуа и Барбуда, Багамы, Гайана, Гренада, Никарагуа, Санта-Люсия, Сент-Китс и Невис, Сент-Винсент и Гренадины, Тринидад и Тобаго;
- Восточная Европа (3) – Босния и Герцеговина, Молдова, Македония;
- Средний восток, Южная Азия (6) – Афганистан, Бахрейн, Катар, Мальдивы, ОАЭ, Туркменистан;
- Северная Америка, Западная Европа (7) – Андорра, Ватикан, Лихтенштейн, Люксембург, Мальта, Монако, Сан-Марино;
- Юго-Восточная Азия, Тихоокеанский регион и Дальний восток (11) – Бруней Даруссалам, Камбоджа, Микронезия, Науру, Острова Кука, Острова Палау, Кирибати, Лаосская Народная Демократическая Республика, Сингапур, Тимор-Лесте, Фиджи.

Целевой группой для наращивания потенциала ДВЗЯИ являются также те 88 государств из 121 с защищенным учетным кодом доступа, о которых упомянуто выше как о государствах, которые используют ограниченный объем данных МСМ и продуктов МЦД.

Укрепление потенциала НЦД

Временный технический секретариат (ВТС) проводит активную деятельность по оказанию поддержки и укреплению потенциала Национальных центров данных. В частности, в Африке, Латинской Америке, Юго-Восточной Азии, в Тихоокеанском регионе и на Дальнем Востоке эта деятельность ведется путем подготовки персонала, предоставления экспертов и основного оборудования с целью обеспечения для персонала НЦД технических возможностей в получении доступа и использовании данных МСМ и продуктов МЦД. ВТС содействует также изучению потребностей и сферы интересов, сотрудничеству между НЦД, сбору и применению получаемых данных и продуктов. В поддержку государств, подписавших ДВЗЯИ, проводятся семинары, обучаются операторы станций; предоставляются программное обеспечение и техническая поддержка на месте, проводятся другие мероприятия, включая подготовительные курсы для аналитиков и обмен опытом и знаниями.

В конце 2009 г. была введена в предварительную эксплуатацию система электронного обучения. При поддержке Европейского союза и благодаря предоставленным им средствам увеличено количество курсов по сравнению с первоначально запланированным. Уже к концу 2010 г. разработано 26 курсов, 12 из которых были переведены на официальные языки ООН. В частности, разработаны и переведены на другие языки следующие электронные версии для обучения персонала НЦД, МСМ, ИНМ, персонала ВТС: 1) Анализ и обзор ДВЗЯИ; 2) Реализация в национальном масштабе; 3) Феноменология ИНМ; 4) Сейсмический мониторинг; 5) Гидроакустический мониторинг; 6) Инфразвуковой мониторинг; 7) Радионуклидный мониторинг; 8; Стандартное программное обеспечение; 9) Обработка сейсмоакустических и инфразвуковых данных в МЦД; 10) Обработка радионуклидных данных в МЦД; 11) Ключевые методы и технологии ИНМ; 12) Работа сети МСМ; 13) Управление конфигурацией; 14) Логистическая поддержка; 15) Данные МСМ и продукты МЦД; 16) Доступ к данным МСМ и продуктам МЦД; 17) Создание и работа НЦД; 18) Basic Linux; 19) Техническое обслуживание станций МСМ; 20) Логика поиска ИНМ; 21) Ознакомление с ИНМ (внедрение существующего курса); 22-а) Основы радиологии; 22-б; Биологические воздействия и радиационные пределы; 22-в) Персональное оборудование для мониторинга и детектирования; 22-г) Управление рисками и оперативное реагирование; 22-д) Итоговая оценка радиационной безопасности; 23) Обзор деятельности МСМ; 24) Обзор деятельности МЦД; 25) Обзор деятельности ИНМ; 26) Обзор деятельности ADM (Администрации).

Созданная система электронного обучения используется для подготовки технического персонала НЦД, операторов станций, и инспекторов ИНМ. Ее модули доступны для уполномоченных пользователей, операторов станций, инспекторов ИНМ и персонала ВТС.

Организованы семинары по развитию региональных НЦД, которые предусматривают:

- Укрепление знаний о назначении Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) и работе Подготовительной Комиссии.
- Дальнейшее укрепление потенциала стран, подписавших Договор, для участия в реализации верификационного режима и оценки того, как пользователи используют данные МСМ и продукты МЦД в гражданских и научных целях.
- Поощрение и помощь в обмене опытом и знаниями между НЦД, созданными в рамках Проекта по укреплению потенциала, относительно работы и технического обслуживания Национального центра данных.

На средства из регулярного бюджета закуплено несколько комплектов оборудования для создания надлежащей технической инфраструктуры в НЦД. Это оборудование поставлено в ряд НЦД – Вьетнам, Перу, Тунис, Кот-д'Ивуар и др. (рисунок 4).



а – Вьетнам

б – Перу

в – Тунис

г – Кот-д'Ивуар

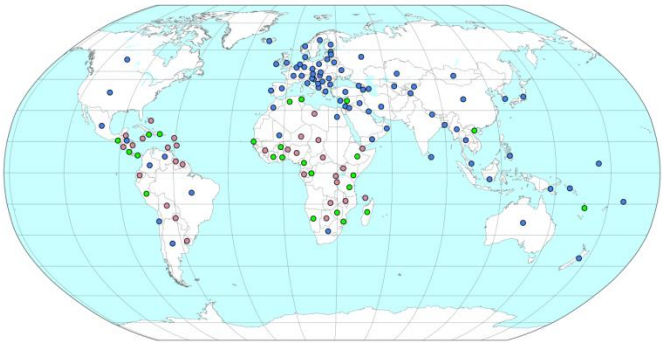
Рисунок 4. Поставка оборудования

УКРЕПЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ГАРАНТИРОВАННОГО ДОСТУПА К ДАННЫМ МСМ И ПРОДУКТАМ МЦД (SSA)

Создание и укрепление НЦД в странах подписавших Договор проводятся с целью повысить эффективность использования данных МСМ и продуктов МЦД для решения верификационных задач и задач в гражданской и научных сферах. На рисунке 5 показано состояние действующих и планируемых к созданию систем, обеспечивающих использование данных, получаемых в рамках ДВЗЯИ.

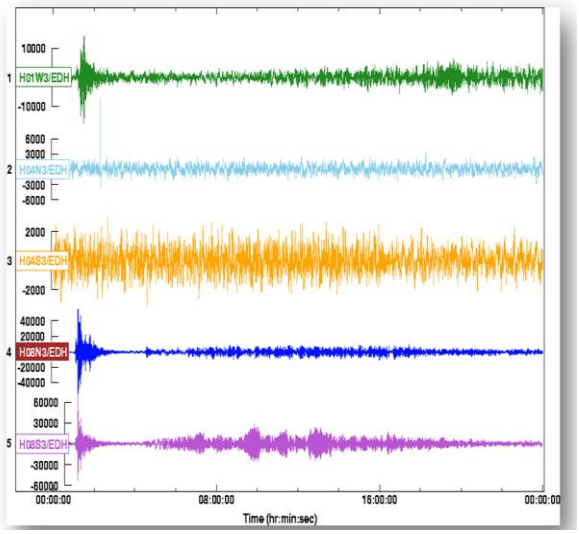
В международном центре данных ведутся работы по конвертированию и обновлению программного обеспечения, что позволило использовать его в системах с открытым исходным кодом (Linux). Протестировано и используется с 2010 г. в оперативной работе программное обеспечение для обработки записей волновых форм. Новое программное обеспечение, разработанное для анализа данных со станций радионуклидного мониторинга и со станций мониторинга благородных газов прошло тестирование с хорошим результатом и введено во временную эксплуатацию с 2011 г. С февраля 2010 г. введен в эксплуатацию рутинный анализ инфразвуковых данных, продолжаются работы по повышению качества автоматического обнаружения инфразвуковых явлений.

Национальным центрам данных ВТС предоставляет пакет программного обеспечения NDC-in-a-box («НЦД в коробке»), который обеспечивает возможность получать, обрабатывать и анализировать данные мониторинга (рисунок 6).

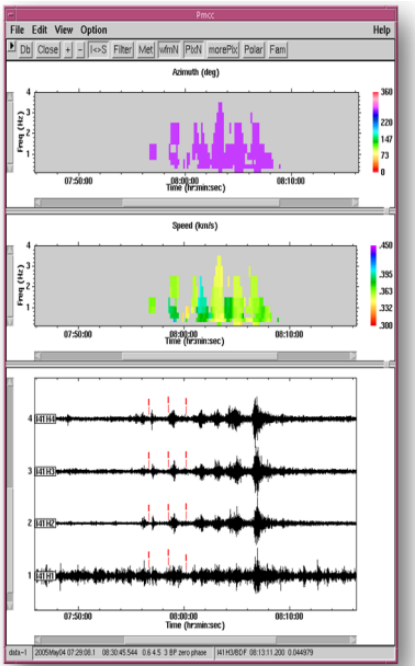


– действующие системы (24 по состоянию на 9 июля 2012 г.);
– системы, планируемые к созданию (30 по состоянию на 9 июля 2012 г.);
– страны, имеющие аккаунт с защищенным доступом к данным

Рисунок 5. Действующие и планируемые к созданию системы для использования данных, получаемых в рамках ДВЗЯИ



а – волновые формы сигналов



б – результаты применения программы, реализующей метод прогрессивной многоканальной корреляции

Рисунок 6. Пример данных, доступных в МЦД для стран-подписантов ДВЗЯИ

Стандартный пакет программного обеспечения позволяет эффективно использовать данные МСМ и продукты МЦД для решения верификационных задач и задач в гражданской и научной сферах.

Для всех регионов в 2012 г. проведен Курс подготовки аналитиков НЦД (4 недели) в г. Вена. Создан и запущен интернет-форум (рисунок 7), посвященный НЦД (http://eng.ctbto.org/display/NDC). Цель его – обеспечить оперативный обмен информацией и опытом между национальными центрами данных, а также между персоналом НЦД и персоналом МЦД.

Проводятся ежегодные встречи между специалистами НЦД для обмена опытом и знаниями: Пекин, КНР, май 2009; Найроби, Кения, октябрь 2010; Бухарест, Румыния, октябрь 2011; Асунсьон, Парагвай, 1-5 октября 2012.

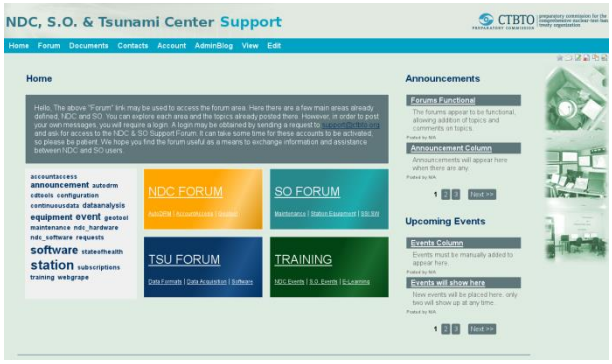


Рисунок.7. Стартовая страница веб-сайта, посвященного НЦД

Ежегодно ВТС организует широкий круг мероприятий для повышения компетентности операторов станций. Подготовлены пособия по МСМ и МЦД, которые используются при базовой подготовке, на периодических курсах, а также в процессе обмена опытом.

Образовательной платформой ОДВЗЯИ является сайт https://cdi.ctbto.org/elearning.

ПОЛЕВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

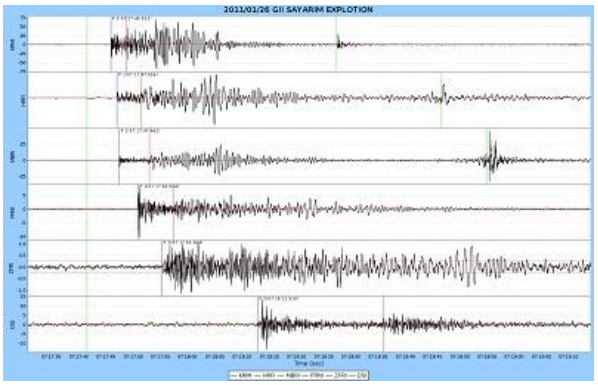
ОДВЗЯИ совместно со странами-участниками Договора проводят полевые эксперименты для научного изучения различных феноменов. Например, в январе 2011 г. на полигоне Саярим в пустыне Негев (Израиль) проведен Глобальный инфразвуковой калибровочный эксперимент (рисунок 8). С целью изучения и лучшего понимания формирования и распространения инфразвука и того, как обрабатывать его сигналы, ВТС координировал проведение двух поверхностных взрывов мощностью в 10 и 100 тонн, а также временное размещение по всему региону инфразвуковых датчиков для регистрации сигналов в широком диапазоне расстояний. Работы по развертыванию временных датчиков на площадках в 13 странах осуществляли партнеры из 20 государств, подписавших Договор. При проведении более мощного взрыва метеорологические условия благоприятствовали активному распространению сигналов в северо-восточном направлении, которые удалось обнаружить на инфразвуковых станциях МСМ на удалении до 6400 км от места взрыва.



а – подготовленное взрывчатое вещество



б – поверхностный взрыв



в – инфразвуковые записи взрыва

Рисунок 8. К проведению глобального инфразвукового калибровочного взрыва на полигоне Саярим в пустыне Негев (Израиль), 2011 г.

Проведение учений по оценке готовности НЦД в 2012 году (NPE12)

В 2012 г. проведены учения по оценке готовности Национальных центров данных. Цель учений - повысить степень готовности и оперативности НЦД при исполнении своих обязанностей по ДВЗЯИ и отработать собственные процедуры. МЦД оказал поддержку при проведении этих учений, организовав доступ в МЦД:

- на веб-сайте (бюллетени с данными за 11-дневный период с 9 по 19 мая 2012 г.; программные компоненты NDC-in-a-box,WebGrape 1.7 и srsget 0.09; документация);
- для загрузки в рамках srsget и WebGrape (поля SRS из МЦД и WMO RSMCs по запросу МЦД);
- на DVD по запросу (WebGrape 1.7 с полями SRS на псевдооперационной системе).

Технические семинары и научные конференции

Для того чтобы донести свои основные принципы работы до мирового научного сообщества, ОДВЗЯИ регулярно проводит конференции в сфере науки и технологий. Эти междисциплинарные научные конференции привлекают ученых и экспертов из широкого круга технологий, национальных учреждений, участвующих в работе ДВЗЯИ независимых академических и исследовательских учреждений. Члены дипломатического сообщества, международных СМИ и гражданского общества также проявлять активный интерес к конференциям. Так, в 2009 (10 – 12 июня) проведена конференция под названием «Международная научная конференция исследований (ISS09)». Тематика предусматривала оценку способности и готовности ДВЗЯИ для обнаружения ядерных взрывов в любой точке планеты, а также для дальнейшего развития сотрудничества между научным сообществом и Подготовительной комиссией ОДВЗЯИ.

В 2011 (8 – 10 июня) проведена конференция по тематике: «Наука и технологии», в 2013 г. (17 - 20 июня) по тематике: «Земля как комплексная система. События и их характеризация. Достижения в разработке сенсоров, развитии сетей и в обработке данных».

Заключение

ОДВЗЯИ продолжает обеспечивать техническое обслуживание и оказывать техническую помощь на объектах Международной системы мониторинга, расположенных по всему миру. Достигнут прогресс на пути создания всех четырех технологий (сейсмической, инфразвуковой, гидроакустической, радионуклидной) - выполнен монтаж новых объектов, в результате чего в 2012 г. их число возросло до 321 станций и 16 радионуклидных лабораторий; выросло число сертифицированных станций, в целом улучшился охват станциями территорий и устойчивость сети. В Международном центре данных введен в действие инфразвуковой мониторинг и усилены возможности моделирования атмосферного переноса, введен в действие мониторинг благородных газов; конвертировано и обновлено программное обеспечение. Подготовительная комиссия выступила с новой инициативой о развитии потенциала в государствах, подписавших ДВЗЯИ, правовых, технических и научных задач.

Подготовительная комиссия выражает признательность тем, кто внес свой вклад в успешную реализацию ее программ: а именно:

- ЕС за оказание поддержки Проекту электронного (дистанционного) обучения и Проектам по укреплению потенциала;
- странам за организацию курсов по подготовке и повышению квалификации специалистов, а также за их постоянную поддержку своих операторов станций и технического персонала НЦД, обеспечивающих своевременную регистрацию и участие в тренинг-курсах;
- специалистам Временного технического секретариата;
- операторам станций и персоналу НЦД за содействие ВТС в заблаговременном определении образовательных требований и прилежное участие.

ЯСБТШ: ӘЛЕУЕТТІ ЖӘНЕ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ВЕРИФИКАЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕНІ НЫҒАЙТУ

Калиновски М.

Ядролық сынақтарын абәрін қамтитын тыйым салу туралы шартының ұйымы, Вена, Австрия

Құрудың соңғы кезеңіндегі халықаралық мониторингі (ХМЖ) жүйесі, қазіргі кездегі технологиялық жетістіктерді тиімді пайдалануға мүмкіншілік беретін аймақтық және басқа глобаль желілерді біріктіру тенденциясы, дүниежүзілік ғылыми қоғамдық үшін жүйелі түріндегі конференциялардың ролі, сондай-ақ верификация жүйесін дамытумен айналысатын мамандардың тәжірибесі мен білімдерін жетілдіру үшін техникалық семинарлардың үлкен санының ролі сипатталған.

CTBTO: CAPACITY BUILDING OF THE INTERNATIONAL VERIFICATION SYSTEM

M. Kalinowski

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

The International Monitoring System (IMS) in the finalizing phase of its construction – integration of regional and other global networks hosting IMS stations to effectively use advanced technologies is described, as well as the role of systematic conferences for the world scientific community, and a role of a large number of technical workshops and training courses to exchange experience and improve knowledge of the experts in field of verification efforts.

УДК 550.344:621.039.9

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЙ ЯДЕРНОГО МОНИТОРИНГА

Синёва З.И., Михайлова Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

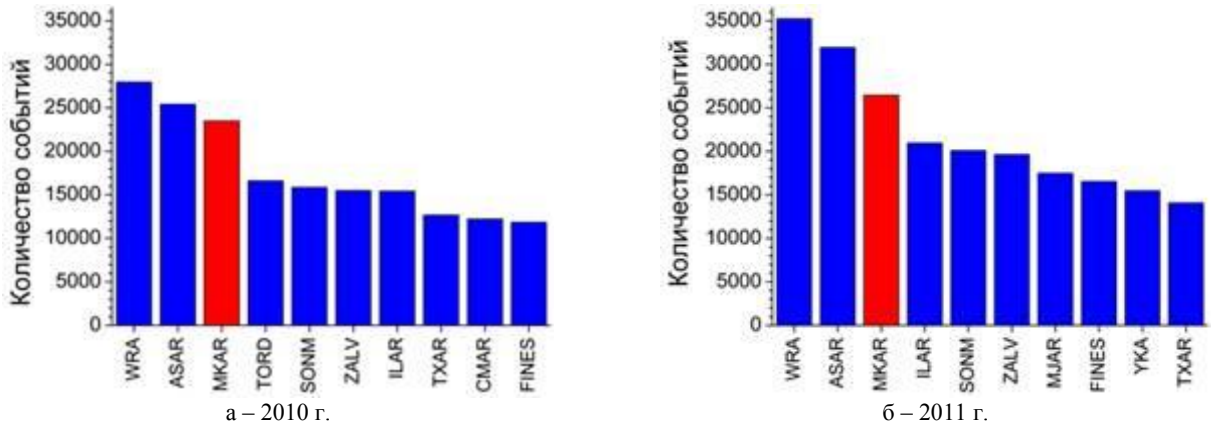
Приводятся результаты оценки эффективности работы сейсмических станций, входящих в казахстанскую систему ядерного мониторинга. Оценка выполнена на основе данных за 2010 и 2011 гг. по вкладу отдельных станций в сейсмические бюллетени: на телесейсмических расстояниях – бюллетеня REB (Reviewed event bulletin), составляемого в Международном центре данных ОДВЗЯИ (Вена), и на региональных расстояниях – регионального сейсмологического бюллетеня, составляемого в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОССИ, Алматы). Показана высокая эффективность казахстанских станций как при глобальном, так и региональном мониторинге.

В 2006 г. завершен этап создания казахстанского сегмента Международной системы мониторинга (МСМ) ОДВЗЯИ. В сеть МСМ вошли четыре сейсмические станции, из которых одна (PS23-Маканчи) является первичной станцией, в числе 50 запланированных станций мира, а три станции (AS058-Боровое, AS059-Актюбинск и AS057-Курчатов) входят в состав сети вспомогательных станций МСМ, в числе 120 станций мира. Достаточно детальный и ответственный подход к выбору площадок для станций, удачные сейсмогеологические условия их расположения в совокупности с установленной современной высокочувствительной аппаратурой, позволяли надеяться на высокую эффективность станций в сейсмическом мониторинге. В статье сделана попытка установить реальную эффективность станций на основе уже полученных экспериментальных данных по регистрации сейсмических событий во всем диапазоне эпицентральных расстояний. Исходными данными для выполненной оценки послужили результаты обработки записей станций в Международном центре данных (бюллетени REB) и в казахстанском национальном центре данных (бюллетени Центра данных ИГИ - ЦСОССИ). Оценка вклада казахстанских станций основной и вспомогательной сети проведена по бюллетеням отдельно для телесейсмических и региональных расстояний.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТАНЦИЙ МОНИТОРИНГА НА ТЕЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЯХ

Оценка эффективности работы сейсмических станций на телесейсмических расстояниях выполнена с использованием бюллетеня REB за 2010 и 2011 гг. В бюллетене REB участвуют данные всех 4 станций: станции первичной сети PS23-Маканчи – MKAR и трех станций, входящих во вспомогательную сеть МСМ. На рисунке 1 приведены результаты оценки, выполненные для 10 станций мира первичной сети МСМ, внесших наибольший вклад в формирование бюллетеня REB в 2010 г. (рисунок 1-а) и в 2011 г. (рисунок 1-б). Следует отметить, что в составе первичной сети МСМ в настоящее время работает более 40 сейсмических станций (создание сети еще полностью не завершено).

Как видно из рисунка 1, станция MKAR занимает третье место, уступая только двум сейсмическим группам: WRA (Варрамунга) и ASAR (Аллис-Спрингс), расположенным в Австралии вблизи Тихоокеанского сейсмического пояса – региона, характеризующегося наивысшим на Земле уровнем сейсмической активности.



а – 2010 г. б – 2011 г.

Рисунок 1. Вклад станций первичной сети Международной системы мониторинга в составление бюллетеня REB

На рисунке 2 показана доля участия станции MKAR в регистрации событий по отдельным регионам мира. Из рисунка 2 следует, что станция MKAR регистрирует 80 и более процентов событий, из числа включенных в REB и произошедших в Азии, на Ближнем Востоке и в Африке, т.е. в районах, представляющих в настоящее время наибольший интерес с точки зрения мониторинга ядерных испытаний. Рисунок 3 показывает, что в этих районах минимальная регистрируемая магнитуда регистрируемых событий составляет 3,0 – 3,5.

На рисунке 4 приведены результаты оценки участия 12 станций, входящих во вспомогательную сеть MCM и внесших наибольший вклад в составление бюллетеня REB в 2010 г. (рисунок 4-а) и в 2011 г. (рисунок 4-б). Среди этих станций уверенно лидируют две казахстанские станции KURK (AS057-Курчатов) и BVAR (AS058-Боровое). Они являются лидерами среди 99 станций, входящих в настоящее время во вспомогательную сеть MCM. К сожалению, оценка реальной эффективности станций вспомогательной сети на основе бюллетеня REB несколько осложняется тем, что, в отличие от станций первичной сети, посылающих в Международный центр свои данные в непрерывном режиме, станции вспомогательной сети привлекаются к обработке только по запросу, для уточнения координат некоторых событий.

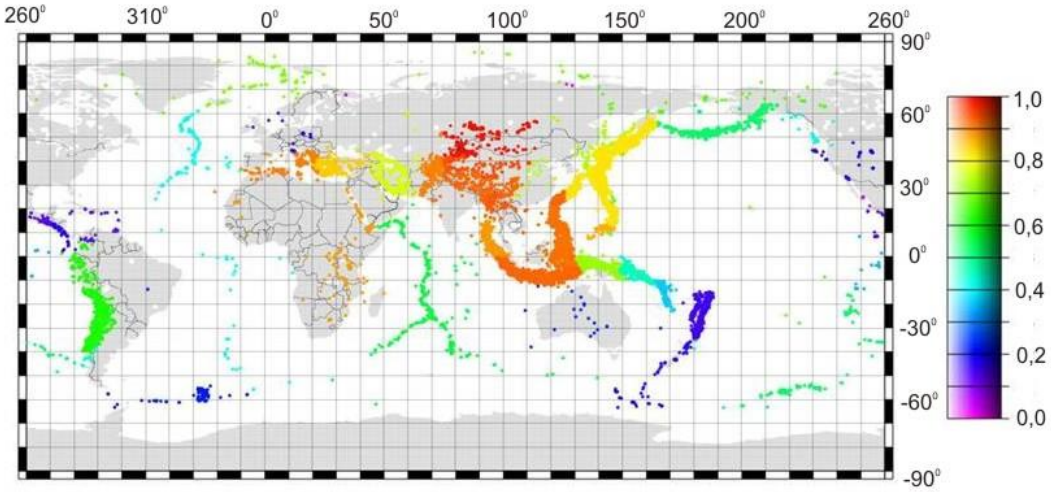


Рисунок 2. Участие станции PS23-Маканчи в составлении бюллетеня REB для различных сейсмических регионов мира в 2010 г.

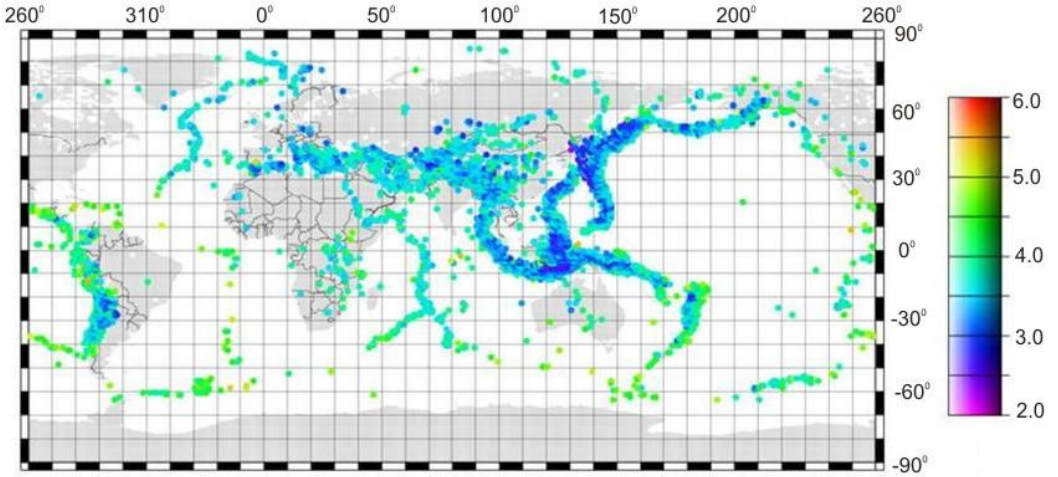
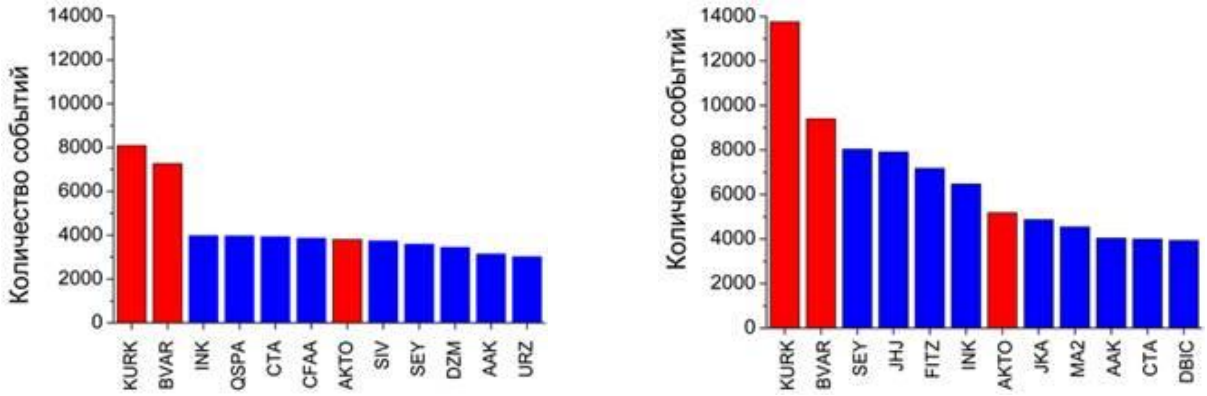


Рисунок 3. Карта событий с минимальной магнитудой, зарегистрированных станцией PS23-Маканчи в 2010 г.

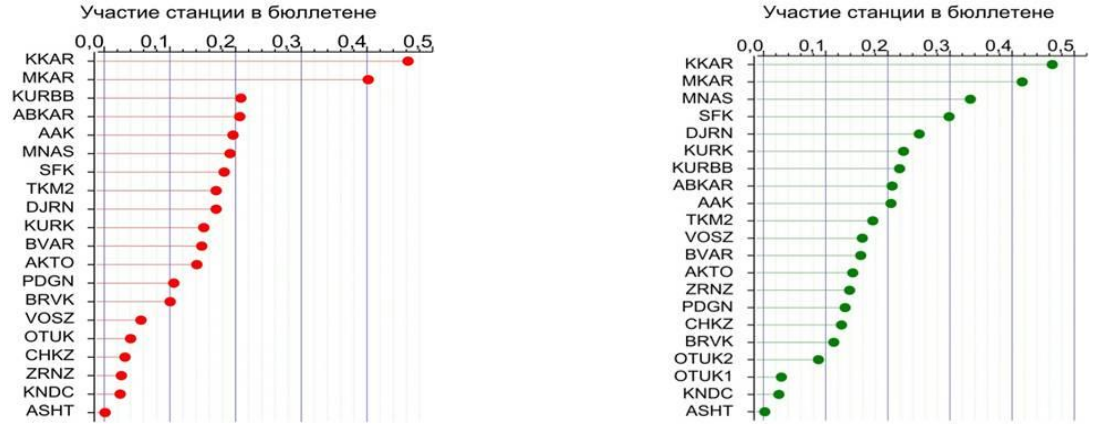


а – 2010 г. б – 2011 г.

Рисунок 4. Вклад станций вспомогательной сети Международной системы мониторинга в составление бюллетеня REB

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТАНЦИЙ МОНИТОРИНГА НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ

В 2010 г. в составлении регионального сейсмологического бюллетеня Центра данных ИГИ использовались данные 20 сейсмических станций. Из них 4 – так называемые регионально-телесейсмические группы с апертурой 3 – 4 км. Это группы PS23-Маканчи (MKAR), Акбулак (ABKAR), Каратау (KKAR), AS058-Боровое (BVAR). Еще одна сейсмическая группа – AS057-Курчатов (KURBB), – является телесейсмической, с апертурой 22.5 км. Станции Чкалово (CHKZ), Восточное (VOSZ) и Зеренда (ZRNZ) также являются сейсмическими группами, однако, к сожалению, состояние большинства датчиков у этих групп в 2010 г. было неудовлетворительным, и поэтому в обработке использовались данные только центральных трехкомпонентных датчиков. В 2010 г. к обработке были дополнительно подключены 6 станций Центрально-Азиатской сети сейсмического мониторинга CAREMON, созданной при поддержке Германии, две из которых (Подгорное - PDGN и Ортау - OTUK) расположены на территории Казахстана, две (Джерино - DJRN и Манас - MNAS) – на территории Кыргызстана, одна (Суфи-Курган - SFK) – на территории Таджикистана и одна (Ашгабат - ASHT), на территории Туркменистана. Кроме того, в реальном времени поступали данные двух станций IRIS (Consortium – Incorporated Research Institutions for Seismology), расположенных на территории Казахстана (Курчатов- KURK и Боровое-BRVK), данные станции KNDC, расположенной в Алматы, а также данные станции AS059-Актюбинск (AKTO), расположенной в Западном Казахстане и входящей в сеть МСМ. И, наконец, в обработке использовались данные двух станций кыргызской сети KNET: Ала-Арча (AAK) и Токмак (TKM2). В 2010 г. было обработано и занесено в региональный сейсмологический бюллетень 18 475 сейсмических событий. В таблице 1 (во втором столбце) для каждой станции приведено количество событий из регионального бюллетеня, в обработке которых использовались данные каждой из станций. В третьем столбце таблицы рассчитана доля участия каждой станции – число событий с участием станций, деленное на общее количество событий в бюллетене за год (18 475). На рисунке 5-а приведены данные об участии каждой станции в региональном бюллетене.



а – без учета коэффициента поступления данных б – с учетом коэффициента поступления данных

Рисунок 5. Участие станций в составлении бюллетеня ЦСОССИ за 2010 г.

Таблица. Участие станций в составлении оперативного бюллетеня ЦСОССИ за 2010 г.

Станция	Количество событий	Участие в бюллетене	Поступление данных	Участие в бюллетене с учетом поступления данных
AAK	3621	0.19599	0.95546	0.20513
ABKAR	3812	0.20633	0.99683	0.20699
AKTO	2605	0.141	0.98285	0.14346
ASHT	26	0.00141	0.75177	0.00187
BRVK	1856	0.10046	0.88891	0.11301
BVAR	2743	0,14847	0.94925	0.15641
CHKZ	584	0.03161	0.25203	0.12542
DJRN	3147	0.17034	0.67984	0.25055
KKAR	8545	0.46252	0.9954	0.46465
KNDC	449	0.0243	0.98995	0.02455
KURBB	3844	0.20806	0.95042	0.21892
KURK	2801	0.15161	0.67304	0.22526
MKAR	7425	0.40189	0,96544	0.41628
MNAS	3539	0.19156	0.57544	0.33289
OTUK (среднее), в т.ч.: OTUK1 (до модернизации) OTUK2 (после модернизации)	741	0.04011 0.0204 0.07311	0.77954 0.74788 0.82386	0.05145 0.02865 0.0883
PDGN	1956	0.10587	0.80646	0.13128
SFK	3374	0.18263	0.61182	0.2985
TKM2	3148	0.17039	0.9695	0.17575
VOSZ	1034	0.05597	0.35241	0.15881
ZRNZ	482	0.02609	0.18856	0.13836

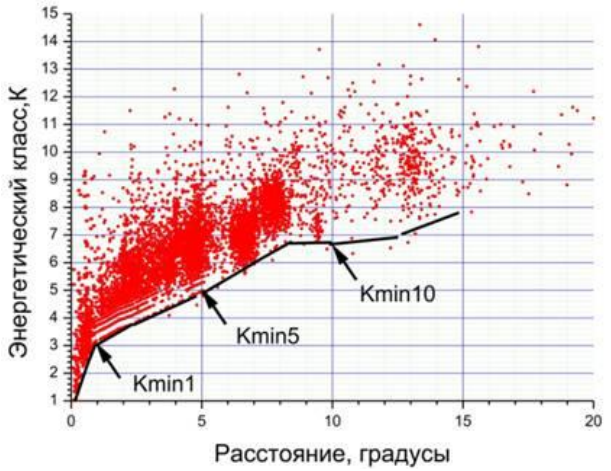
Из рисунка 5 видно, что станция Каратау-KKAR уверенно лидирует – данные этой станции использовались при обработке почти 50% событий из бюллетеня ЦСОССИ. Немного уступает ей станция PS23-Маканчи (MKAR) – ее данные использовались при обработке записей примерно 40% событий. Остальные станции значительно отстают от них. Замыкают график станции KNDC и ASHT, расположенные в крупных городах (в Алматы и Ашгабаде).

Для более корректного определения эффективности станций необходимо учитывать, что в течение года по ряду причин (поломка, перебои в каналах связи, модернизация) станция может не посылать свои данные, и, соответственно, не участвовать в составлении бюллетеня. Поэтому для каждой станции был рассчитан коэффициент поступления данных (четвертый столбец таблицы) и участие станции с учетом этого коэффициента. Полученные результаты приведены на рисунке 5-б. Для станции OTUK данные приведены с учетом проведенной на ней модернизации – сейсмоприемник был перемещен из временного помещения в специально построенный бункер. Поэтому доля участия для этой станции рассчитана отдельно для двух периодов времени: до модернизации станции – OTUK1, после модернизации станции – OTUK2. После учета коэффициента поступления данных станции KKAR и MKAR сохранили лидерство. Значительно улучшились показатели трех станций сети CAREMON (MNAS, SFK, DJRN), расположенных в высокосейсмичных районах Кыргызстана и Таджикистана. Именно в 2010 г. развертывалась сеть CAREMON, происходили подключение и настройка этих станций.

Таким образом, график на рисунке 5-а отражает фактический вклад станций в составление регионального бюллетеня, а график на рисунке 5-б – возможный вклад при условии безупречной работы станции.

При оценке эффективности станций необходимо иметь в виду еще и то обстоятельство, что сейсмические станции могут располагаться в регионах с различным уровнем сейсмической активности. Например, станция Каратау – KKAR располагается в регионе с очень высоким уровнем сейсмической активности в отличие, например, от станции Акбулак - ABKAR, и именно этим обстоятельством можно объяснить большое число зарегистрированных ею событий. Важной характеристикой для станций является ее чувствительность при регистрации сейсмических событий вне зависимости от того, в активном или спокойном регионе она находится.

Такую оценку могут дать графики дальности регистрации по каждой станции для событий разной магнитуды (или энергетического класса). С целью получения таких данных для каждой из 20 станций была построена зависимость энергетического класса события из регионального бюллетеня от расстояния до зарегистрировавшей его станции. На рисунке 6 приведен пример построения такой зависимости для станции MKAR.

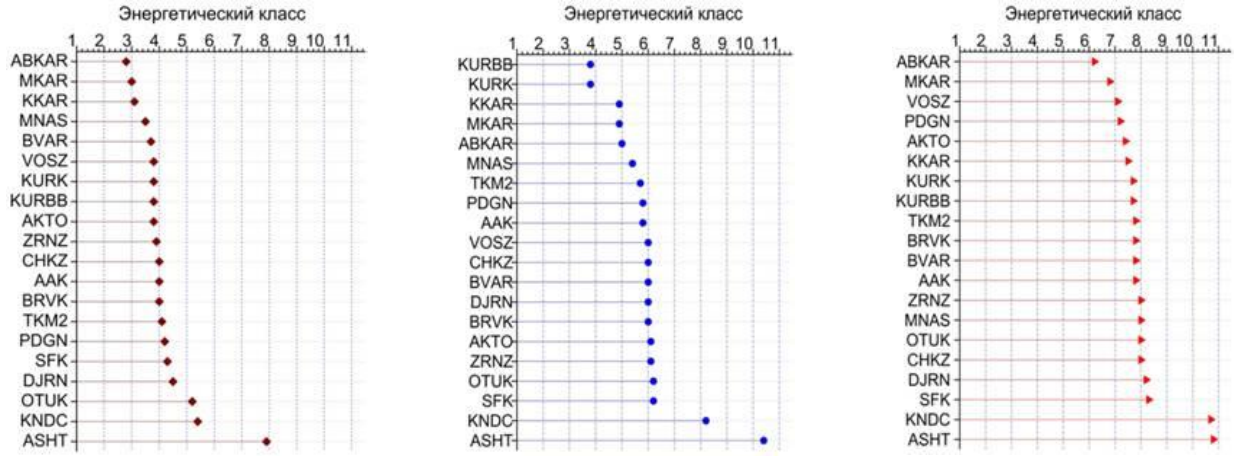


Kmin1, Kmin5, Kmin10 – предельная чувствительность станции на расстояниях 1, 5 и 10 градусов, соответственно

Рисунок 6. Огибающая минимальных значений энергетического класса для станции MKAR

Огибающая минимальных значений энергетического класса событий, зарегистрированных данной станцией, позволяет судить о том, события какого энергетического класса на данном расстоянии может быть зарегистрировано этой станцией при самых благоприятных условиях. Аналогичные кривые дальности предельной регистрации получены по всем 20 исследованным станциям, что позволило построить графики, позволяющие провести сравнительный анализ возможностей разных станций (рисунок 7).

Из рисунка 7 видно, что при регистрации локальных событий вблизи станции (расстояние до 1 градуса) наивысшую чувствительность показывает станция ABKAR, станции MKAR и KKAR лишь немного ей уступают.



а – 1 градус б – 5 градусов в – 10 градусов

Рисунок 7. Минимальные значения энергетических классов событий, регистрируемых станциями на различных расстояниях

Заключение

Проведенный анализ позволяет заключить, что эффективность работы станции, оцениваемая по ее вкладу в составление сейсмических бюллетеней, зависит от многих факторов: от расположения станции относительно сейсмоактивных зон, от качества оборудования, установленного на станции, от качества каналов связи с Центром данных. В глобальном мониторинге сейсмические казахстанские станции ядерного мониторинга, как первичная, так и вспомогательные, отличаются высокой эффективностью, обеспечивающей их значимый вклад в обнаружение и обработку событий, прежде всего в Международном центре данных. При осуществлении регионального мониторинга наивысшую эффективность демонстрируют три сейсмические группы – ABKAR, KKAR и MKAR. Большой вклад также вносят станции новой сети в Центральной Азии CAREMON, а также станция KURBB. Следует отметить, что важность станции определяется не только ее чувствительностью или числом регистрируемых событий. Например, станция KNDC расположена в крупном городе, и, соответственно, имеет невысокую чувствительность из-за высокого уровня сейсмических шумов. Однако ее данные неоценимы при мониторинге сильных и ощутимых землетрясений в таком стратегическом месте, как крупнейший мегаполис страны.

ЯДРОЛЫҚ МОНИТОРИНГТІҢ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Синёва З.И., Михайлова Н.Н.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан

Ядролық мониторингтің қазақстандық жүйесіне кіретін сейсмикалық станциялардың жұмысы тиімділігін бағалау нәтижелері келтіріледі. Бағалауы 2010 және 2011 жылдардың деректері негізінде, сейсмикалық бюллетеньдеріне әр станциялардың үлесі бойынша орындалған: телесейсмикалық қашықтықтарда - ЯСБТШ Халықаралық деректер орталығында құрастырылатын REB (Reviewed event bulletin) бюллетеньі, аймақтық қашықтықтарда – Арнаулы сейсмикалық ақпаратын жинау және өңдеу орталығында (АСАЖӨО, Алматы) құрастырылатын аймақтық сейсмикалық бюллетені. Глобаль және аймақтық мониторингіде бірдей казақстандық станциялардың жоғары тиімділігі көрсетілген.

EFFECTIVENESS OF KAZAKHSTANI STATIONS FOR NUCLEAR MONITORING

Z.I. Sinyeva, N.N. Mikhaylova

RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Assessment of overall performance of the seismic stations comprising Kazakhstan system for nuclear monitoring is given. This was done based on the data for 2010 and 2011 by input of separate stations to seismic bulletins: for teleseismic distances – REB bulletin (Reviewed event bulletin) produced in the IDC CTBTO (Vienna), for regional distances – the regional seismological bulletin produces in the Center for acquisition and processing of special seismic information (CAPSSI, Almaty). High performance of the Kazakhstani stations both in global, and regional monitoring is shown.

УДК 550.34:621.039

О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ПОДЗЕМНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ В ПРИЭЛЬБРУСЬЕ

Ковалевский В.В.

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

Представлены результаты исследования характеристик подземной сейсмической группы, развернутой в тоннеле Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований (ИЯИ) РАН в 24 км от вулкана Эльбрус. Линейная сейсмическая группа имеет апертуру 2.5 км и состоит из 6-и трехкомпонентных сейсмоприемников СК-1П с автономными цифровыми регистраторами «Байкал». Экспериментально определены основные характеристики микросейсмических шумов в точках установки сейсмоприемников сейсмической группы, их взаимная корреляция, суточные вариации уровня шумов, уровни сигналов от региональных и локальных сейсмических событий.

Исследования сейсмической активности в районе Эльбрусского вулканического центра связаны с задачами изучения структуры локальных неоднородностей в земной коре Приэльбрусья и геодинамических процессов в районе вулкана. Комплексными геофизическими исследованиями выявлены глубинные и близповерхностные магматические структуры вулкана Эльбрус, и возникла задача мониторинга их состояния для слежения за возможной активизацией сейсмовулканических процессов [1, 2]. Наблюдение региональной сейсмичности на Северном Кавказе осуществляется сетью сейсмических станций Геофизической службы (ГС) РАН, проводящей сейсмический мониторинг в регионе. Локальные сети в центральной Кавминводской зоне, сеть станций Северо-Осетинского филиала ГС РАН, а также отдельные станции в западной части обеспечивают контроль за сейсмическими событиями с магнитудой 1 - 2 на территории региона, включая Приэльбрусье [3, 4].

Комплексный геофизический и сейсмический мониторинг района Эльбрусского вулканического центра проводят Институт физики Земли (ИФЗ) РАН, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга (ГАИШ) МГУ, Кабардино-Балкарский университет (КБГУ) с использованием уникального комплекса геофизических приборов (БНО) Северокавказской геофизической обсерватории, расположенной в штольне Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований (ИЯИ) РАН [5]. Этот комплекс включает сейсмическую станцию «Нейтрино», входящую в сеть станций ГС РАН. Уровень микросейсмических шумов, регистрируемых этой станцией, показал, что штольня БНО ИЯИ РАН является одним из самых «тихих» мест расположения сейсмостанций в Кавказском регионе. Этому способствует заглубленность штольни на 4 км в цельный скальный массив горы Андырчи, удаленность от промышленных и природных источников сейсмического шума, низкий уровень техногенного шума, связанного с деятельностью самой обсерватории.

Низкий уровень микросейсмических шумов, возможность размещения сейсмоприемников практически по всей протяженности штольни делает возможным создание на базе БНО ИЯИ РАН линейной сейсмической группы с апертурой 3 - 3,5 км, оснащенной коротко- и среднепериодными трехкомпонентными сейсмометрами для слежения за низкоэнергетической сейсмической активностью района вулкана Эльбрус и решения задач региональной сейсмологии.

В современной мировой системе стационарных сейсмологических наблюдений наряду с сетями отдельных сейсмостанций применяются сейсмические группы (seismic arrays) большой (LASA, NORSAR) и малой (NORESS, ARCESS, GERESS и др.) апертуры. Международная система мониторинга (МСМ), ориентированная на обнаружение подземных ядерных испытаний, использует в своей сети первичных станций сейсмические группы, непрерывно передающие информацию в Международный центр обработки данных. Такие группы с апертурой 3 - 4 км расположены в Казахстане – Акбулак, Боровое, Каратау, Маканчи [6]. Сейсмические группы малой апертуры, или малоапертурные сейсмические антенны (МСА), за последние 15 - 20 лет установлены в ряде регионов мира. Их применение оказались весьма эффективными для локации сравнительно слабых сейсмических событий (землетрясений и взрывов) на региональных расстояниях. Использование МСА дало принципиальную возможность для дистанционного контроля сейсмической обстановки на обширных территориях, особенно в тех районах, где установка обычных сейсмических станций на земной поверхности затруднена или малоэффективна из-за высокого уровня шумов.

Малоапертурные сейсмические антенны применяются в экспериментальных исследованиях Институтами РАН геофизического профиля для решения сейсмологических задач. В 2003 - 2006 гг. выполнены экспериментальные исследования с МСА «Михнево» Института динамики геосфер РАН (ИДГ РАН), имеющей конфигурацию из трех концентри-

ческих окружностей с максимальным диаметром 1,2 км. При её создании учитывался опыт многолетних исследований с применением региональных малоапертурных групп в Западной Европе (NORESS, ARCESS, GERESS), а также опыт исследований ИФЗ РАН и ИДГ РАН на Русской платформе с применением мобильных сейсмических антенн малой апертуры. С группой малой апертуры RUKSA (Russian Karelia Seismic Array) в Петрозаводском районе Карелии выполнялись исследования по построению скоростного разреза земной коры методом функции приемника. На севере России постоянно работает сейсмическая группа APA0 – Апатитский ARRAY с апертурой 1 км.

Стационарные непрерывно работающие сейсмические группы являются дорогостоящими комплексами геофизического оборудования, поэтому, несмотря на высокую эффективность, их число составляет единицы и далеко не в каждой из стран, в отличие от обычных сейсмических станций. Поэтому развертывание сейсмической группы в штольне Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН, находящейся в 20 км от вулкана Эльбрус, предоставляет уникальные возможности и отвечает современному мировому направлению развития техники и методики сейсмологических наблюдений. Горизонтальная штольня длиной 4 км пройдена в едином горном массиве, что позволяет установить все сейсмоприемники группы в одинаковых условиях на коренных породах. Для их установки может быть использована также вспомогательная штольня, пройденная в 50 м от основной, но открытая для общего доступа и не используемая в настоящее время. Во вспомогательной штольне можно развернуть подземную сейсмическую группу из 10 - 15 трехкомпонентных сейсмоприемников с суммарной базой до 3,5 км. Пилотный эксперимент по созданию сейсмической группы был выполнен в июле 2010 г., когда Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН и Институтом физики Земли РАН впервые была развернута и опробована в режиме непрерывной работы линейная сейсмическая группа с апертурой 2.5 км, состоящая из 6-и трехкомпонентных сейсмоприемников СК-1П с автономными цифровыми регистраторами «Байкал» [7]. Для группа была использована вспомогательная штольня Баксанской нейтринной обсерватории, в 24 км от вулкана Эльбрус (рисунок 1).

Геометрия группы в плане представляет линию с изломом, угол между двумя плечами группы - 21 градус (рисунок 2). Короткое линейное плечо включает три сейсмоприемника, длинное – четыре, с общим сейсмоприемником в точке излома. Наличие излома в линии сейсмоприемником является благоприятным обстоятельством, так как делает группу площадной, хотя и с малой апертурой в поперечном направлении. Площадная апертура группы 2500 м × 500 м. Расстановка сейсмоприемников в группе равномерная, расстояние между датчиками – 500 м. Положение точек установки сейсмоприемников определялось по пикетам разметки штольни.

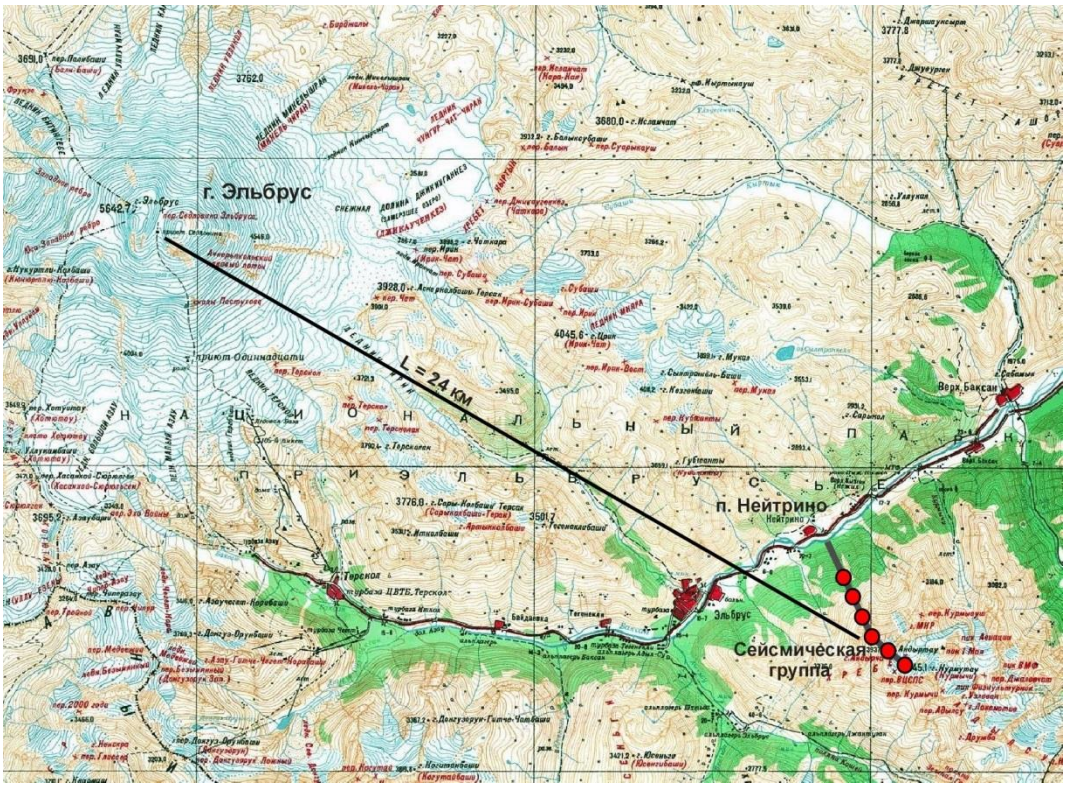
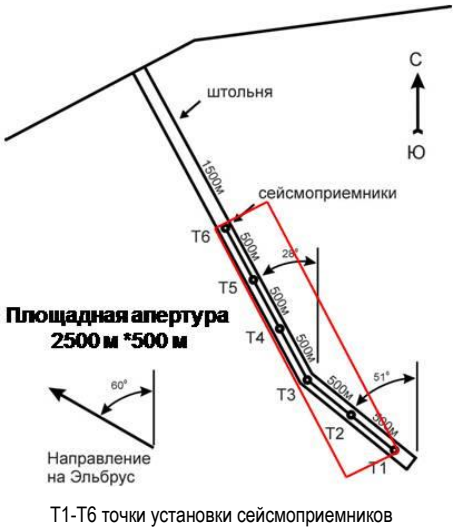


Рисунок 1. Район расположения сейсмической группы в штольне БНО ИЯИ РАН



T1-T6 точки установки сейсмоприемников

Рисунок 2. Конфигурация сейсмической группы в штольне БНО ИЯИ РАН



Рисунок 3. Сейсмоприемник СК-1П с регистратором «Байкал» на бетонном основании в штольне БНО ИЯИ РАН

Сейсмическая группа расположена от точки на расстоянии 1500 м от входа в штольню (пикет 15+00) до точки 4000 м от входа в штольню (пикет 40+00). Сейсмоприемники установлены на бетонном основании на коренных породах (рисунок 3).

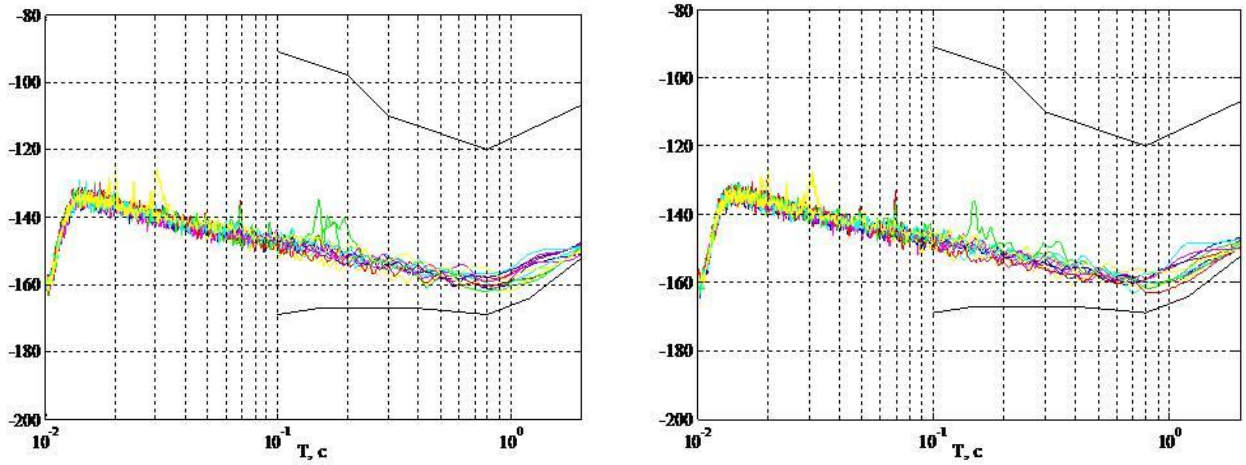
Установленные трехкомпонентные сейсмоприемники СК-1П имеют чувствительность 140 В/м/сек, частотный диапазон 1 - 100 Гц. Цифровой регистратор «Байкал» представляет собой автономный компьютеризированный комплекс с 24-разрядным 3-канальным аналогово-цифровым преобразователем. Чувствительность канала 70 нВ/разряд. Синхронизация данных обеспечена внутренними таймерами регистратора, имеющими коррекцию хода от сигналов GPS. Запись велась с частотой дискретизации 200 Гц.

Целью пилотного эксперимента было определение основных характеристик линейной сейсмической группы: характеристик микросейсмических шумов в точках расположения сейсмоприемников в штольне БНО ИЯИ РАН на различных удалениях от входа и их взаимной корреляции; суточных вариаций уровня шумов; характеристик техногенных шумов, связанных с работой подземного комплекса обсерватории; уровней сигналов от региональных и локальных сейсмических событий, регистрируемых группой; степени корреляции основных фаз сейсмических волн на различных сейсмоприемниках группы. Во время эксперимента была проведена непрерывная регистрация сейсмических сигналов в течение 4-х суток – 14 - 15 июля и 17 - 18 июля 2010 г.

Характеристики микросейсмического шума определялись путем вычисления спектральной плотности мощности шума (10*Log(M**2/S**4/Hz)) для трех компонент сейсмоприемника в каждой точке сейсмической группы в диапазоне периодов 1 - 0.0125 сек. Выбирались отрезки записей от 100 сек до 500 сек без сейсмических событий отдельно для ночного (18 - 02 ч. GMT) и дневного (02 - 18 ч. GMT) времени, по 3 - 5 отрезков для каждых из 4 суток наблюдений. Для всех фрагментов вычислялись медианные спектры, результаты осреднялись, что позволило получить осредненную величину спектральной плотности мощности шума (СПМ) на сейсмоприемниках группы в дневное и ночное время (рисунок 4). На графиках СПМ (медианные спектры) по компонентам X, Y, Z для 6 сейсмоприемников группы в дневное и ночное время видно, что максимальный разброс СПМ шума между различными датчиками и их компонентами составляет около 5 дБ на периодах 0.0125 – 1 сек. Существенных различий между СПМ шума в дневное и ночное время нет, что объясняется отсутствием промышленности и крупного транспорта в районе штольни БНО, а также малошумной производственной деятельностью обсерватории. Среднее значение СПМ шума находится ближе к нижнеуровневой модели сейсмического шума Петерсона [8] с минимальным уровнем –160 дБ в области периодов 0.2 – 1 сек и линейным ростом до -135 дБ на периодах 0.0125 сек.

Было выполнено сравнение СПМ шума сейсмической группы и сейсмостанции «Нейтрино», расположенной в штольне БНО и оснащенной широкополосным сейсмоприемником (рисунок 5). Данные о СПМ шума сейсмостанции «Нейтрино» взяты из [4].

Как следует из рисунка 5, в диапазоне периодов 0.1 – 1 сек СПМ шума сейсмической группы и сейсмостанции «Нейтрино» совпадают, что свидетельствует о корректном вычислении СПМ шума для этих двух систем. Кроме того, в диапазоне периодов 1 – 5 сек СПМ шума сейсмостанции «Нейтрино» совпадает с нижнеуровневой моделью сейсмического шума Петерсона [8], что аналогично характеристикам современных сейсмических групп Международной системы мониторинга [9, 10].



а – дневное время

б – ночное время

*Рисунок 4. Спектральная плотность мощности микросейсмического шума - 10*Log(M**2/S**4/Hz), для компонент X, Y, Z сейсмоприемников в точках Т1 – Т6*

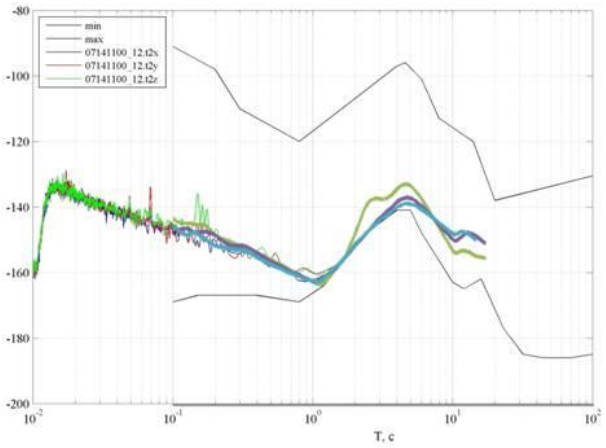
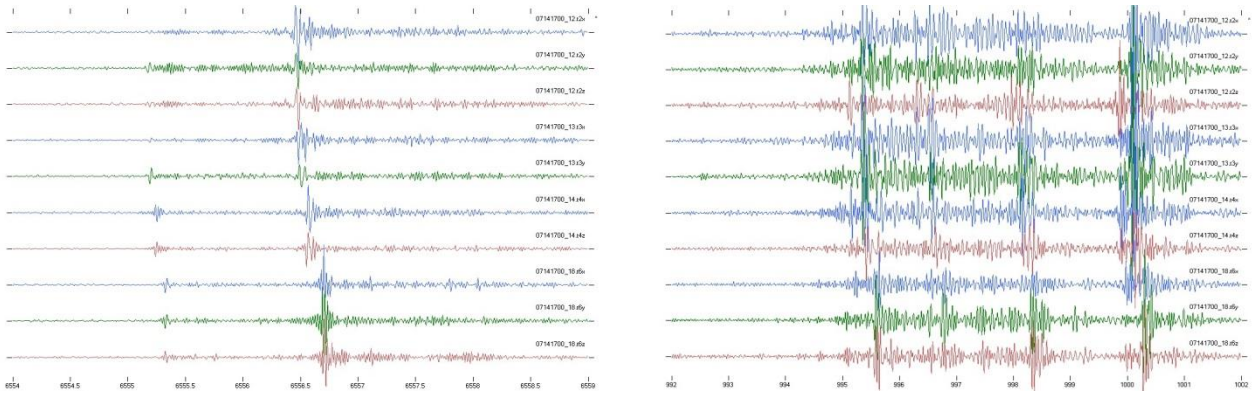


*Рисунок 5. СПМ микросейсмического шума - 10*Log(M**2/S**4/Hz), для трех компонент одного сейсмоприемника группы (тонкие линии в диапазоне периодов 0,01 - 1 сек) и для трех компонент сейсмостанции «Нейтрино» (толстые линии в диапазоне периодов 0,1 – 10 сек)*

Это характеризует штольню БНО как перспективное место для размещения среднепериодных сейсмических регистрирующих систем.

Характеристики техногенного шума, обусловленного деятельностью обсерватории, в основном связанной с непрерывной работой вентиляционной системы, что проявляется присутствием в спектре шума гармонических составляющих на частотах 10.22 Гц, 20.41 Гц, 30.53 Гц, 50.90 Гц (+-0.02 Гц) для всех компонент сейсмоприемников. В местах установки некоторых сейсмоприемников присутствуют составляющие на частотах 5.56 - 6.57 Гц и 14.37 Гц. Для 50 с отрезков записи амплитудные значения этих пиков в спектральной области превышают средний уровень спектра в 2 - 8 раз. При обработке эти составляющие спектра могут быть удалены цифровой фильтрацией.

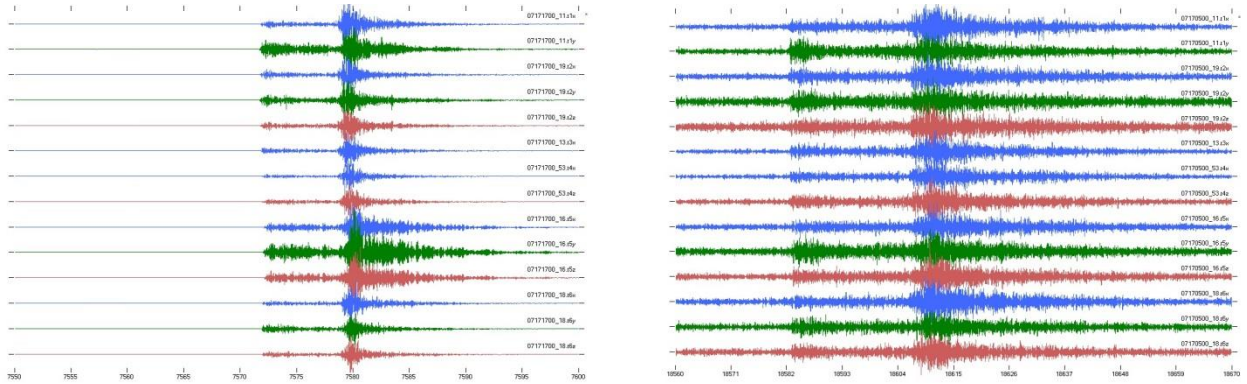
За четверо суток эксперимента было зарегистрировано несколько десятков локальных сейсмических событий (рисунок 6).



а – одиночное событие

б – множественные события

Рисунок 6. Локальные сейсмические события, регистрируемые сейсмической группой БНО



а – расстояние около 50 км

б – расстояние около 150 км

Рисунок 7. Региональные сейсмические события, зарегистрированные сейсмической группой БНО с различных расстояний

Разница прихода P- и S-волн для них составляет 0.5 - 1.5 сек, что дает оценку расстояния от сейсмической группы как 3 - 10 км. Среди локальных сейсмических событий встречаются как одиночные, так и множественные, которые локализованы в одном месте и имеют повторяющиеся волновые формы. По-видимому, эти локальные события связаны с динамикой разломных структур Эльбрусского вулканического центра. На рисунке 7 приведены записи региональных событий, зарегистрированных сейсмической группой БНО. По разнице прихода P- и S-волн были оценены расстояния до них. На рисунке приведены события, происшедшие на расстоянии около 50 км от группы (разница прихода волн 7 сек) и на расстоянии около 150 км от группы (разница прихода волн 20 сек). Эти события ассоциированы с локальными землетрясениями в регионе.

Для зарегистрированных событий определены коэффициенты взаимной корреляции (КВК) фаз P- и S-волн. У локальных сейсмических событий для различных пар датчиков, отстоящих друг от друга от 500 м до 2500 м, КВК имеет значения от 0.7 - 0.85 для соседних датчиков, до 0.4 - 0.55 для максимально удаленных датчиков. Для региональных событий КВК имеют меньшую величину – от 0.6 - 0.7 для соседних датчиков до 0.2 - 0.55 для максимально удаленных датчиков. Определены также коэффициенты взаимной корреляции микросейсмического шума для различных пар датчиков, отстоящих друг от друга от 500 м до 2500 м. В диапазоне периодов 0.01 - 1 сек коэффициент взаимной корреляции (КВК) шума меняется от 0.15 для датчиков на расстоянии 500м до 0.05 на расстоянии 1000 - 2500 м.

Таким образом, приведенные результаты пилотного эксперимента и их анализ показывают, что линейная сейсмическая группа с апертурой 2.5 км, развернутая в штольне БНО ИЯИ РАН, по уровню микросейсмических шумов и регистрируемых сигналов, а также по их корреляционным свойствам, имеет в короткопериодном диапазоне характеристики, сравнимые с характеристиками современных сейсмических групп, работающих в составе Международной системы мониторинга [7]. Создание в БНО стационарной группы с коротко- и спеднепериодными сейсмоприемниками позволит дополнить сеть сейсмических станций ГС РАН в Кавказском регионе сейсмологической системой высокого пространственного разрешения. Кроме задач региональной сейсмологии, создаваемая группа будет ориентирована на мониторинг микросейсмический активности района вулкана Эльбрус с целью определения областей активизации сейсмических процессов связанных с геодинамикой магматического очага вулкана, осуществлением сейсмоэмиссионной томографии активных областей района вулкана Эльбрус.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-05-00786, Интеграционного проекта СО РАН № 54, проекта СО РАН 4.9-4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нечаев, Ю.В. Вулкан Эльбрус: материнский очаг и магматические камеры (технология мониторинга) / Ю.В Нечаев, А.Л. Собисевич, Л.Е. Собисевич // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ним техногенные катастрофы» – М.: ИФЗ РАН, 2008. – Т.1: Сейсмические процессы и катастрофы, Ч.2. – С. 297 - 302.
2. Милюков, В.К. Мониторинг состояния вулканических структур по наблюдениям литосферных деформаций / В.К Милюков. // Вулканология и сейсмология, 2006. – № 1. – С. 1 - 13.
3. Лаверов, Н.П. Сейсмичность Северной Евразии / Н.П. Лаверов, А.А. Маловичко, О.Е. Старовойт // Материалы Международной конференции, Обнинск : ГС РАН, 2008. – С. 5–14.
4. Маловичко, А.А. Сейсмический мониторинг разномасштабных природных процессов и катастроф / А.А. Маловичко / Экстремальные природные явления и катастрофы,Т.1. Оценка и пути снижения негативных последствий экстремальных природных явлений // М.: ИФЗ РАН, 2010. – С. 131 - 144.
5. Собисевич, А.Л. Аппаратурный комплекс Северокавказской геофизической обсерватории / А.Л. Собисевич [и др] // Сейсмические приборы, 2008. – Т. 44, № 1. – С. 21–42.

6. Беляшова, Н.Н. Система мониторинга ядерных испытаний НЯЦ РК: развитие и возможности / Н.Н. Беляшова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК, 2007. – Вып. 2. – С. 5 - 8.
7. Ковалевский, В.В. Пилотный эксперимент по развертыванию сейсмической группы в штольне БНО ИЯИ РАН в районе Эльбрусского вулканического центра / В.В. Ковалевский, А.Л. Собисевич, А.А. Якименко // ДАН. 2012 (в печати)
8. Peterson, J. Observation and Modeling of Seismic Background Noise // Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993 - 42 pp.
9. Михайлова, Н.Н. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным Казахстанских станций мониторинга / Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК, 2006. - Вып.2. - С. 19 - 26.
10. Захарова, О.В. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным станций НЯЦ РК / О.В. Захарова, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК, 2009 – Вып. 2. – С. 178 - 182.

ЭЛЬБРУС ТӨҢІРЕГІНДЕГІ ЖЕРАСТЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОБЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ ТУРАЛЫ

Ковалевский В.В.

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

РҒА Ядролық зерттеулер институтының (ЯЗИ), Эльбрус жанартаудан 24 км. қашықтықтағы, Баксан нейтриндік обсерваториясының тоннелінде жайластырылған жерасты сейсмикалық тобының сипаттамаларын зерттеу нәтижелері келтіріледі. Сызықтық сейсмикалық тобының. апертурасы 2,5 км және «Байкал» автоматты тіркеушітері бар 6 үшкомпонентті СК-1П сейсмоқабылдағыштардан тұрады. Сейсмикалық тобының сейсмоқабылдағыштары орнатылған нүктелерінде микросейсмикалық шулардың негізгі сипаттамалары, олардың өзара корреляциясы, шу деңгейінің тәуліктік вариациялары, аймақтық және жергілікті сейсмикалық оқиғалардан сигналдардың деңгейі эксперименттер нәтижесінде анықталған.

CHARACTERISTICS OF UNDERGROUND SEISMIC ARRAY IN THE ELBRUS REGION

V.V. Kovalevsky

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

Results of studying characteristics of underground seismic array installed in a tunnel of the Baksan Neutrino Observatory, 24 km from volcano Elbrus are presented. Linear seismic group has an aperture of 2.5 km and consists of a six three-component seismic sensors SC-1P with digital recorders “Baikal”. The experiment identified the main characteristics of microseismic noise in the points of seismic sensors installation, their mutual correlation, diurnal variations in the noise level, the characteristics of man-made noise, signal levels from regional and local seismic events recorded by the group.

УДК [534.6+550.388](574.13)

НОВАЯ ИНФРАЗВУКОВАЯ ГРУППА «КУРЧАТОВ»

Беляшов А.В., Донцов В.И., Дубровин В.И., Кунаков В.Г., Смирнов А.А.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Описана новая инфразвуковая группа, построенная в 2010 г. в Курчатове (вблизи технической площадки № 2), состоящая из четырех пунктов (три – в вершинах равностороннего треугольника, четвертый – в его центре). Апертура группы – 1 км. Тестирование инфразвуковой группы Курчатов, проведённое в 2011 г., показало, что новая станция способна регистрировать в непрерывном режиме и на необходимом качественном уровне акустические сигналы от различных источников.

ВВЕДЕНИЕ

Инфразвуковая группа «Курчатов» построена с целью восстановления комплексной наблюдательной системы Курчатов-Крест в г. Курчатове как наиболее эффективной для Международной системы мониторинга (МСМ) Создаваемой Организацией по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ОВЗЯИ) и для Восточного Казахстана. На рисунке 1 показано расположение новой инфразвуковой группы относительно сейсмической группы AS058-Курчатов, входящей в состав МСМ ОДВЗЯИ.

Новая инфразвуковая группа сформирована вблизи технической площадки № 2 Института геофизических исследований, в пределах территории, на которой в советское время работала инфразвуковая система. К 1994 г. в ее составе остались несколько комплектов акустических станций типа К-301-А, К-303-А, К-304-А с микробарографами, имеющими полосу пропускания 0.02 – 4 Гц. Шумоподавление обеспечивали системы трех типов: «Паук», направленного приема «Н», одиночной трубы «ПЗУ». В 1997 г. совместно со специалистами Lamont-Doherty Earth Observatory Колумбийского университета была сделана попытка модернизировать станцию. По углам и в центре равностороннего треугольника со стороной около 250 м были установлены микробарометры типа Globe (с полосой пропускания 0.1 – 10 Гц). Помехозащищенность обеспечивали два устройства типа «Паук» и две системы из шести пористых шлангов диаметром 2.54 см и длиной 15, 22.5 и 30 м. Для регистрации акустических сигналов использовалась станция RT-72 фирмы REFTEK. Последующая эксплуатация станции выявила неидентичность ветрозащитных устройств, наличие потерь между ветрозащитными устройствами и входами микробарометров. Модернизация станции оказалась малоэффективной и с 2003 г. ее эксплуатация была прекращена.

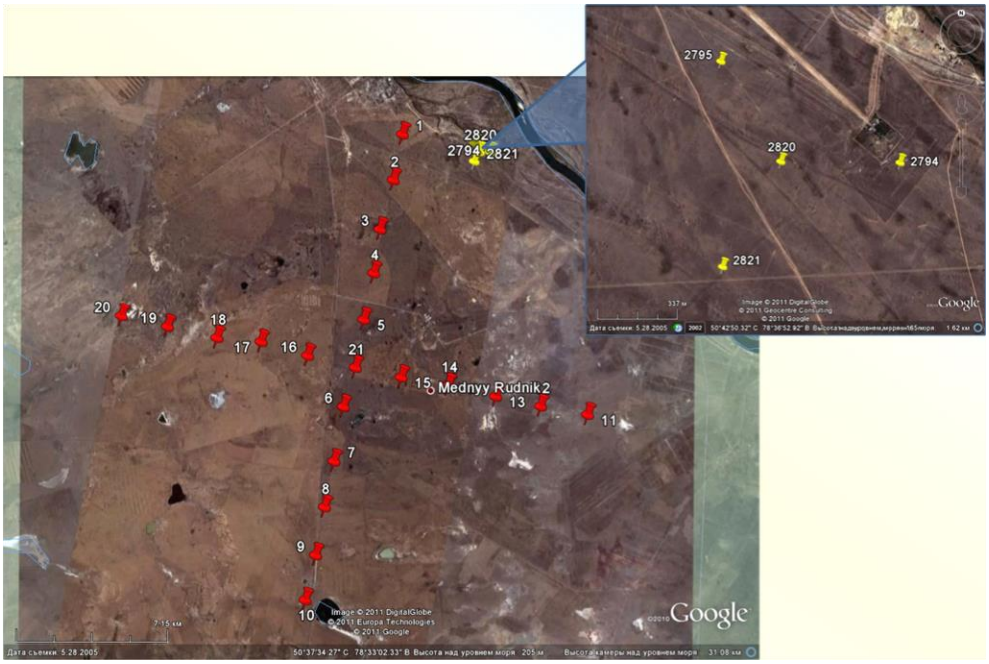


Рисунок 1. Сейсмическая (красный) и инфразвуковая (желтый) группы геофизического мониторинга в Курчатове

В 2010 г. вблизи технической площадки № 2 построена новая инфразвуковая группа (рисунок 2-а). При ее проектировании учитывались требования Международной системы мониторинга. Инфразвуковая группа состоит из четырех пунктов (рисунок 2-б), три из которых находятся в вершинах равностороннего треугольника, четвертый – в центре этого треугольника. Апертура группы – 1 км.

Еще одна сейсмическая станция, входящая в глобальную систему мониторинга IRIS/IDA (сейсмическая станция KURK) установлена в шахте в непосредственной близости от одного из элементов инфразвуковой группы (I3).

ЭТАПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ИНФРАЗВУКОВОЙ ГРУППЫ «КУРЧАТОВ»

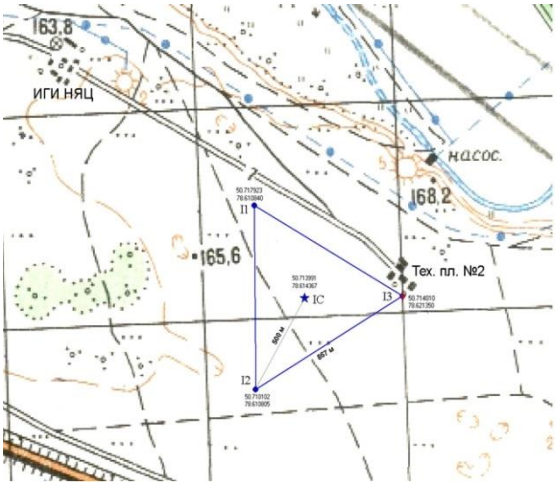
На рисунках 3 – 6 показаны сюжеты строительства приборных подземных и наземных сооружений, строительства элементов инфразвуковой группы.

Выбранная конструкция сооружений представляется наиболее оптимальной в условиях резко-континентального климата, характерного для места установки станции.

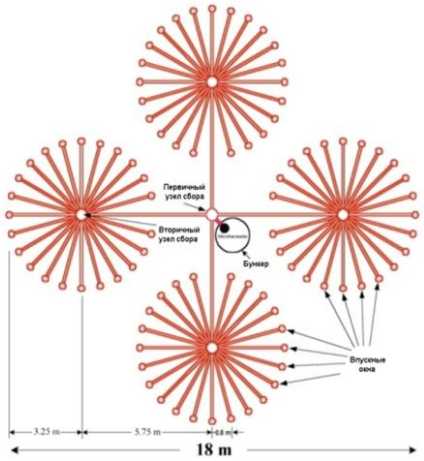
Новая инфразвуковая группа оснащена микробарометрами MB2005 (“Martec”, Франция) и регистраторами CMG-DM24S6-EAM (“Guralp”, Великобритания), представленными на рисунке 7. Система шумоподавления представляет собой четыре ортогональные радиально-лучевые системы сбора с 24 входными портами для каждого элемента.

Часы регистраторов синхронизируются сигналами GPS. Передача информации со всех элементов группы осуществляется по проводным кабельным линиям в центр сбора данных на технической площадке № 2 (рисунок 2-а) с использованием кабельных модемов VDSL. Для накопления поступающей информации и её дальнейшей передачи применяется программа Scream, стандартная для Guralp. Из центра сбора в г. Курчатове данные по интернет-каналам передаются для обработки в Центр данных (г. Алматы).

В состав группы входит метеостанция Vantage-Pro2 Plus (DavisInstruments, США) – рисунок 8.



а – схема на топографическом плане



б – конструкция системы шумоподавления на элементе группы

I1, I2, I3 и IC – элементы группы

Рисунок 2. Инфразвуковая группа Курчатов





Рисунок.3. Конструкция подземных приборных сооружений



Рисунок 4. Конструкция наземных сооружений



Рисунок 5. Сборка подземной и надземной частей приборных сооружений (слева), монтаж радиально-лучевых систем сбора акустических сигналов (справа)



Рисунок 6. Внешний вид одного из элементов инфразвуковой группы «Курчатов» (кустарник по периметру ограды для уменьшения ветровых помех)





Рисунок 7. Регистратор CMG-DM24S6-EAM (слева) и микробарометры MB2005 (справа)





Рисунок 8. Метеостанция (слева) и пульт метеостанции рядом с компьютером сбора метеоданных (справа)

Выявление и локализация событий ведется с использованием программного обеспечения PMCC (Progressive Multi-Channel Correlation – Прогрессивный многоканальный корреляционный метод), предоставленного Комиссариатом атомной энергии Франции (CEA-DASE-LDG).

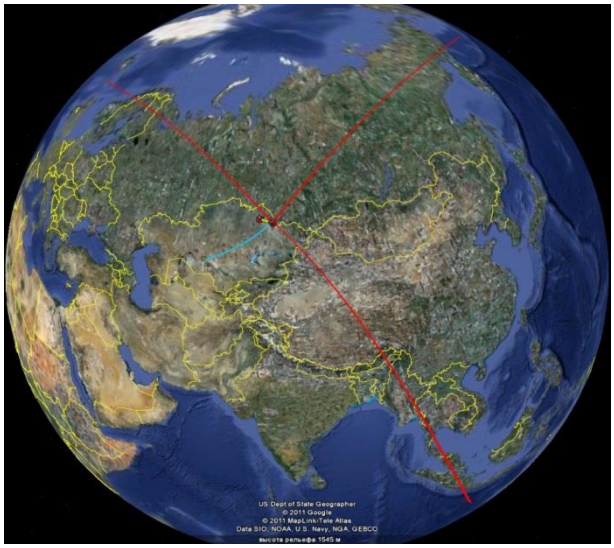
ТЕСТИРОВАНИЕ ИНФРАЗВУКОВОЙ ГРУППЫ «КУРЧАТОВ»

Проведено тестирования новой инфразвуковой группы в течение периода декабрь 2010 – июль 2011гг. Было получено 4.74 Гб исходных данных, по результатам обработки которых выполнено 3 560 детектирований.

Изучение природы детектирований позволило выделить следующие основные типы источников акустических сигналов, зарегистрированных группой:

- Микробаромы, генерируемые сильнейшими штормами в мировых океанах.
- Карьерные взрывы.
- Запуски ракет-носителей (РН) с космодрома Байконур.

На рисунке 9 представлены схематические траектории этих сигналов.



Линии – трассы сигналов: красные – генерируемых микробаром,
синяя – запусков с космодрома «Байконур»,
зеленая – карьерных взрывов вблизи г. Экибастуз

Рисунок 9. Траектории сигналов, регистрируемых инфразвуковой группой «Курчатов»

На рисунке 10 показано азимутальное распределение источников микробаром, соответствующее регионам генерации: 45° – север Тихого океана, 135° – юг Индийского океана и 300° – север Атлантического океана.

На рисунке 11 показана проекция на дневную поверхность траектории выхода на орбиту ракет носителей Протон и Союз, запускавшихся с космодрома «Байконур».

На рисунке 12 показаны примеры волновых форм, определений азимута на источник и кажущейся скорости для событий, зарегистрированных инфразвуковой группой.

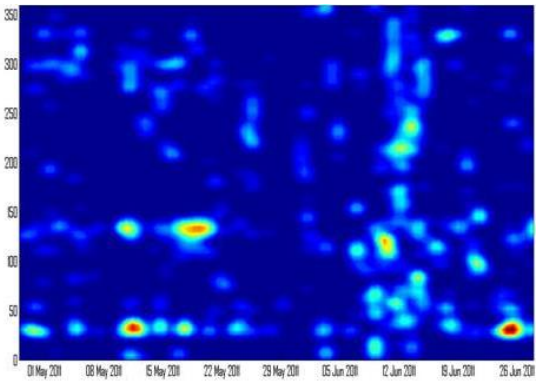


Рисунок 10. Азимутальное распределение сигналов от микробаром, зарегистрированных инфразвуковой группой «Курчатов»

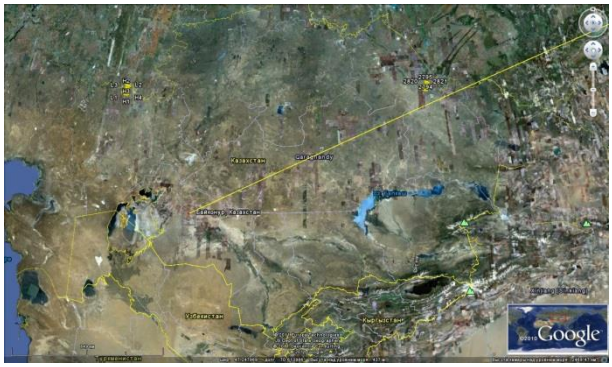
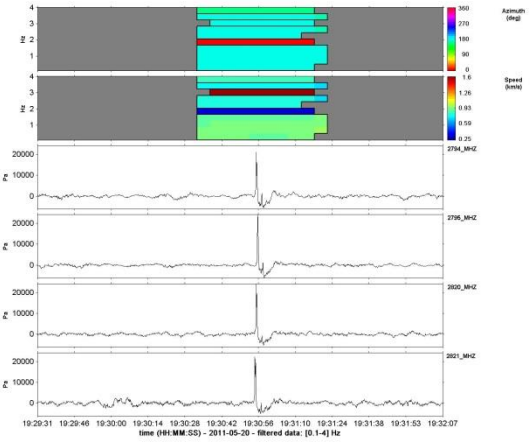
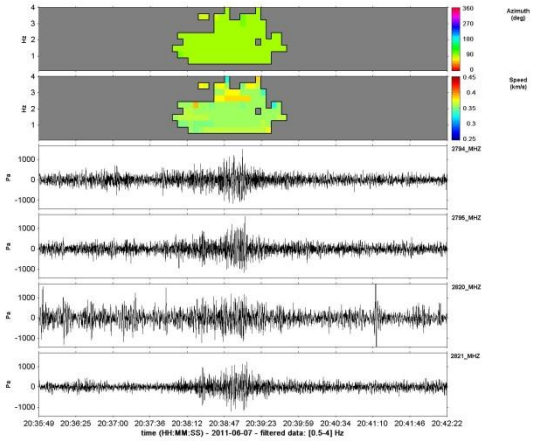


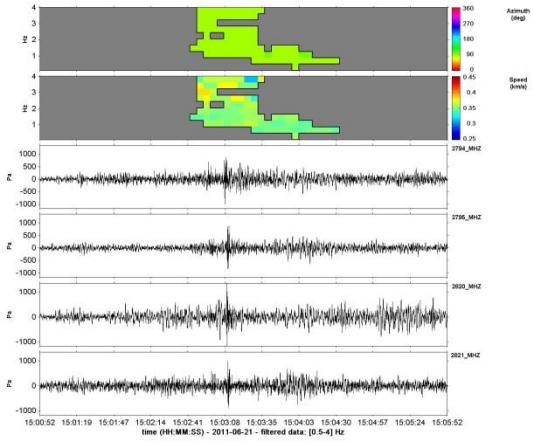
Рисунок 11. Траектории ракет Протон и Союз, запускавшихся в мае – июне 2011 с космодрома Байконур и зарегистрированных инфразвуковой группой «Курчатов».



а – Протон/Бриз-М, 20 мая 2011 г.



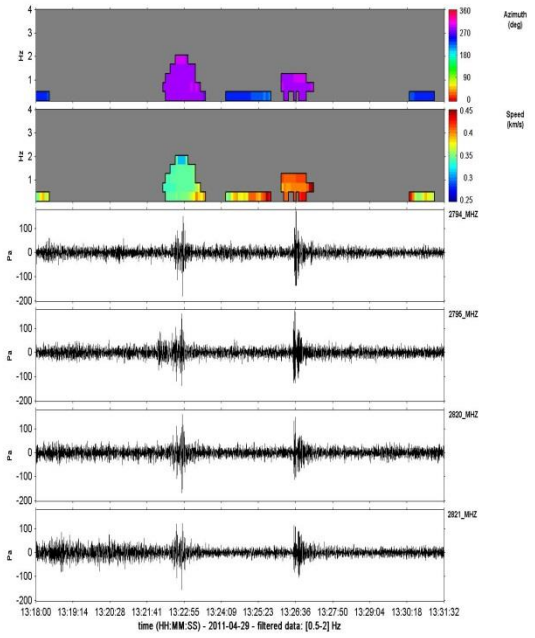
б – Союз ФГ, 7 июня 2011 г



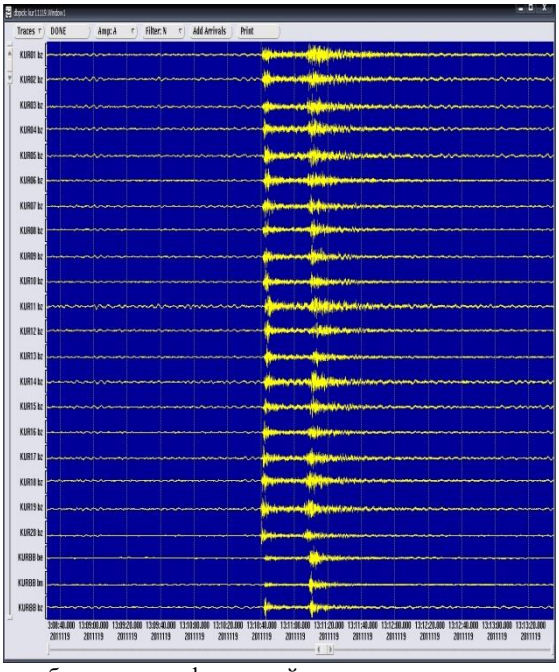
в – Союз-У, 21 июня 2011 г.

Рисунок 12. Пример волновых форм, определения азимута на источник и кажущейся скорости сигнала от запуска ракет-носителей

Важным применением инфразвуковых данных является распознавание природы сейсмического события, путем разделения взрыва и землетрясения. На рисунках 13, 14 приведены примеры записи карьерных взрывов в районе Экибастуза и на СИП, зарегистрированных как сейсмической группой AS058-Курчатов, так и инфразвуковой группой «Курчатов».

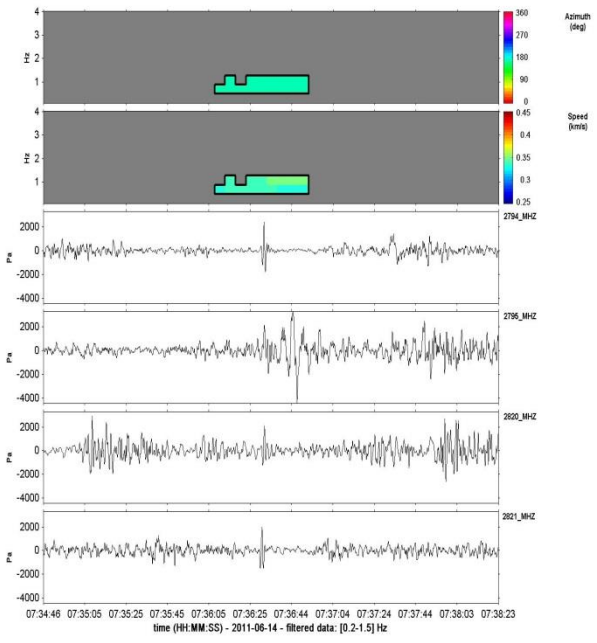


а – волновые формы, азимут на источник и кажущаяся скорость акустического сигнала на инфразвуковой группе «Курчатов»

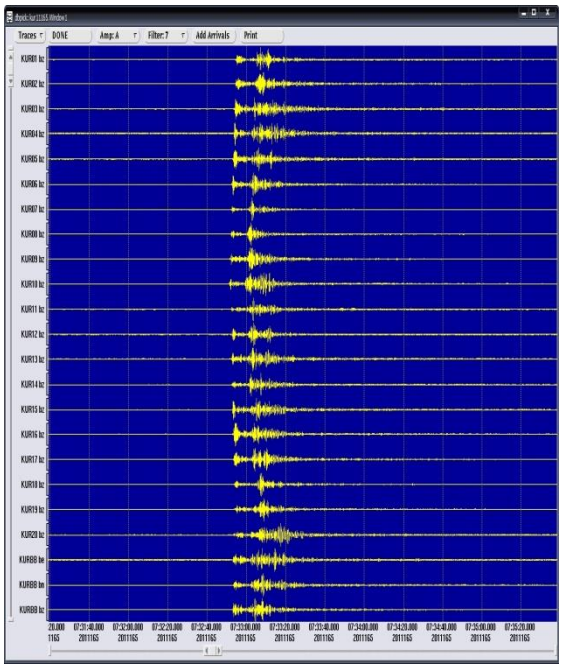


б – волновые формы сейсмических сигналов, зарегистрированных сейсмической системой группирования AS058-Курчатов

Рисунок 13.Результаты регистрации взрыва на одном из карьеров г. Экибастуз, 29 апреля 2011 г. инфразвуковой и сейсмической группами в Курчатове



а – волновые формы, азимут на источник и кажущаяся скорость акустического сигнала, зарегистрированного инфразвуковой группой «Курчатов»



б – волновые формы сейсмического сигнала, зарегистрированного сейсмической системой группирования AS058-Курчатов

Рисунок 14. Результаты регистрации взрыва на угольном карьере Каражыра (СИП) 14 июня 2011г. инфразвуковой и сейсмической группами в Курчатове

На рисунке 15 приведена статистика данных, накопленных инфразвуковой группой «Курчатов» за 10 месяцев 2012 г. Всего за указанный период в бюллетени занесено около 50 000 детектированных различных событий.

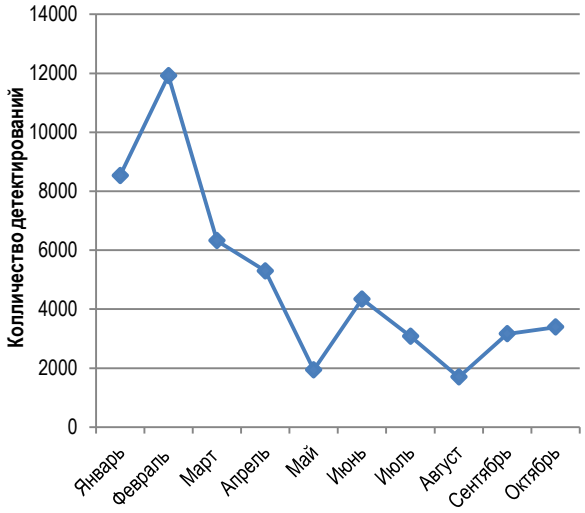


Рисунок 15. Количество выделенных сигналов от различных источников по результатам работы инфразвуковой группы «Курчатов» за 2012 г. (по 19 октября)

Заключение

На северо-востоке Казахстана построена новая инфразвуковая станция. Она оснащена современным оборудованием. Приборные сооружения спроектированы и построены таким образом, что суровые климатические условия северо-восточного Казахстана не должны оказать влияния на качество получаемой информации.

Станция удачно расположена относительно карьеров в Восточном Казахстане (что полезно для распознавания природы сейсмоакустических источников) и космодрома Байконур (что полезно для регистрации запусков космических аппаратов).

Тестирование инфразвуковой группы «Курчатов», проведённое в 2011 г., показало, что новая станция способна регистрировать в непрерывном режиме и на необходимом качественном уровне акустические сигналы от различных источников – карьерных взрывов, запускаемых космических аппаратов, микробаром и пр., и её результаты могут быть использованы совместно с сейсмической и другой информацией для уточнения параметров событий. Таким образом, обеспечивается возможность комплексного мониторинга событий с использованием сейсмического и акустического методов, что улучшит качество определения параметров регистрируемых событий (землетрясений, взрывов и др.).

ЖАҢА «КУРЧАТОВ» ИНФРАДЫБЫСТЫҚ ТОБЫ

Беляшов А.В., Донцов В.И., Дубровин В.И., Кунаков В.Г., Смирнов А.А.

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Курчатов қаласында (№ 2 техникалық алаңы жанында) 2010 ж. салынған, төрт пунктіден тұратын (үшеуі – теңқабырғалы үшбұрыштың төбелерінде, төртіншісі – оның орталығында) жаңа инфрадыбыстық тобы сипатталған. Топтың апертурасы – 1 км. Курчатов инфрадыбыстық станцияның 2011 ж. жүргізілген тестілеуі әр көздерден акустикалық сигналдарды ұздіксіз режимінде және қажетті сапалық деңгейінде тіркеуіне қабілеттілігін көрсеткен.

NEW INFRASOUND ARRAY “KURCHATOV”

A.V. Belyashov, V.I. Dontsov, V.I. Dubrovin, V.G. Kunakov, A.A. Smirnov

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The new infrasound array constructed in Kurchatov in 2010 (near Technical Site 2), including four observation points (three are in the corners of an equilateral triangle, and the fourth – in its center) is described. The aperture – 1 km. Tests conducted in 2011 showed that the new station is capable to record in continuous mode and at required level of quality acoustic signals from various sources.

УДК: 531.7:550.34

МЕТОДЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ЗАПИСЕЙ В СТАЦИОНАРНЫХ И МОБИЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУППАХ

[1)]Башилов И.П., [1)]Волосов С.Г., [2)]Королёв С.А., [1)]Николаев А.В.

[1)]Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия
[2)]Институт динамики геосфер РАН, Россия

Исходя из анализа причин сбоев, предложены способы надежной и точной синхронизации записей стационарных и мобильных сейсмических станций, входящих в состав как отечественных, так и зарубежных сейсмических групп. Основной подход состоит в периодической подстройке цикла выборки АЦП регистратора станции сигналом точного времени, формируемым GPS-приемником. Это позволяет не только установить соответствие каждого отсчета АЦП астрономическому времени, но и обеспечивает одновременность выборок АЦП всех станций сейсмической группы с точностью до 10 мкс, что особенно важно для решения ряда геофизических задач. Приведены результаты экспериментальных исследований и опытной эксплуатации разработанной аппаратуры.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровые сейсмические группы, создание которых было инициировано в связи с решением проблемы контроля подземных ядерных взрывов, к настоящему времени нашли широкое применение в практике экспериментальной сейсмологии и используются как для научных исследований, так и для решения прикладных задач. Группы весьма эффективно применяются для локации сравнительно слабых сейсмических событий (землетрясений и взрывов) на региональных дистанциях, а создание малоапертурных сейсмических антенн (МСА) даёт принципиальную возможность для дистанционного контроля сейсмической обстановки с высоким разрешением на обширных территориях [1].

Появление малогабаритных цифровых сейсмостанций с большим ресурсом автономной работы упростило создание стационарных и мобильных сейсмических групп и привело к их более широкому распространению. За последние 15–20 лет малоапертурные сейсмические группы GERESS, TRISAR, ARCESS, MHVAR и другие были установлены в Западной Европе и других регионах мира. Особое место среди МСА занимают мобильные сейсмические группы со свободной расстановкой сейсмометров, что расширяет возможности полевых сейсмических наблюдений. Такие группы формируются в определённых районах на непродолжительное время для проведения оперативных сейсмологических исследований, например, при локации карьерных взрывов или исследования сейсмичности местности для определения возможности строительства различных сооружений, при поиске полезных ископаемых [2].

Одним из необходимых критериев, определяющих соответствие совокупности точек сбора сейсмической информации признакам сейсмической группы, является временная синхронизация всех входящих в нее станций [3]. Существует большое количество способов синхронизации данных, регистрируемых группами сейсмических станций. Наиболее простой из них – запуск регистрации всех станций группы сигналом точного времени [4]. Точность синхронизации в этом случае определяется в основном отклонением внутренних часов каждой из сейсмостанций от реального времени, связанным с погрешностью кварцевого генератора [5], что приводит к ужесточению требований к точности кварца и к усложнению алгоритма обработки записей. Появление системы GPS существенно упростило задачу позиционирования и синхронизации сейсмостанций [6]. Тем не менее, в процессе эксплуатации систем синхронизации сейсмостанций с помощью приёмников GPS была выявлена их ненадёжность. Так, в [7] отмечается, что на ряде европейских малоапертурных сейсмических антенн (МСА), в частности, в группе GERESS в определенные интервалы регистрации, записи некоторых станций оказываются рассогласованными во времени по сравнению с большинством нормально работающих станций. Причем, часть из них имеет сдвиг, кратный 1 секунде, а часть – в пределах 1 секунды. Авторами данной статьи разработан метод временной коррекции записей путем анализа фаз микросейсмического шума. Данный метод предполагает достаточно сложную обработку имеющихся сейсмограмм и не всегда приводит к успеху, так как имеется зависимость от конкретной конфигурации МСА. Такие же отклонения от астрономического времени, кратные 1 секунде и менее секунды, были обнаружены и на временных сейсмических группах, осуществлявших сейсмический мониторинг в районе пос. Сосновый Бор в 2010 г., а также в районе предполагаемого строительства Нижегородской АЭС [8, 9]. В этих МСА использовались автономные цифровые сейсмостанции (АЦСС) REFTEK-130. Восстановление времени сейсмограмм в этом случае было проведено исходя из поправок, которые выдают в процессе работы сами станции REFTEK в качестве служебной информации. Учет поправок, хотя и позволяет обеспечить погрешность привязки записей к астрономическому

времени до 10 мкс, но значительно затрудняет процесс их подготовки к обработке.

Аналогичные сбои синхронизации станций также имели место в работе MCA MHVAR [10], которые устранялись путем совершенствования аппаратной части системы передачи данных в центр их сбора.

СИНХРОНИЗАЦИЯ ЗАПИСЕЙ ТОЧЕК НАБЛЮДЕНИЯ В СТАЦИОНАРНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРУППАХ

Как было отмечено выше, в настоящее время наиболее простой и эффективный способ синхронизации сигналов связан с использованием GPS-приемников. С этой целью обычно используются текстовые сообщения приемников GPS в соответствии со стандартными протоколами NMEA, TSIP и др., передаваемые в последовательном коде RS-232 каждую секунду [11]. В них содержится информация о географических координатах приемника и текущем времени. Кроме того, приемник выдает на одном из своих выходов синхроимпульсы PPS, передние фронты которых с высокой точностью (до 1 мкс) синхронизированы с началом каждой секунды астрономического времени.

Анализ сбоев синхронизации, в сейсмических группах, перечисленных выше, показал, что они возникают по следующим причинам. Во-первых, время передачи сообщения приёмника GPS не связано с фронтом соответствующего сигнала метки PPS, а передаётся лишь в течение данной секунды. Во-вторых, оно может сопровождать не каждую метку, особенно в условиях плохого приёма сигнала спутников GPS. В-третьих, операционная система компьютера, обеспечивающего сбор данных со всех сейсмических каналов, выполняя свои внутренние задачи, может откладывать создание нового файла сейсмических данных на время более секунды. Причём, происходить это может по-разному для разных каналов, т. к. операционная система обрабатывает потоки данных различных каналов независимо. Всё это в совокупности затрудняет идентификацию времени секундной метки, что приводит к возникновению ошибки синхронизации сейсмических записей как с астрономическим временем, так и между разными каналами, на величину, кратную единицам секунд (обычно 1 – 2 секунды). Кроме того, в стационарных группах, построенных из автономных сейсмических станций, принятый стандарт записи сейсмограмм в память станции предусматривает, что весь поток регистрируемых данных разбивается на последовательность файлов, например, получасовых. В каждом созданном файле по GPS фиксируется лишь время первого отсчета АЦП, записанного в него. Время же остальных отсчетов рассчитывается по внутренним часам сейсмостанции, которые имеют погрешность относительно астрономического времени. Эта погрешность, вызывающая сдвиги сейсмограмм на времена менее 1 секунды, является систематической, поэтому она может быть учтена при последующей обработке данных путем составления поправочных таблиц или графиков. Однако для каждой станции вид этих графиков индивидуален, что практически исключает возможность автоматизации введения временных поправок для каждого дискрета сейсмограммы и, тем самым, существенно усложняет процесс обработки полученной информации.

Выявленные недостатки могут быть устранены с помощью непрерывной регистрации всеми станциями группы одновременно с сейсмическими данными какого-либо сигнала, связанного с астрономическим временем [12]. При обработке данных синхронными считаются те отсчеты АЦП, которые соответствуют одинаковой фазе этого сигнала. Таким образом, достигается точность синхронизации в пределах одного периода оцифровки независимо от продолжительности сейсмологических наблюдений. Этот метод не получил широкого распространения в своем оригинальном виде из-за существенного усложнения сейсморегистрирующей аппаратуры и отсутствия стандартных программ обработки сейсмических данных, позволяющих привязывать регистрируемые данные к произвольному сигналу. Однако метод может быть легко адаптирован к существующему техническому и программному обеспечению, если в качестве опорного сигнала использовать сообщения приемников GPS.

Очевидно, что причина ненадежной работы системы синхронизации заключается в основном в том, что время между вырабатываемыми приемником GPS сигналами точного времени сравнимо с временами задержек приема и обработки данных операционной системы компьютера. Наиболее удобно, чтобы импульсы синхронизации вырабатывались не в начале каждой секунды, как это реализовано в стандартных GPS-приёмниках, а в начале каждой минуты. За это время, с одной стороны, ошибка внутренних часов АЦП не превысит 600 мкс при работе со средним по точности (10^{-5}) кварцевым генератором. С другой стороны, работа операционной системы компьютера не может внести такое большое рассогласование между текстовым сообщением приемника GPS и сигналом точного времени. Не страшно также и пропадание нескольких сообщений приёмника из-за плохой связи со спутниками, так как за минуту их поступает шестьдесят. Для синхронизации цифровых сейсмостанций с помощью минутных меток PPM был разработан формирователь минутной метки, блок-схема которого приведена на рисунке 1.

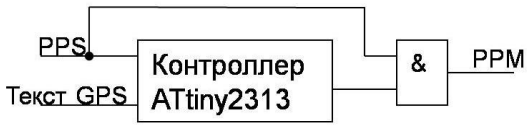


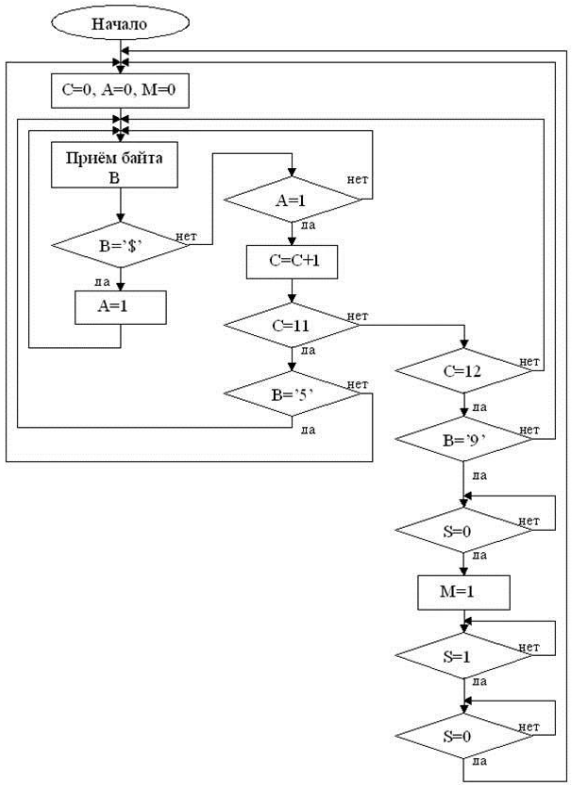
Рисунок 1. Блок-схема формирователя минутной метки

Формирователь состоит из контроллера и логического элемента И (&). В качестве контроллера может быть использован любой микропроцессор с интерфейсом UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), пригодным для приёма данных по протоколу RS-232, например, ATtiny2313. На вход UART контроллера подается текстовое сообщение приёмника GPS, а на вход общего назначения – сигнал PPS (Pulse Per Second). На выходе элемента И формируется минутный сигнал точного времени PPM, соответствующий началу каждой минуты астрономического времени.

Принцип работы формирователя минутной метки может быть рассмотрен на примере протокола RMC (**R**ecommended **M**inimum sentence **C**). Все байты сообщения приемника являются кодами символов в ASCII кодах. Идентификатором начала сообщения по всем протоколам NMEA (National Marine Electronics Association), в том числе и RMC, является байт, кодирующий символ $. Байт, кодирующий значение десятков секунд текущего времени, является одиннадцатым с начала сообщения, не считая идентификатора начала сообщения, а байт, кодирующий значение единиц секунд, – двенадцатым. Контроллер работает в соответствии с алгоритмом, изображённым на рисунке 2.

После включения питания устройства программа контроллера обнуляет свой счетчик – байт С и признак получения идентификатора начала сообщения А, а также выставляет логический «0» на выходе контроллера (М=0). Этот логический «0» поступает на второй вход элемента И, обеспечивая установление «0» и на выходе PPM элемента И, независимо от состояния его первого входа PPS. Далее программа ожидает прихода байта от приемника на вход UART контроллера. Получив байт, программа проверяет, не является ли он началом сообщения, т.е. кодом символа $. Если не является, то проверяется текущее значение переменной А. А=1 означает, что идентификатор начала текущего сообщения был уже получен, и программа должна перейти к поиску и проверке байтов, содержащих значение секунд в данном сообщении. Если А=0, то код начала сообщения еще не был получен, и программа возвращается к ожиданию следующего байта от приемника. При получении байта с кодом символа $ программа устанавливает А=1 и возвращается к ожиданию следующих байтов от приемника для выделения из них байта с кодом секунд.

После того, как был обнаружен идентификатор начала (А=1), программа увеличивает на единицу состояние счетчика байтов С и проверяет значение этого счетчика. Если С не равно 11 или 12 (именно в этих по счету байтах находится информация о секундах), контроллер возвращается к ожиданию следующего байта. Если С=11 (получен байт, содержащий значение десятков секунд), то проверяется не равен ли этот байт коду символа 5, так как необходимо выделить сообщение, соответствующее 59-й секунде. Если этот байт В не равен 5, то данное сообщение не относится к 59-й секунде, поэтому программа прекращает поиск байтов, содержащих секунды, сбрасывает счетчик (С=0) и признак получения идентификатора начала сообщения (А=0), оставляет М=0 и на выходе контроллера сохраняется низкий логический уровень, не допускающий прохождения каких-либо сигналов на выход элемента И. Если проверяемый байт В=5, то программа возвращается к ожиданию следующего байта для дальнейших проверок.



A – признак получения идентификатора начала сообщения,
C – счетчик принятых от приемника семи байт после идентификатора начала сообщения; B – значение принятого от приемника байта,
S – состояние входа PPS контроллера, M – состояние его выхода

Рисунок 2. Алгоритм работы контроллера формирователя минутной метки

При получении следующего байта будет выполнено условие С=12. Это означает, что в данном байте закодировано значение единиц секунд. Если В не равен 9, то текущее сообщение не относится к 59-й секунде, поэтому программа сбрасывает счетчик (С=0) и признак получения идентификатора начала сообщения (А=0), оставляет М=0, а на выходе контроллера сохраняется низкий логический уровень, не допускающий прохождения каких-либо сигналов на выход элемента И. Ситуация, когда при проверке 12-го байта оказывается В=9, означает, что данное сообщение относится к 59-й секунде минуты, и необходимо разрешить прохождение на выход формирователя импульса секундной метки с приемника GPS. Для этого программа проверяет состояние вхо-

да PPS контроллера, а все оставшиеся до конца сообщения байты приемника контроллером игнорируются. Так как неизвестно, закончился ли в момент обнаружения 59-й секунды импульс секундной метки, соответствующий этой секунде, то программа ожидает, когда на входе PPS установится низкий логический уровень S=0. Как только выполнение этого условия обнаружено, программа устанавливает M=1, и выход контроллера переходит в состояние «1». В это же состояние перейдет и второй вход элемента И, разрешая тем самым прохождение импульса PPS через первый вход элемента И.

Программа контроллера последовательно дожидается начала импульса секундной метки (S=1) и его окончания (S=0), после чего переходит в исходное состояние, запрещая прохождение на выход формирователя минутной метки всех остальных импульсов, пока не будет обнаружено сообщение 59-й секунды следующей минуты. Таким образом, формирователь минутной метки пропускает на свой выход только импульсы PPS, соответствующие первой секунде каждой минуты. При этом ухудшение соответствия переднего фронта импульса началу астрономической секунды определяется только временем задержки элемента И, составляя несколько наносекунд. При работе по изложенному принципу синхронизация сейсмических данных одного сейсмического канала с астрономическим временем производится в соответствии с временной диаграммой, приведенной на рисунке 3.

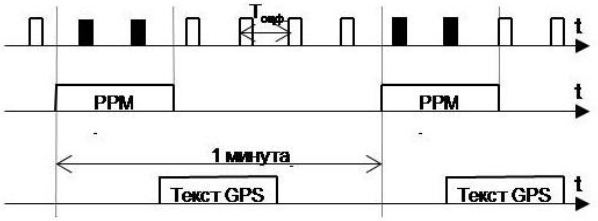


Рисунок 3. Временная диаграмма синхронизации сейсмических сигналов с астрономическим временем

Оцифрованные данные передаются на компьютер через промежутки времени $T_{оцф}$ (период оцифровки), определяемые настройкой АЦП. Точность формирования периода оцифровки зависит от погрешности его кварцевого генератора, поэтому, спустя некоторое время, моменты оцифровки данных уходят от расчетных значений. Чтобы иметь возможность скорректировать этот уход при обработке информации, АЦП вместе с цифровым значением сейсмического сигнала передает в компьютер также значение сигнала секундной метки, которое было в момент преобразования в цифровой код. В результате отсчеты АЦП, поступившие во время сигнала PPM, будут промаркированы соответствующим образом (обозначены черным цветом на рисунке 3). Так как передний фронт этого сигнала с точностью до 1 мкс привязан к началу минуты астрономического времени, то и первый промаркированный отсчет записи можно считать соответствующим началу минуты. Время всех последующих отсчетов до поступления новой секундной метки определяется расчетным путем, исходя из известного периода оцифровки. Для определения времени самих минутных меток используются текстовые сообщения приемника GPS, которые поступают в компьютер вместе с метками. Большое время (1 минута) между метками исключает ошибки в их сопоставлении с сообщениями GPS. Таким образом, восстанавливается астрономическое время всех отсчетов записи с точностью до интервала между опросами АЦП.

Разработанная система синхронизации сейсмических записей внедрена в 2010 г. на МСА «Михнево». С этого времени сбои в работе МСА, связанные с «расползанием» записей, не возникали. Кроме того, формирователь минутной метки нашёл широкое применение в различных лабораториях ИДГ РАН при проведении сейсмологических исследований. В частности, он был использован для синхронизации станций сейсмических групп при проведении работ по исследованию Балтийского щита в районе Алакурти по международному проекту POLENET/ LAPNET в 2008 г., а также при сейсмическом мониторинге местности в районе Ленинградской АЭС в 2010 г. [8].

СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ АВТОНОМНЫХ СЕЙСМОСТАНЦИЙ В ГРУППАХ

Для решения целого ряда геофизических задач, таких как определение местоположения эпицентра источников сейсмических колебаний, построение скоростных моделей строения земной коры и мантии и т.п., требуется максимально высокая синхронизация сейсмических записей разными точками группы. Желательно, чтобы каждый отсчет АЦП всех станций, удаленных одна от другой на расстояния от сотен метров до нескольких километров, производился одновременно.

Одной из причин неточной синхронизации, подлежащей устранению для успешного решения вышеперечисленных задач, является то, что моменты захвата сейсмических данных для оцифровки определяются внутренним тактовым генератором станции и никак не связаны с моментами поступления передних фронтов сигналов PPS, вырабатываемых GPS-приемником. В результате время, соответствующее данному переднему фронту сигнала PPS, приписывается ближайшему после него отсчету АЦП, который на самом деле мог бы быть произведен как в момент прихода этого фронта, так и в любое другое время после этого и не превышающее периода оцифровки. Это означает, что фактически точность привязки сейсмических данных к астрономическому времени ограничена периодом оцифровки АЦП. Для большинства областей сейсмологических исследова-

ний эта погрешность несущественна, но для задач, связанных с восстановлением поляризации сейсмического сигнала требуется максимальная синхронность выборок АЦП для всех сейсмических каналов группы.

Повысить точность синхронизации, используя формирователь минутной метки, можно лишь увеличивая частоту выборки данных АЦП. В то же время для повышения качества цифровых записей сейсмических волн частоты оцифровки выше 100–200 Гц не требуется, так как наибольший интерес представляют колебания земной поверхности с частотами ниже 40 Гц. Уменьшение периода между выборками приводит к повышению шумов сигма-дельта АЦП, связанному с уменьшением его числа децимации, а, следовательно, и к снижению динамического диапазона сейсмостанции. Отсюда можно заключить, что простой способ синхронизации минутной меткой применим только в тех случаях, когда допускается расхождение сейсмограмм, записанных разными станциями, в пределах 5–10 мс. В связи с этим возникает необходимость разработки методов и средств для синхронизации регистрируемых данных с максимально высокой точностью. Эта задача может быть решена путем исключения из участия в коррекции периода выборки АЦП бортовых часов, как это имеет место в станциях REFTEK, и приводит к возникновению всевозможных поправок. Коррекция периода выборки АЦП и одновременно часов станции может быть произведена непосредственно сигналами PPS GPS-приемника или PPM формирователя минутной метки. В этом случае нет необходимости запоминать, в какой момент и на сколько отклонились бортовые часы от времени по GPS и на сколько при этом сдвигаются моменты оцифровки данных, обрабатывая потом эти данные специальной программой для формирования файла поправок. Точность же привязки данных к астрономическому времени не ухудшается.

Возможность реализации такого способа синхронизации подтверждена разработанной для этого схемой регистратора цифрового сейсмометра с программной коррекцией моментов оцифровки по сигналам GPS-приемника (рисунок 4).

Регистратор содержит формирователь *1* сигналов PPS и PPM, АЦП *2*, контроллер *3*, тактовый генератор *4*, блок памяти *5*. Аналоговый сигнал с сейсмоприемника поступает в АЦП *2*, где происходит его оцифровка. Для управления выборкой цифровых данных из него выход синхронизации *7* контроллера *3* соединен с входом синхронизации АЦП *2*, а вход *8* разрешения приема данных – с выходом готовности данных. Сигнал PPS с выхода формирователя *1* подается на вход прерываний *6* контроллера *3*, а PPM – на его вход *9* общего назначения. В качестве формирователя *1* может быть использован приемник GPS с формирователем минутной метки. Выход PPS блока *1* используется для коррекции периода выборки АЦП *2*, а выход PPM – для создания маркеров в структуре сейсмической записи, упрощающих ее расшифровку.

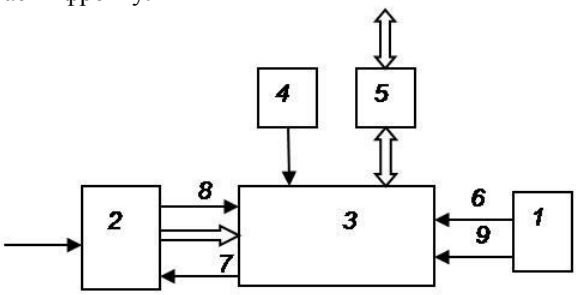
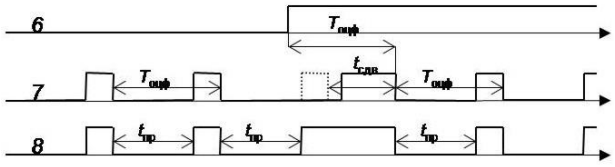


Рисунок 4. Блок-схема сейсмического регистратора с коррекцией моментов выборки данных АЦП

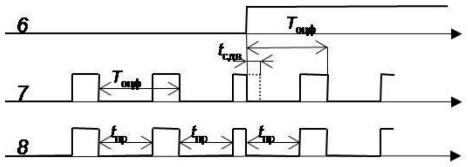
Контроллер *3* может быть выполнен на любом микропроцессоре, обладающем необходимым количеством портов ввода–вывода и интерфейсов (в частности, таймером для формирования цикла опроса АЦП *2* и входом внешних прерываний). Таким микропроцессором может быть, например, ATmega165 серии AVR. Кроме того, АЦП *2*, контроллер *3* и тактовый генератор *4* конструктивно могут быть выполнены и в виде единого узла, например микросхемы MSC1213.

Основная программа контроллера *3* обеспечивает управление работой АЦП *2*, прием данных с него и с формирователя *1* с частотой, кратной частоте тактового генератора *4*, а также запись данных в блок памяти *5*. Программа обработки прерывания запускается по перепаду напряжения на входе прерываний *6* контроллера *3* и перезапускает цикл выборки АЦП *2*.

Работа устройства поясняется временными диаграммами, приведенными на рисунке 5.



а – переключение из «0» в «1»



б – переключение из «1» в «0»

Рисунок 5. Временные диаграммы формирования цикла выборки АЦП сейсмического регистратора

При отсутствии положительного перепада напряжения (из «0» в «1») на входе *6* контроллера *3* последний формирует на выходе *7* импульсы с периодом $T_{оцф}$, соответствующим периоду выборки АЦП *2* по основному алгоритму работы программы контроллера *3*, изображенному на рисунке 6. Начало ка-

ждого преобразования аналогового сигнала инициируется отрицательным фронтом этих импульсов (переключение из «1» в «0» на входе синхронизации АЦП *2*). Получив указанный фронт на входе синхронизации, АЦП *2* начинает преобразование и одновременно сбрасывает в «0» выход готовности данных. Он остается в этом состоянии на время $t_{пр}$, пока не закончится преобразование и данные не станут доступными для чтения контроллером *3*. До тех пор, пока идет преобразование АЦП *2*, подавать на него сигнал синхронизации не допускается.

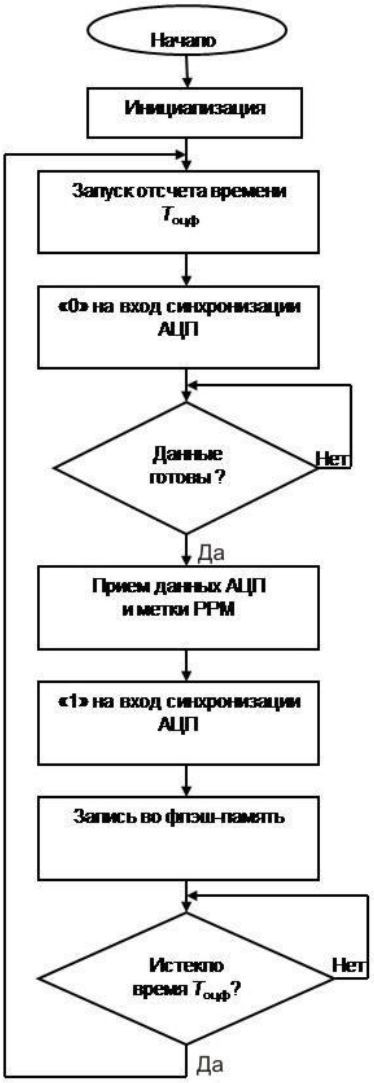


Рисунок 6. Алгоритм основной программы контроллера регистратора

Низкий уровень напряжения с выхода готовности данных АЦП *2* поступает на вход разрешения приема данных *8* контроллера *3*, сигнализируя последнему о том, что преобразование не завершено и данные для чтения не готовы. По окончании преобразования АЦП *2* изменяет на выходе готовности данных уровень напряжения с низкого на высокий. Получив этот сигнал, контроллер *3* принимает данные с АЦП *2* и одновременно значение уровня сигнала PPM на входе *9* и записывает их в блок памяти *5*, после чего переводит выход *7* в состояние «1». Когда контроллер *3* отсчитает необходимое количество импульсов, поступивших на него с выхода тактового генератора *4* за время от начала запуска последнего преобразования, т.е. пройдет время $T_{оцф}$, он вновь формирует отрицательный фронт на своем выходе *7* синхронизации, тем самым запуская новый цикл оцифровки данных.

В начале каждой секунды формирователь *1* подает на вход прерываний *6* контроллера *3* положительный перепад напряжения, по которому выполнение его основной программы прерывается, и запускается выполнение программы обработки прерывания в соответствии с алгоритмом, представленном на рисунке 7.

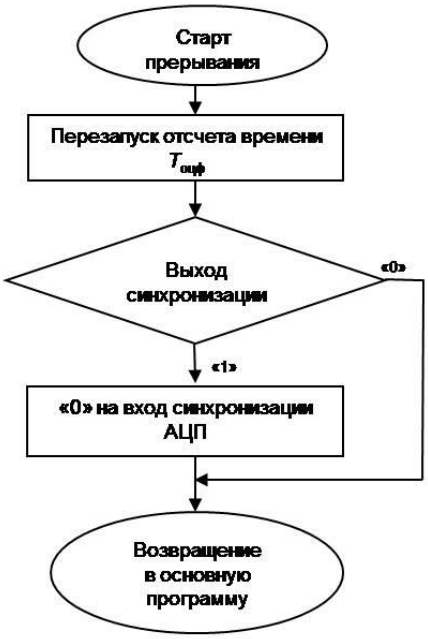


Рисунок 7. Алгоритм программы обработки прерываний по сигналам PPS

Эта программа перезапускает отсчет времени цикла оцифровки $T_{оцф}$, а затем проверяет состояние выхода синхронизации *7* контроллера *3*. Если в этот момент на выходе *7* низкий уровень, т.е. АЦП *2* находится в режиме преобразования или контроллер *3* еще не принял из АЦП *2* последние оцифрованные данные, то на этом программа обработки прерывания завершается (рисунок 5-*а*). В противном случае, когда контроллер *3* просто ждет окончания цикла оцифровки, программа обработки прерывания формирует отрицательный фронт на выходе *7*, вызывая начало преобразования АЦП *2*, и после этого завершается (рисунок 5-*б*). После завершения обработки прерывания контроллер *3* возвращается в то место основной программы, из которого он вышел на прерывание.

Таким образом, поступление на вход *6* контроллера *3* переднего фронта сигнала точного времени инициирует начало нового цикла выборки АЦП *2*. Это дает возможность определения времени ближайшего и всех последующих моментов оцифровки аналоговых данных относительно начала сигнала PPS.

Обычно частота оцифровки используется такой, что в одну секунду укладывается целое количество периодов $T_{оцф}$. В таком случае начало следующего сигнала PPS должно совпасть с началом периода выборки. Но из-за отклонений частоты генератора *4* от номинала, а также влияния внешних факторов в реальности этого не происходит. Относительная погрешность периода сигнала генератора *4* на кварцевом резонаторе среднего качества составляет 10^{-5}, т.е. за 1 с ошибка определения времени оцифровки не превысит $t_{сдв}$=10 мкс. Каждая новая метка точного времени производит сдвиг начала периода оцифровки в ту или иную сторону на величину $t_{сдв}$, обеспечивая тем самым подстройку моментов оцифровки под астрономическое время.

В разработанной схеме моменты оцифровки данных синхронизируются фронтами секундных меток, вырабатываемых приемниками глобального позиционирования. Эти метки поступают на все сейсмометры сети, где бы они ни находились, одновременно с точностью до 1 мкс, обеспечивая расхождение между “одновременными” отсчетами разных сейсмометров, как было показано выше, не более 10 мкс. При этом сейсмические записи, получаемые с выхода регистраторов, не требуют никакой предварительной подготовки и могут сразу обрабатываться стандартными пакетами программ. Такой метод синхронизации может быть реализован не только программно, но и аппаратно [13].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ АВТОНОМНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Разработанные программные средства синхронизации были реализованы при создании регистратора АЦСС. Для проверки их эффективности было проведено сравнение работы регистратора с включенной подстройкой цикла выборки АЦП сигналами PPS и без подстройки. Оба режима работы станции обеспечивались путем разрешения или запрета контроллеру выхода на программу прерывания (рисунок 7). Испытания проведены в соответствии со схемой, представленной на рисунке 8. В обоих случаях запись велась во внутреннюю флэш-память. Частота регистрации была выбрана предельной для АЦСС данного типа (1 кГц).

В проведенном эксперименте исследовались только системы синхронизации, поэтому аналоговые сигналы на входы каналов регистратора не подавались. С помощью формирователя минутной метки в структуре кодировки первого отсчета АЦП, зафиксированного после наступления новой астрономической минуты, изменялся один специально предназначенный для этого бит. При расшифровке записей это позволяло определять реальное количество выборок АЦП за одну минуту (между двумя минутными метками) с точностью до периода оцифровки, который составляет на такой частоте 1 мс. Нетрудно рассчитать, что минутные метки должны повторяться в записи через каждые 60 000 отсчетов.

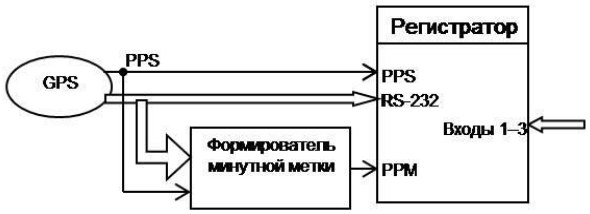


Рисунок 8. Схема для проверки эффективности коррекции цикла выборки АЦП регистратора

При эксперименте была проверена работа АЦСС последовательно с 10-ю кварцевыми резонаторами номиналом 6,144 МГц, приобретенными в разных торговых точках. На получасовых записях, сделанных в режиме с отключенной коррекцией циклов выборки АЦП, наблюдались отклонения количества отсчетов между минутными метками от идеального значения в пределах от –12 до +34 отсчетов. Для каждого кварцевого резонатора отклонения в течение периода наблюдения (получаса) были одинаковыми или отличались на единицу. После разрешения контроллеру программной подстройки циклов выборки АЦП количество отсчетов в минуту равнялось 60 000 для всех резонаторов. С использованием двух из них, давших максимальные отклонения (–12 и +34), были осуществлены записи продолжительностью более трех суток до полного исчерпания флэш-памяти АЦСС при работе на частоте 1 кГц. Отклонений количества отсчетов между минутными метками от номинального значения на этих записях также не обнаружено. Полученные результаты были подтверждены в ходе опытной, а затем и штатной эксплуатации АЦСС с разработанной системой синхронизации в составе МСА «Михнево» общей продолжительностью более двух лет. За это время на станции не было ни одного сбоя синхронизации, несмотря на не всегда устойчивую связь со спутниками GPS.

Для исследования надежности и точности синхронизации сейсмостанций в группе два регистратора АЦСС были включены по схеме, изображенной на рисунке 9.

Синусоидальный сигнал с генератора подавался одновременно на входы двух каналов каждого из двух регистраторов АЦСС. При этом каждый из регистраторов синхронизировался своим GPS-приемником Garmin 16x. Для обеспечения существенно разных условий приема сигналов спутников GPS,

антенны GPS-приемников размещались у окон на противоположных сторонах здания ИДГ РАН.

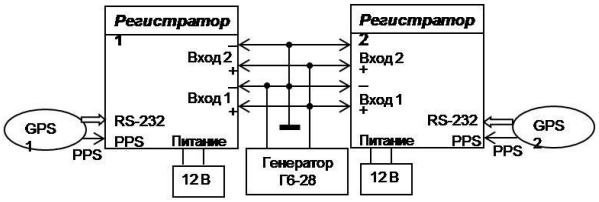


Рисунок 9. Схема испытаний системы синхронизации двух регистраторов АЦСС

Запись сигнала велась непрерывно во внутреннюю флэш-память обоих регистраторов на частоте оцифровки 200 Гц в течение 21 суток. Частота формируемого генератором синусоидального сигнала в это время изменялась от 0,7 до 40 Гц. В моменты изменения частоты регистрация не прекращалась.

По завершении регистрации записи были проанализированы относительно сдвига фаз записанных сигналов. Так как источник сигнала для обеих станций один, то расхождение фаз в каком-либо месте записи должно было свидетельствовать о сбое синхронизации регистраторов. На рисунке 10 показаны воспроизведенные сигналы, зарегистрированные каналами *1* исследуемых АЦСС непосредственно перед окончанием эксперимента.

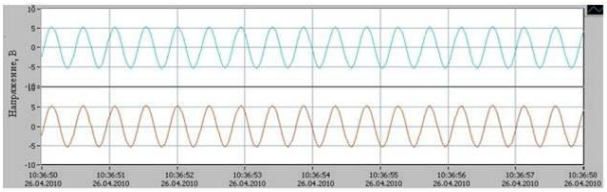


Рисунок 10. Записи сигналов каналов 1 двух регистраторов АЦСС через 21 день после начала регистрации

Как видно из рисунка 10, сдвига фаз, кратного 1 с, за 21 день работы не произошло. Более того, тщательная обработка записей за весь период регистрации показала, что не было ни одного расхождения фаз записанного сигнала генератора ни на одной частоте, т.е. нарушений синхронизации регистраторов не было. Данное исследование подтвердило надежность системы синхронизации АЦСС в группе с погрешностью, не превышающей периода оцифровки 5 мс.

Очевидно, что экспериментально определить точность синхронизации станций с погрешностью меньше периода оцифровки данным способом нельзя. Уменьшение же времени цикла АЦП приводит к увеличению шумов на записях и, соответственно, к снижению точности определения минимумов и максимумов синусоид. Тем не менее, полученный результат не опровергает теоретически рассчитанное значение погрешности синхронизации 10 мкс при точности используемого в приборе кварцевого резонатора 10^{-5}.

Две АЦСС, оснащенные описанными выше программными средствами синхронизации, использовались в составе временной малоапертурной сейсмической группы, выполнявшей сейсмический мониторинг территории в районе предполагаемого строительства Нижегородской АЭС [9]. Кроме указанных АЦСС, в сейсмическую группу входили семь станций REFTEK-130. За весь период работы с середины июня до конца августа 2011 г. сдвигов сейсмических записей АЦСС на величины, кратные секундам, как это имело место на группах GERESS и MHVAR, не было зафиксировано. Не было отмечено также и видимых сдвигов на меньшие величины. В то же время на станциях REFTEK временные сдвиги имели место и устранялись при обработке сейсмограмм путем учета поправочных коэффициентов, бравшихся из файлов служебной информации.

Таким образом, экспериментальные исследования и опытная эксплуатация в полевых условиях подтвердили высокую надежность и точность разработанных программных средств для синхронизации записей автономных сейсмических станций в составе малоапертурных сейсмических антенн МСА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы:

– установлено, что основными причинами неточной синхронизации сейсмических станций в группе являются: а) необходимость обработки контроллером станции двух независимых потоков информации; б) неудачный, на взгляд авторов, общепринятый формат записи данных на диск; в) независимость фаз циклов АЦП разных станций в группе;

– разработаны аппаратные и программные средства, обеспечивающие надёжную синхронизацию сейсмических каналов в стационарной сейсмической группе с точностью до периода выборки АЦП, которые внедрены в МСА «Михнево»;

– разработаны схема и алгоритм для синхронизации фаз циклов выборки АЦП, позволяющие в дополнение к высокой надежности синхронизации обеспечить синхронную выборку данных разными сейсмостанциями в группе с погрешностью до 10 мкс;

– создана АЦСС, в которой реализованы разработанные программные средства синхронизации;

– проведены исследования системы синхронизации станций данного типа в лабораторных условиях и опытная эксплуатация в составе МСА «Михнево» и временной сейсмической группы в районе предполагаемого строительства Нижегородской АЭС.

За все время (более двух лет) различных испытаний не было обнаружено ни одного сбоя синхронизации в аппаратуре, оснащенной разработанной системой, что подтверждает ее высокую надежность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невский, М.В. Развитие методологии сейсмических наблюдений / М.В. Невский, И.А. Санина // Национальный отчёт Международной ассоциации сейсмологии физики недр Земли Международного геодезического и геофизического союза 2003–2006 гг. к XXIV Генеральной ассамблее МГГС. М., 2007. – С. 12 – 15.
2. Николаев, А.В. Синтез малоапертурных антенн в задачах экспериментальной сейсмологии / А.В. Николаев [и др.] // М.: ОИФЗ РАН, 1997. – 234 с.
3. Rost, S. Array seismology advances Earth interior research / S. Rost, E.J. Garnero // EOS. 2004. – V. 85. – P.301, 305–306.
4. Уткин, В.И. Полевая аппаратура и способ сейсмического мониторинга / В.И. Уткин, Л.Н. Сенин, Т.И. Сенина // Патент 2265867 РФ, МПК 7: G01V 1/00.
5. Акимов, Г.Н. Автономные кварцевые часы, работающие по опорной шкале времени с заданной точностью / Г.Н. Акимов // Сейсмические приборы. 1978. – Вып. 11. – С. 105 – 111.
6. Башилов, И.П. Портативный цифровой сейсмометр / И.П. Башилов [и др.] // Сейсмические приборы, 2010. – Т. 46, № 2. – С. 47 – 59.
7. Koch, K. Detection and elimination of time synchronization problems for the GERESS array by correlating microseismic noise / K. Koch, K. Stammler // Seismol. Res. Lett. 2003. – V. 74, N 6. – P. 803 – 816.
8. Кишкина, С.Б. Сейсмический мониторинг территории Ленинградской АЭС-2 с использованием малоапертурной группы / С.Б. Кишкина [и др.] // Динамика взаимодействующих геосфер: Сб. науч. трудов ИДГ РАН. М.: ИДГ РАН, 2010. – С. 114 – 123.
9. Кишкина, С.Б. Сейсмологический мониторинг проектируемой площадки Нижегородской АЭС с использованием мало-апертурной группы / С.Б. Кишкина [и др.] // Динамические процессы в геосферах: Сб. науч. трудов ИДГ РАН. Вып. 3. М.: ГЕОС, 2012. – С. 57 – 65.
10. Волосов, С.Г. Система синхронизации записей станций малоапертурной сейсмической антенны “Михнево” / С.Г. Волосов, С.А. Королёв, А.М. Солдатенков // Сейсмические приборы, 2012. – Т. 48, № 1. – С. 26 – 34.
11. GARMIN. GPS 16x Technical Specification. September 2008.
12. Fockler T.J., Stewart R., Favret P. D., Burkholder S. K. Methods and Systems for Acquiring Seismic Data: US Pat. 2483418, Int.Cl. 7G01V 1/28, 7G01V 1/34, 2004-10-21.
13. Башилов, И.П. Автономный цифровой сейсмометр / И.П. Башилов [и др.] // Патент РФ № 2435175, 27.11.2011, МПК 7: G01V 1/16(2006. 01).

СТАЦИОНАР ЖӘНЕ ҰТҚЫР СЕЙСМИКАЛЫҚ ТОПТАРЫНДА ЖАЗБАЛАРДЫ СИНХРОНДАУ ӘДІСТЕРІ

[1)]Башилов И.П., [1)]Волосов С.Г., [2)]Королёв С.А., [1)]Николаев А.В.

[1)]РҒА О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей
[2)]РҒА Геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей

Іркілістердің себептерін талдауына сүйене, отандық және шетелдік сейсмикалық топтардың құрамына кіретін сейсмикалық станциялардың жазбаларын сенімді және дәл синхрондау әдістері ұсынылған. Негізгі көзқарасы GPS-қабылдағыш қалыптастыратын дәл уақыт сигналымен станциядағы тіркеуіштің АЦТ-нің талғау циклін мезгіл-мезгіл туралауында тұрады. Бұл АЦТ-нің әр есептеуін астрономиялық уақытына сәйкес келтіруден басқа 10 мкс дәлдігімен сейсмикалық тобының барлық станциялардың АЦТ-нің есепту біруақыттылығын қамтамасыз етеді, ал бұл бір қатар геофизикалық міндеттерді шешу үшін өте маңызды болып келеді. Эксперименталды зерттеулер мен әзірленген аппаратураны тәжірибелік пайдаланудың нәтижелері келтірілген.

RECORDS SYNCHRONIZATION METHODS FOR MOBILE AND STATIONARY SEISMIC ARRAYS

[1)]I.P. Bashilov, [1)]S.G. Volosov, [2)]S.A. Korolyov, [1)]A.V. Nikolaev

[1)]Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia
[2] Institute of Dynamics of Geospheres RAS Moscow, Russia

Basic reasons for different kinds of failures of records synchronization of the seismic stations operating as elements both of domestic and foreign seismic arrays are established. Proceeding from it are proposed some ways for ensuring reliable and exact synchronization of stations. Their operation is based on periodic fine tuning of station’s ADC sampling cycle by a exact time signal obtained from the GPS receiver. Such approach allows not only to find accordance of each ADC sample to astronomical time, but also to provide simultaneous ADC sampling of all stations in seismic array to within 10 us that is especially important for solving of a row of geophysical problems. Experimental researches and trial operation of the created equipment are carried out.

УДК 550.34

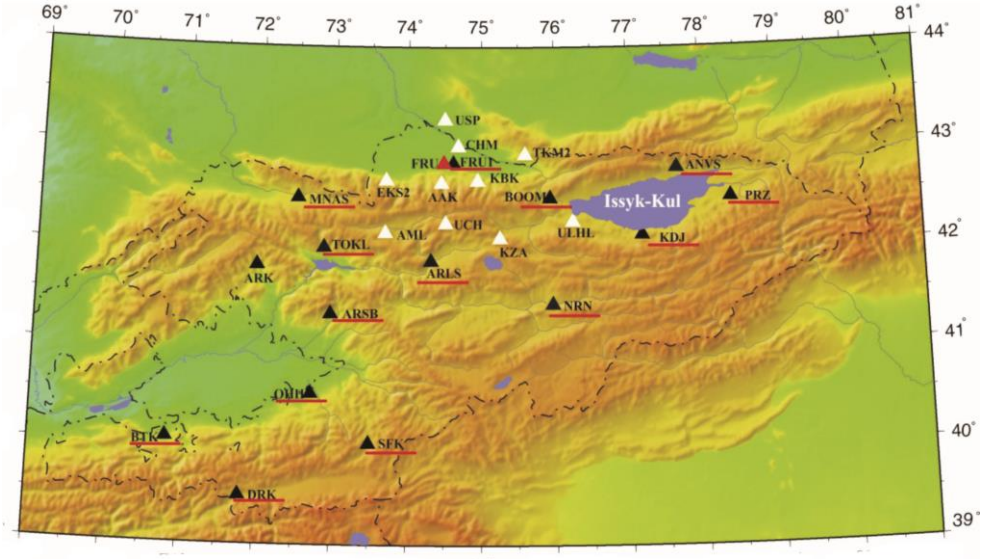
ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ СЕТИ KRNET

Першина Е.В., Берёзина А.В.

Институт сейсмологии Национальной Академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызская Республика

По данным новой цифровой сейсмической сети KRNET, расположенной на территории Кыргызстана, изучены динамические характеристики сейсмического шума, что позволяет вести мониторинг состояния регистрирующей аппаратуры, т.е. оценивать качество ее работы, а, значит, и качество регистрируемых данных.

До недавнего времени система сейсмического мониторинга Института сейсмологии (ИС) Национальной Академии наук Кыргызской Республики (НАН КР) базировалась, в основном, на использовании аналоговых станций, что существенно сказывалось на оперативности и точности полученных данных. В связи с этой проблемой и в соответствии с современной тенденцией переоснащения сейсмических сетей Центрально-Азиатских стран цифровыми станциями началась модернизация системы сейсмического мониторинга Кыргызстана. Так, в 2007 г. в рамках сотрудничества по ДВЗЯИ Сейсмологическая служба Норвегии NORSAR при поддержке Министерства иностранных дел Норвегии предоставила ИС НАН КР 10 цифровых широкополосных станций. Большая часть этих станций была установлена в южной части Кыргызстана, характеризующейся повышенной сейсмической активностью. В 2009 г. сеть из 10 цифровых станций зарегистрирована в Международной федерации цифровых сейсмографических сетей (FDSN) как сеть KRNET (Kyrgyz Republic Digital Network). Новые станции вместе со станциями ранее созданной сети KNET, расположенными на севере и северо-западе республики, обеспечили достаточно хорошее покрытие территории и позволили значительно улучшить точность локализации сейсмических событий в регионе (рисунок 1).



△ – станция сети KNET; ▲ – станция сети KRNET; ▲ – аналоговая станция (ЦСС «Бишкек»).
Красным подчеркнуты станции сети KRNET, работающие в режиме реального времени.
Коды сейсмических станций расшифрованы в таблице

Рисунок 1. Карта-схема расположения станций сейсмического мониторинга ИС НАН КР

Оперативная передача данных – одна из важнейших характеристик любой цифровой сети. По состоянию на 2012 г. в Центр данных ИС НАН КР и в Центр данных IRIS (Consortium – Incorporated Research Institutions for Seismology) в режиме реального времени поступают данные от 14 кыргызских станций (таблица).

На всех станциях, за исключением станций Ош и Арсланбоб, установлены широкополосные сейсмометры GURALP CMG-3ESPC (частотный диапазон от 0,033 с до 50 Гц) и дигитайзеры DM24. На станциях Ош и Арсланбоб установлены сейсмометры CMG6T. Количество отсчётов в секунду для станций KRNET в течение 2007 - 04.2011 гг. составляло 50 Гц, в последнее время на станциях частота оциф-

ровки сигнала – 40 Гц. Исключение составляют станции Манас и Суфикурган, где частота оцифровки 100 Гц [8]. Кроме широкополосного 3-компонентного чувствительного сейсмометра CMG-3ESPC на этих станциях дополнительно установлен акселерограф CMG5T для регистрации сильных движений.

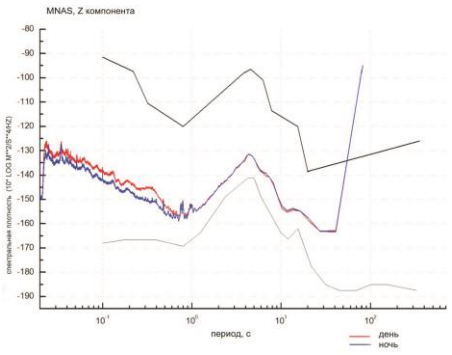
Таблица. Станции, работающие под управлением ИС НАН КР (рисунок 1)

КОД	Название станции	КОД	Название станции
Телеметрическая сеть KRNET		*Телеметрическая сеть KNET*	
ANVS	Ананьево	AAK	Ала - Арча
ARK	Аркит	AML	Алма - Ашу
ARLS	Арал	CHM	Чумыш
ARSB	Арсланбоб	EKS2	Эркин - Сай
BOOM	Боом	KBK	Карагай - Булак
BTK	Баткен	KZA	Кызарт
DRK	Карамык	TKM2	Токмок
FRU1	Бишкек (ССД)	UCH	Уч – Тор
KDJ	Каджи – Сай	ULHL	Улахол
MNAS	Манас	USP	Успеновка
NRN	Нарын	*Аналоговая станция*	
OHH	Ош	FRU	Бишкек
PRZ	Каракол	*Глобальная сейсмографическая сеть GSN*	
SFK	Суфи - Курган	AAK10	Ала-Арча (IRIS)
TOKL	Токтогул	МСМ ОДВЗЯИ	
		AS060	Ала-Арча

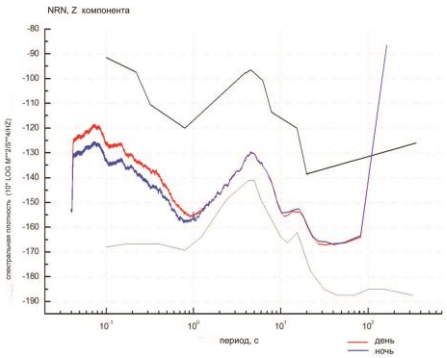
Для оценки качества работы новых станций сети KRNET, а также для создания начальной модели сейсмического шума, необходимой при оперативном мониторинге технического состояния регистрирующей аппаратуры (выявления изменений, связанных с аппаратурными сбоями и неполадками) проведено изучение динамических характеристик сейсмического шума. Изучение проведено отдельно для каждой станции, поскольку на уровень сейсмического шума существенным образом влияют не только техническое оснащение, но и условия размещение аппаратуры, геологическая характеристика пород фундамента, наличие антропогенных помех, а так же природные факторы: естественная сейсмичность, реки, крупные озера и др.

Применена методика расчета и анализа спектральной плотности сейсмического шума, описанная в [2 - 9]. Использовались архивные данные сейсмических станций KRNET в формате SEED (Standart for the Exchange of Earthquake Data), которые предварительно преобразовывались в формат CSS3.0 (Center for Seismic Studies v.3.0). Для изучения отбирались 10-и минутные отрезки записей без сейсмических событий. Отдельно формировались фрагменты записей в ночное (17 - 18 ч. GMT) и дневное (7 - 8 ч. GMT) время. Расчет динамических параметров микросейсмических помех производился путем построения спектров плотности сейсмического шума с использованием программного обеспечения POWER и специально написанных утилит для каждой компоненты трехкомпонентных широкополосных станций, входящих в состав сети KRNET [9, 10]. На рисунке 2 приведены примеры спектральной плотности сейсмического шума для Z-компоненты станций KRNET Манас (MNAS) и Нарын (NRN) для дневного и ночного времени, которые сравнены с верхне- и нижнеуровневой моделью сейсмического шума Петерсона [9].

По результатам анализа спектрально-плотностных характеристик станции сети KRNET подразделены на три группы. Первую группу составили станции, установленные на осадочных породах в больших городах – Бишкек, Ош, Баткен. Они обладают высоким уровнем сейсмического шума, близким к верхнеуровневой модели Петерсона (рисунок 3). Для этих станций наблюдается большая разница между дневным и ночным шумом, достигающая 10 дБ. Безусловно, эти станции по чувствительности и дальности регистрации уступают станциям, установленным на коренных породах, вдали от населённых пунктов. Однако станции, расположенные в крупных городах, чрезвычайно важны, поскольку позволяют быстро реагировать на ощутимые землетрясения.

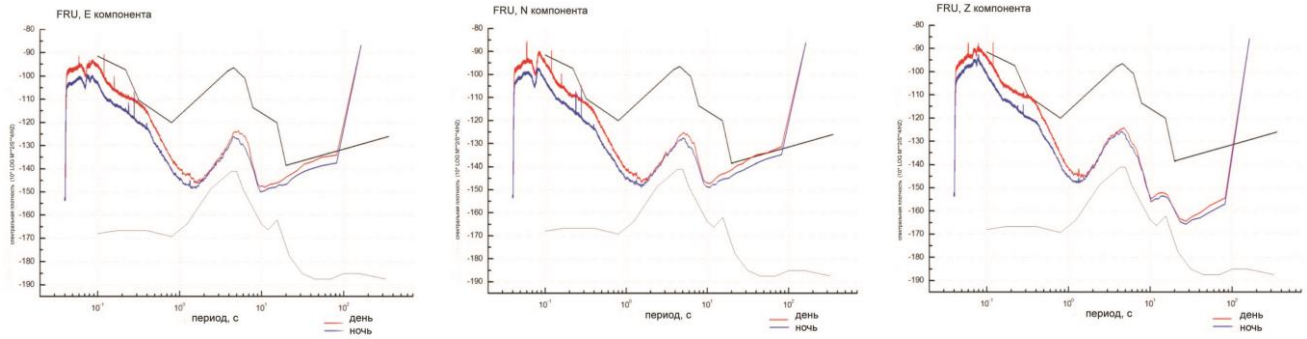


а – станция MNAS



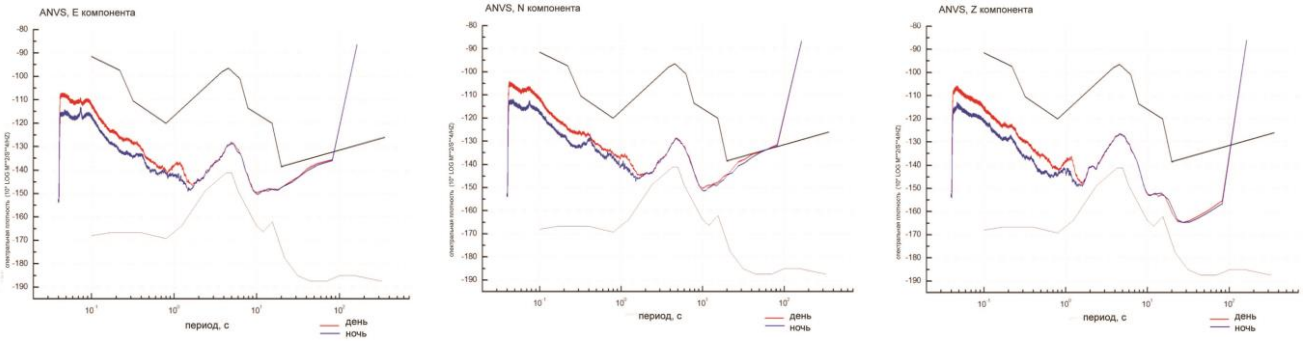
б – станция NRN

Рисунок 2. Спектральная плотность сейсмического шума для Z-компоненты (дневное и ночное время) станций KRNET



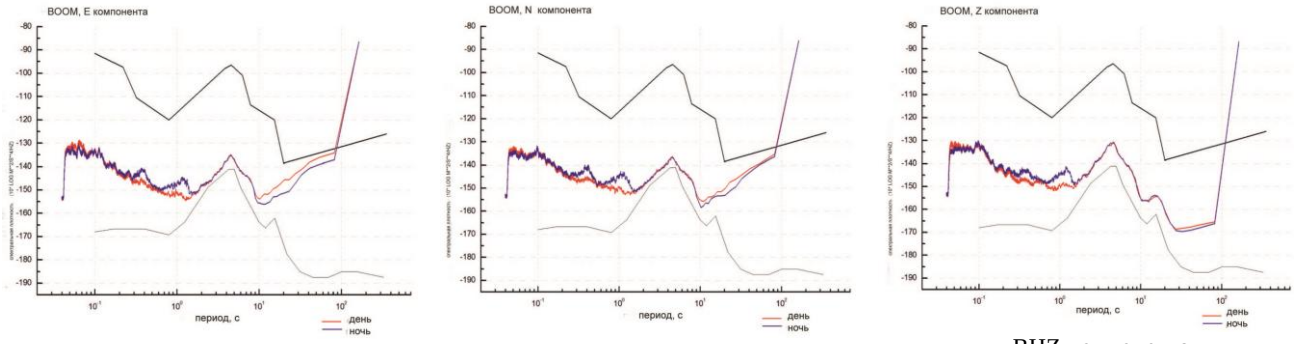
а – BHE –компонента б – BHN – компонента в – BHZ-компонента

Рисунок 3. Спектральная плотность сейсмического шума по станции Бишкек (FRU)



а – BHE –компонента б – BHN – компонента в – BHZ-компонента

Рисунок 4. Спектральная плотность сейсмического шума станции Ананьево (ANVS)



а – BHE –компонента б – BHN – компонента в – BHZ-компонента

Рисунок 5. Спектральная плотность сейсмического шума станции Боомское ущелье (BOO)

Вторая группа станций – Ананьево (рисунок 4), Арал, Эркин-Сай, – характеризуются спектральной плотностью сейсмических шумов, разница между дневным и ночным уровнем которых достигает 5 дБ. Станции этой группы характеризуются средней чувствительностью. На характеристики сейсмического шума станции Ананьево, расположенной вблизи озера Иссык-Куль, в большой степени влияют его штормы и микросейсмы.

Уровень сейсмического шума для станций третьей группы – Арсланбоб, Боом (рисунок 5), Суфи-Курган, Нарын и Манас, – в рабочем диапазоне периодов является близким к нижнеуровневой модели Петерсона. Разница уровня сейсмического шума в дневное и ночное время несущественна.

На рисунке 6 дается сравнение спектральной

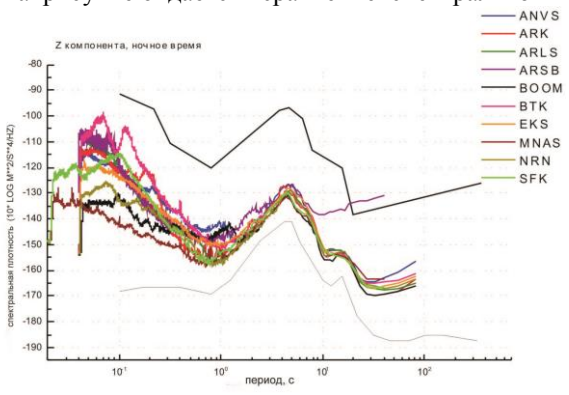


Рисунок 6. Спектральная плотность сейсмического шума по данным станций сети KRNET.Z-компонента. Ночное время

плотности сейсмического шума по z-компоненте для разных станций сети KRNET для ночного времени суток.

Из рисунка 6 видно, что самый низкий уровень сейсмических шумов наблюдается на станциях Манас, определяющий их высокую эффективность для сейсмического мониторинга. В целом, для большинства станций сети, кроме установленных на осадочных породах в больших городах (Бишкек, Ош, Баткен), характерен низкий уровень шумов, близкий к нижнеуровневой модели Петерсона.

Таким образом, практически все станции сети KRNET являются высокочувствительными как к локальным, так и региональным событиям. Это позволяет успешно использовать эту сеть для проведения национального и международного мониторинга.

Литература

1. Абдрахматов, К.Е. Развитие сейсмического мониторинга в Кыргызстане / К.Е. Абдрахматов, А.В. Березина // Вестник НЯЦ РК, 2010. – вып.3 (43) – С.17 – 22.
2. Комаров, И.И. Модель сейсмического шума по наблюдениям геофизической обсерватории «Маканчи» / И.И. Комаров [и др.] // Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2000. – вып.2 – С. 17 - 24.
3. Михайлова, Н.Н. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным Казахстанских станций мониторинга / Н.Н Михайлова, И.И Комаров / Вестник НЯЦ РК, 2006. – Вып. 2 – С. 19-26.
4. Синёва, З.И. Изучение динамических характеристик сейсмического шума по данным цифровых станций казахстанской сети / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров / Геофизика и проблемы нераспространения. Вестник НЯЦ РК, 2000. – Вып.2 – С. 24 - 30.
5. Соколова, И.Н. О характеристиках сейсмического шума на периодах, близких к 1.7 с, по данным станций Северного Тянь-Шаня / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК, 2008. – Вып. 1. – С. 48 - 53.
6. Соколова, И.Н. О характеристиках сейсмического шума на периодах, близких к 1.7 с, по данным станций Северного Тянь-Шаня / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК, 2008. – Вып. 1. – С. 48 - 53.
7. Стролло, А. Новые казахстанские станции, установленные в рамках проекта CAREMON / А. Стролло [и др.] // Мониторинг ядерных испытаний и их последствий: тезисы докладов. VI Междунар. конф., Курчатов, 09-13 авг.2010. – НЯЦ РК, 2010. – С. 21 - 22.
8. Borman, P. (editor). IASPEI New manual of seismological observatory practice / P. Borman // GeoForshungsZentrum Postdam.
9. Peterson, J. Observation and Modeling of Seismic Background Noise / J. Peterson // Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993 year. – 42 pp.
10. Peterson, J. Observation and Modeling of Seismic Background Noise / J. Peterson // Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993. – P.42.

KRNET ЖЕЛІСІ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША СЕЙСМИКАЛЫҚ ШУДЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

Першина Е. В., Берёзина А.В.

Қырғыз Республикасы Ұлттық Ғылымдар академиясының Сейсмология институты, Бишкек, Қырғызстан

Қырғыстан аумағында орналасқан цифрлық сейсмикалық KRNET жаңа желісінің деректері бойынша сейсмикалық шудың динамикалық сипаттамалары зерделенген, бұл тіркеу аппаратура күйіне мониторинг жүргізуіне мүмкіншілік береді, яғни сейсмикалық аппаратураның жұмысын, сонымен бірге тіркелетін деректердің сапасын бағалауына.

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF SEISMIC NOISE ACCORDING TO THE KRNET NETWORK DATA

E.V. Pershina, A.V. Berezina

Institute of Seismology of National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic

According to the new digital seismic network KRNET located in territory of Kyrgyzstan, the dynamic parameters of seismic noise allowing conduct a monitoring of the condition of the recording apparatus, i.e. quality of seismic operation, so also qualities of the data are studied.

УДК 550.34: 621.039.9

АРХИВ АНАЛОГОВЫХ СЕЙСМОГРАММ КЫРГЫЗСТАНА ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Берёзина А.В., Першина Е.В., Вольхина Е.Т.

Институт сейсмологии Национальной Академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызская Республика

Описана история инструментальных сейсмологических наблюдений в Кыргызстане, показаны примеры аналоговых записей подземных ядерных взрывов и землетрясений из исторического архива, а также результаты их оцифровки, проводимой в последнее время. В подтверждение актуальности сохранения и оцифровки исторических сейсмограмм приведён пример их использования в одном из методов распознавания землетрясений и взрывов.

В последние годы у исследователей в области сейсмологии значительно возрос интерес к историческим аналоговым сейсмограммам ядерных взрывов, накопленным в различных сейсмологических архивах по всему миру. Это связано, прежде всего, с тем, что исторические сейсмограммы могут с успехом использоваться для совершенствования методик распознавания ядерных взрывов, для восстановления параметров слабых исторических ядерных взрывов, изучения геодинамических процессов в районах испытательных полигонов, для уточнения региональных годографов, для калибровки сейсмических станций, например, Международной системы мониторинга ОДВЗЯИ и т.д. В связи с этим, работы по сканированию и оцифровке исторических сейсмограмм стали, как никогда, востребованы. Такие работы проводятся с 2005 г. в Казахстанском Институте геофизических исследований, что позволило создать базу данных исторических сейсмограмм, которая с успехом используется для различных задач мониторинга [1]. В Кыргызстане существует архив аналоговых сейсмограмм, содержащий сотни тысяч сейсмограмм за период времени с 1927 до 2000 гг., однако работы по сканированию и оцифровке сейсмограмм в Кыргызской Республике пока не проводились.

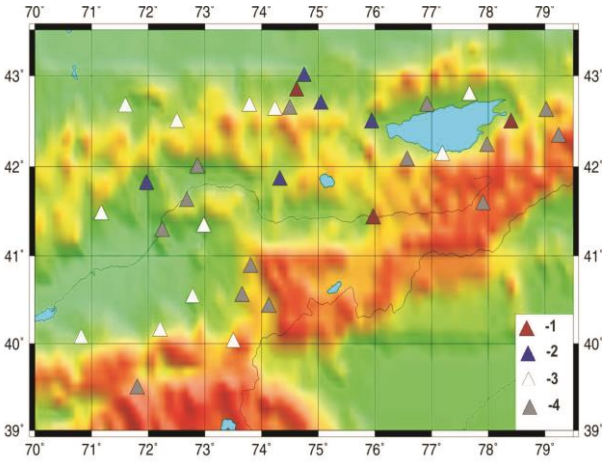
Первая станция в Киргизской ССР была открыта в городе Фрунзе в 1927 г. На станции был установлен сейсмограф с прямой оптической регистрацией, разработанный П. М. Никифоровым (рисунок 1). В 1950 г. начали работу станции Нарын, Пржевальск и Рыбачье. Станции Фрунзе, Нарын и Пржевальск были включены в сеть ЕССН (Единая система сейсмических наблюдений СССР), на них дополнительно были установлены широкополосные приборы СКД.

С 1969 г. в Кыргызстане начинается создание собственной региональной сети, которое было завершено к началу 80-х годов (рисунок 2). Сеть включала 31 стационарную станцию, которые были равномерно распределены по территории Кыргызстана. На всех станциях была установлена стандартная аппаратура Кирноса СКМ-3 с увеличением 20000 и сейсмический комплекс СКД с увеличением 1000 (рисунок 3). Большинство из этих станций располагались в штольнях, на выходах коренных пород, что позволило регистрировать слабые подземные ядерные взрывы.

Кроме стационарных станций на территории Кыргызстана в разные периоды времени организовывались временные локальные сети, которые размещались на небольших территориях в зависимости



Рисунок 1. Сейсмограф с прямой оптической регистрацией, разработанный П.М. Никифоровым. Станция «Бишкек» ИС НАН КР (1927 – 1950 гг., NS, EW компоненты)



Станции, открытые: 1 – до 1960 г. 2 – в 1960 - 1969 гг.,
3 – в 1970 - 1979 гг., 4 – после 1980 г.

Рисунок 2. Сеть аналоговых станций Института сейсмологии НАН КР

от текущих задач – для оценки сейсмической опасности площадей, предназначенных для строительства гражданских и промышленных сооружений, для исследования афтершоковых зон сильных землетрясений и др. – таблица 1 [2].

Преимущество сейсмических станций на территории Кыргызстана состоит в том, что они расположены на региональных расстояниях относительно всех испытательных полигонов Центральной Азии (Семипалатинский испытательный полигон, Лобнор, Похаран, Чагай, полигоны мирных ядерных взрывов на территории СССР) (рисунок 4).

Кроме того, на территории СССР было проведено большое количество мощных промышленных и исследовательских химических взрывов, которые также представляют большой интерес для задач мониторинга и которые позволяют использовать обширный банк данных этих аналоговых суррогатных станций, работавших на месте цифровых станций с 1960 г. по 2005 г.



Рисунок 3. Сейсмограф Кирноса СКМ-3 с увеличением 20000 (слева) и пример зарегистрированных сейсмограмм (справа)

Таблица 1. Временные локальные сейсмические сети, работавшие на территории Кыргызстана

Наименование	Сроки работ	Местоположение
Нарынский отряд: - 1-я стоянка	1957- 1958	40.5°-42.5° и 72.0°-74.5°
- 3-я стоянка	1962 - 1963	40.5°-42.5° и 72.0° -73.3°
- 4-я стоянка	1964 -1968	41.2°-42.0° и 71.2°-74.0°
Кировский отряд	1964 - 1965	42.4°-42.9° и 70.9° -72.3°
Папанский отряд	1965 - 1967	39.5°-42.5° и 71.6°-73.5°
Чуйский отряд	1967 - 1976	42.3°-43.3° и 72.5°-76.0°
Сары-Камышский отряд	1970 - 1972	42.3°-43.0° и 78.2°-79.0°
Токтогульская сеть	с 1978	41.9° и 72.8°

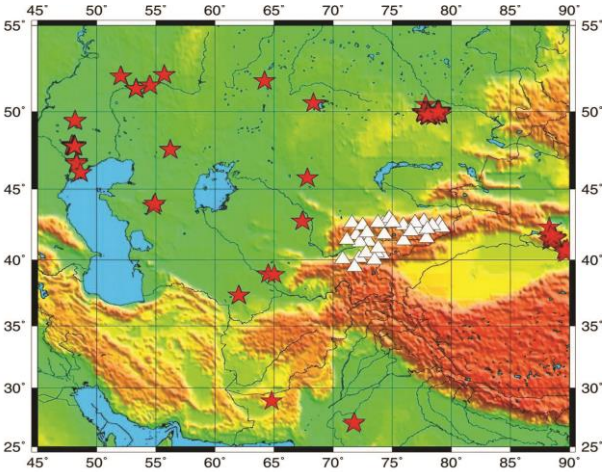


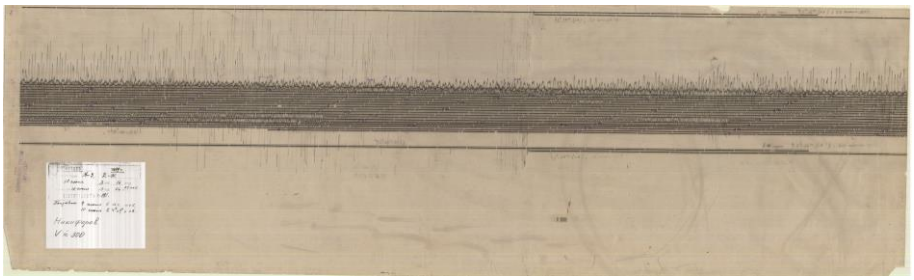
Рисунок 4. Расположение сейсмических станций на территории Кыргызстана (△) и эпицентров ядерных взрывов (★)



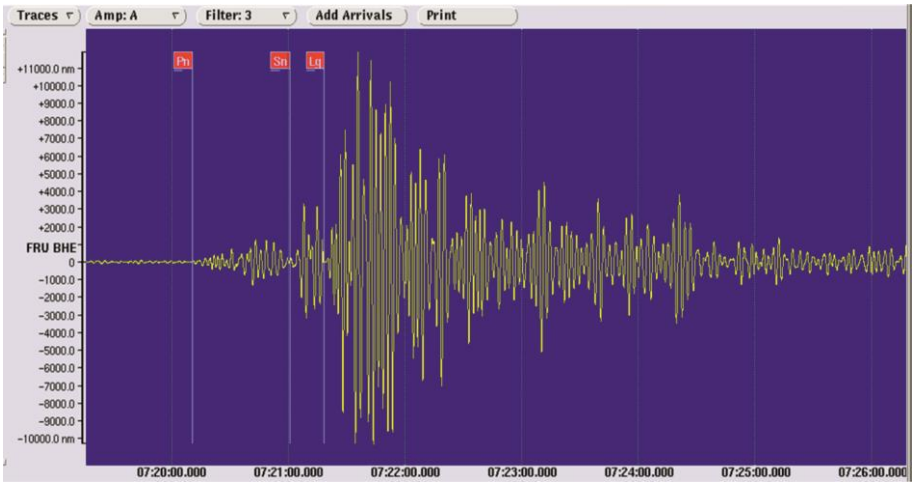
Рисунок 5. В архиве Института сейсмологии НАН КР

В архиве исторических сейсмограмм Института сейсмологии НАН КР собрано большое количество аналоговых записей ядерных взрывов (рисунок 5). Поэтому задача оцифровки сейсмограмм и перевода оцифрованных данных в современный формат, удобный для хранения, использования и обмена данными, представляется весьма актуальной.

В качестве примера рассматривается одно из наиболее разрушительных событий за последние 100 лет, произошедшее на территории Центральной Азии, – Хаитское землетрясение 10.07.1949 г. (таблица 2). В сейсмологическом архиве ИС НАН КР найдена сейсмограмма данного события, зарегистрированная сейсмографом П.М. Никифорова, установленного на станции Бишкек, на расстоянии 515 км от эпицентра землетрясения (рисунок 6-а). Кроме основного толчка были зарегистрированы 33 афтершока.



а – аналоговая – основноой толчок



б – оцифрованная – афтершок, t0=07-18-51, фильтр 0.3 Гц.

Рисунок 6. Сейсмограммы Хаитского землетрясения, зарегистрированная станцией Бишкек (сейсмограф «Никифорова», канал восток-запад)

Таблица 2. Параметры Хаитского землетрясения по данным мировых каталогов

Агенство (Источник)	Дата	Время	Широта (град.)	Долгота (град.)	Глубина (км)	Магнитуда, mb
NOAA, США	10.07.1949	03-53	39.20	70.80	18	7.4
ISS	10.07.1949	03-53-36	39.20	70.70		7.6
Уломов, СССР	10.07.1949	03-53-38	39.20	70.80	16	7.4

К сожалению, запись основного толчка оказалась зашкаленной, удалось оцифровать только Pn фазу и афтершоки. В результате определены время вступления t(Pn)=03-54-48.4, максимальная амплитуда A(Pn)=127.3 мкм, период T(Pn)=2.7 с, магнитуда mb=7.6, что хорошо согласуется с данными мировых сейсмологических Центров данных (таблица 2).

На рисунке 6-б приведена оцифрованная запись одного из афтершоков Хаитского землетрясения (t0=07-18-51). Помимо определения основных параметров землетрясения (дата, время, координаты, глубина и магнитуда), благодаря использованию современных методов обработки, проведен спектральный анализ (рисунок 7) и получена моментная магнитуда Mw.

Подобные процедуры применимы и для оцифрованных записей ядерных взрывов. Так, на рисунке 8 приведён пример аналоговой (а) и оцифрованной (б) сейсмограмм подземного ядерного взрыва, произведённого на полигоне Лобнор 16 августа 1990 г., φ=41.514, λ=88.739 и зарегистрированного станцией Каджи-Сай (KDJ) на удалении 958 км.

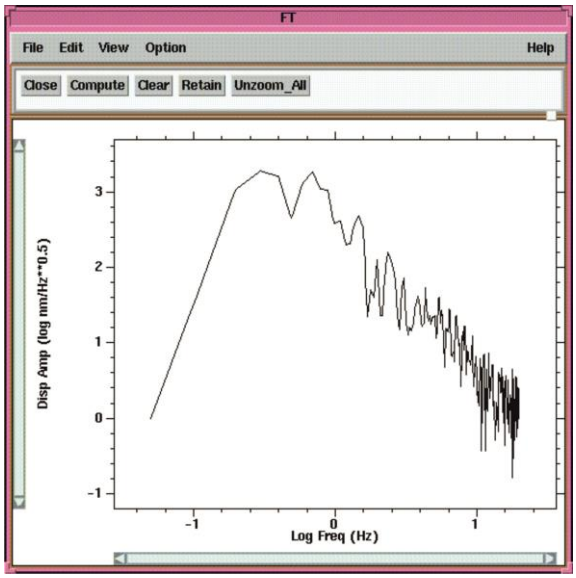
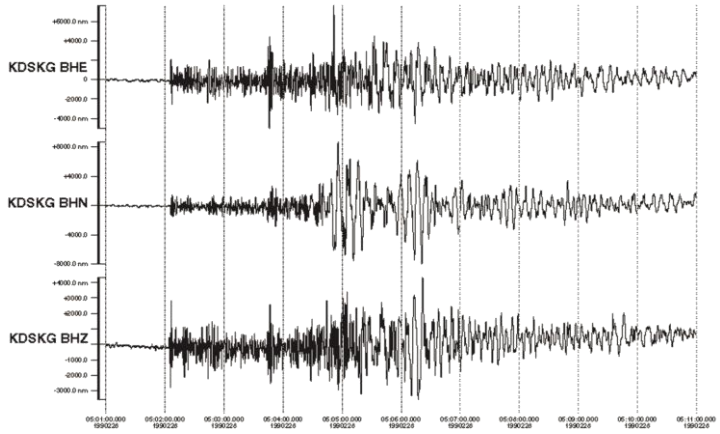


Рисунок 7. Спектр Pn фазы для афтершока Хаитского землетрясения (t0=07-18-51), зарегистрированного станцией Бишкек ИС НАН КР



а – аналоговая



б – оцифрованная

Рисунок 8. Сейсмограммы подземного ядерного взрыв на полигоне Лобнор (16 августа 1990 г., φ=41.514, λ=88.739, зарегистрированные станцией Каджи-Сай

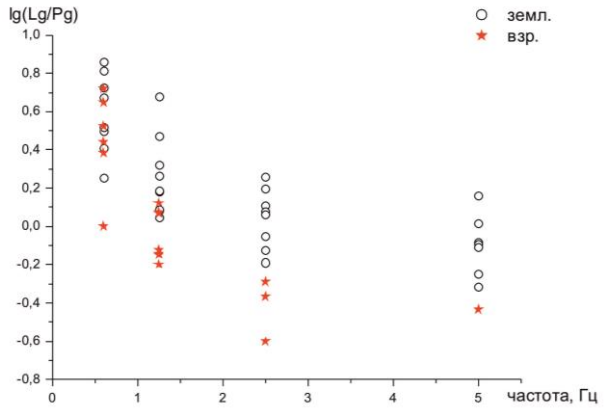


Рисунок 9. Спектральные отношения максимальных амплитуд Lg/Pg, для ПЯВ (звездочки) за 1973- 1995 гг. и землетрясений (кружки) за 1998- 1999 гг. из района полигона Лобнор. Станция Каджи-Сай, Z-компонента

Выполнена процедура распознавания события по величине Lg/Pg (спектральные отношения максимальных амплитуд Lg и Pg, после фильтрации) - рисунок 9. Судя по результатам обработки данных, для станции KDJ наблюдается чёткое разделение значений Lg/Pg для землетрясений и взрывов при фильтрах с центральными частотами 2.5 и 5.0 Гц.

Таким образом, оцифрованные сейсмограммы могут с успехом использоваться для уточнения параметров очага сильных землетрясений, а также для решения таких задач, как уточнение карт сейсмического районирования, оценка сейсмической опасности, тестирование новых технологий мониторинга скрытых ядерных испытаний, разработка новых методов идентификации ядерных взрывов, калибровка станций Международной системы мониторинга ОДВЗЯИ, уточнение региональных годографов и т.д. и, таким образом, будут способствовать совершенствованию современных методов сейсмического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sokolova, I Uzbekov Database of digitized historical seismograms for nuclear tests monitoring tasks / I. Sokolova, A. Aleschenko // Book of Abstracts Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty: Science and Technology 2011. – 8 - 10 June, Vienna, Austria.
2. Кальметьева, З.А. Атлас землетрясений Кыргызстана / З.А. Кальметьева, А.В. Микольчук, Б.Д. Молдобеков [и др.] . – Бишкек: ЦАИИЗ, 2009. – 232 с.

ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚТАР МОНИТОРИНГТІҢ МІНДЕТЕРІ ҮШІН ҚЫРҒЫЗСТАННЫҢ АНАЛОГТЫҚ СЕЙСМОГРАММАЛАР МҰРАҒАТЫ

Берёзина А.В., Першина Е.В., Вольхина Е.Т.

Қырғыз Республикасы Ұлттық Ғылымдар академиясының Сейсмология институты, Бишкек, Қырғыз Республикасы

Қырғызстанда инструменталды сейсмологиялық бақылаулары даму тарихі сипатталған, тарихи мұрағаттардан жерасты ядродық жарылыстар мен жерсілкінулердің аналогтық жазбалардың үлгілері, және соңғы кезде жүргізілетін оларды цифрлау нәтижелері көрсетілген. Тарихи сейсмограммаларды сақтау және цифрлау өзектілігін растауына жерсілкінулер мен жарылыстарды тану әдістерінің біреуінде оларды пайдалану үлгісі келтірілген.

KYRGYZSTAN'S ARCHIVE OF ANALOG SEISMOGRAMS FOR PROBLEMS OF NUCLEAR TESTS MONITORING

A.V. Berezina, E.V. Pershina, E.T. Vol'hina

Institute of seismology of National Academy of sciences of Kyrgyz Republic (IS NAS KR), Bishkek, Kyrgyz Republic

The problem of historical earthquakes and explosions records saving becomes one of the most actual for any National Data Centers. In this connection the problem of historical seismogram scanning and digitizing became one of the most actual now. In this paper the history of development of instrumental seismological observation in Kyrgyzstan is briefly described and examples of analogue seismograms, their subsequent digitizing forms, and also one of the methods of earthquakes and explosions discrimination are shown.

УДК 550.34:621.39..9(203)

УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЛАБЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ СЕЙСМОГРАММ

Соколова И.Н., Великанов А.Е.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

По историческим сейсмограммам восстановлены и дополнены параметры 36 воздушных и наземных ядерных взрывов, произведенных на площадке Опытное поле Семипалатинского испытательного полигона в период 1961 - 1962 гг. Для определения параметров взрывов использовались записи высокочувствительных станций, установленных на профиле Памир-Байкал, а также стационарной сейсмической станции Семипалатинск, расположенной на расстоянии 175 км от площадки. Для взрывов удалось определить время в очаге, координаты, региональные магнитуды mpv, MLV и энергетический класс K, а также исследовать зависимости динамических параметров взрывов от их мощности.

ВВЕДЕНИЕ

Многие исследователи в области мониторинга ядерных испытаний сталкиваются с проблемой отсутствия в технической литературе параметров ядерных взрывов малой мощности, таких, как время в очаге, координаты и магнитуда [1]. Для подземных ядерных взрывов (ПЯВ) малой мощности на Семипалатинском испытательном полигоне большая работа по восстановлению параметров была проведена В.Халтуриным, Т. Раутиан и П. Ричардсом в 2001 г. [2]. Авторы использовали записи аналоговых сейсмических станций СССР, расположенных на региональных расстояниях. Однако даже среди подземных ядерных испытаний имеются взрывы, для которых ряд параметров остается неизвестными. Гораздо сложнее обстоит дело с воздушными и наземными ядерными взрывами на СИП. Сейсмический эффект таких взрывов был довольно слабым, и они не были зарегистрированы стандартными стационарными сейсмическими станциями. До последнего времени многие характеристики этих взрывов остаются неизвестными. В данной статье восполняется этот пробел в имеющихся данных.

СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В 1961 - 1962 гг. на площадке Опытное поле СИП (рисунок 1) было проведено максимальное количество воздушных и контактных взрывов. В этот период времени ИФЗ АН СССР был выставлен профиль высокочувствительных сейсмических станций для изучения строения земной коры и верхней мантии [3]. Эпицентральное расстояние от некоторых станций профиля до Опытного поля составило 300 - 400 км. Кроме того, в настоящее время стали доступны записи сейсмической станции Семипалатинск (SEM), расположенной на расстоянии ~175 км от площадки Опытное поле.

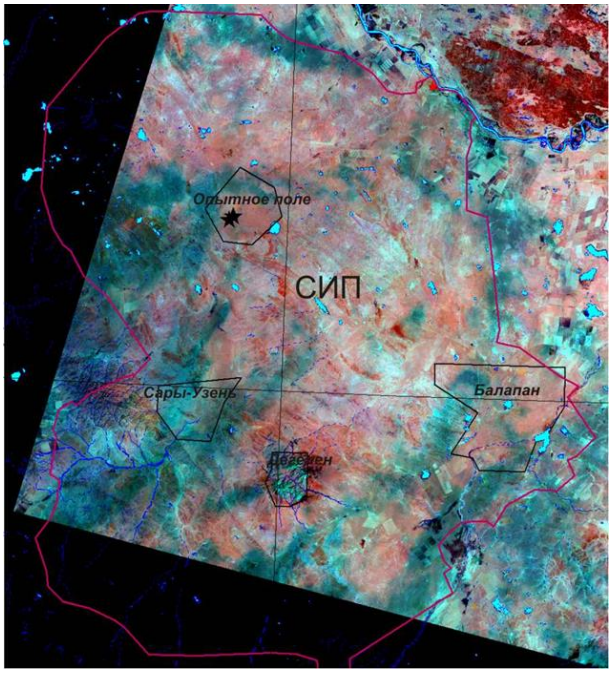


Рисунок 1. Расположение испытательных площадок на СИП

Общая протяженность профиля высокочувствительных сейсмических станций Памир-Байкал составила около 3500 км. Количество станций на профиле – 54, средний интервал расстояний между станциями составил 70-120 км [3]. Профиль пересекал Среднюю Азию, Казахстан, Алтай, Саяны и Прибайкалье. Кроме данных станций этого профиля, для исследований были использованы данные сейсмической станции Семипалатинск (SEM), расположенной на расстоянии 175 км от площадки Опытное поле. На рисунке 2 представлена система наблюдений.

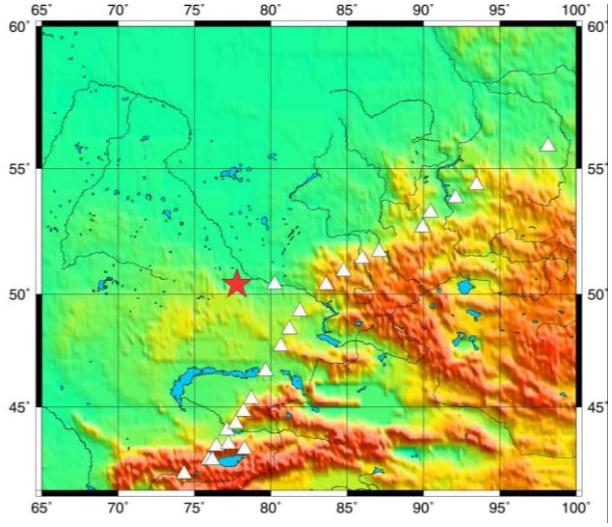


Рисунок 2. Система наблюдений по профилю Памир-Байкал в 1961 - 1962 гг. (КСЭ ИФЗ РАН) и станция SEM

Наблюдения на станциях профиля проводились аналоговой аппаратурой с прямой гальванометрической регистрацией и с использованием сейсмоприемников УСФ, СВК-М, СГК-М [4]. На всех станциях сейсмометры были трехкомпонентными (С-Ю, В-З, Z), имели увеличение (V) в диапазоне 25000 – 120000, но в большинстве случаев V=50000. На станции Семипалатинск были установлены сейсмометры УСФ и сейсмометр СКД с V=1000. В таблице 1 приведены сведения о типе аппаратуры, которая использовалась на аналоговых станциях профиля, и на станции Семипалатинск.

Сейсмометры СКМ и УСФ имели собственный период 1.5 или 2 с, затухание D1 устанавливалось 0.4, в качестве гальванометров использовались ГБ-IV с собственной частотой 5 - 8 Гц и с затуханием D2 = 3 - 3.5 [4, 5]. На рисунке 3 приведен пример аналоговой сейсмограммы воздушного взрыва, зарегистрированного 20 октября 1962 г. станцией Михайловка (MIKH), расположенной на эпицентральном расстоянии 333 км.

Таблица 1. Характеристики аналоговой аппаратуры, применяемой на станциях профиля и станции Семипалатинск

Сейсмометр	Собственный период T_0, С	Увеличение	Развертка по времени, мм/мин	Тип регистрации	Кол-во каналов
СКД	20	1.0К-1.5К	60, 30 или 15	на фотобумагу	3
СКМ	1.5, 2	25К-125К	120 или 60	на фотобумагу	3
УСФ	1.5	50К-80К	240 или 120	на фотобумагу	3

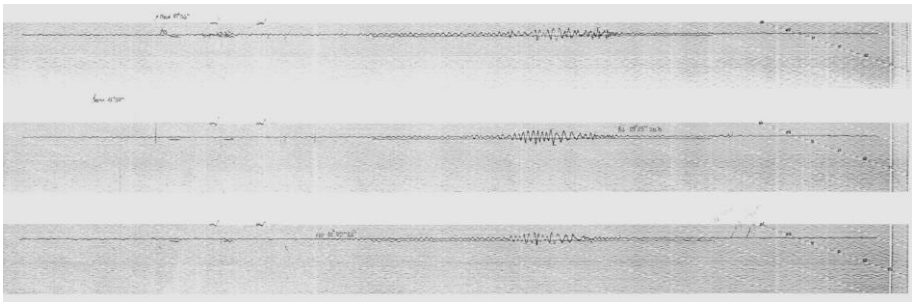


Рисунок 3. Аналоговая сейсмограмма воздушного взрыва, зарегистрированного станцией Михайловка 20 октября 1962 г., эпицентральное расстояние 333 км

Всего было обработано более 300 сейсмограмм воздушных и наземных ядерных взрывов, зарегистрированных 24 сейсмическими станциями на расстояниях 175 - 1480 км. На рисунке 4 приведен пример оцифрованных сейсмограмм воздушного взрыва 14 ноября 1962 г., произведенного на высоте 660 м, мощностью 12 кт.

По историческим сейсмограммам восстановлены параметры взрыва t0=11-32-15.6, φ=50.4227, λ=77.7231, mpva=2.8, энергетический класс K=8.7.

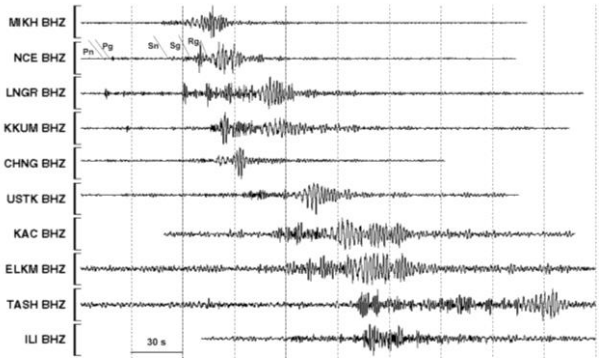
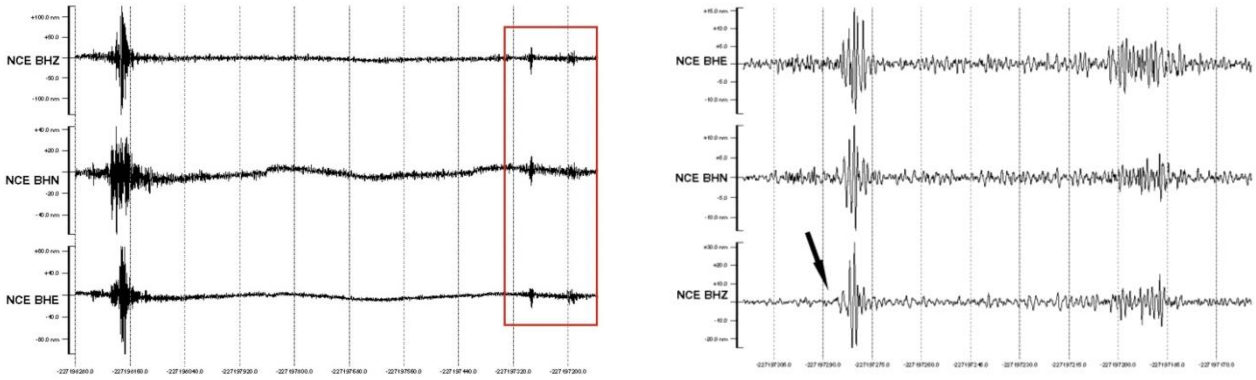


Рисунок 4. Оцифрованные сейсмограммы воздушного взрыва 14 ноября 1962 года, t0=11-32-15.6, φ=50.4227, λ=77.7231, mpva=2.8. Z-компонента

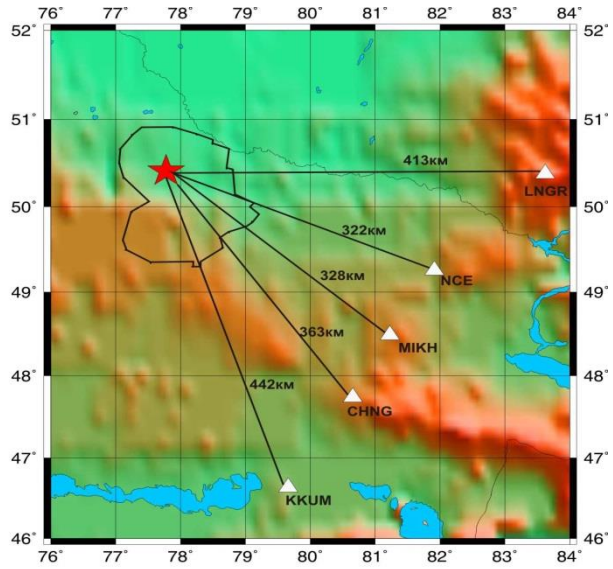


а – общий вид (выделена акустическая волна) б – детализация акустической волны

Рисунок 5. Сейсмограммы воздушного взрыва 20 октября 1962 г, t0=09-21-45.6, φ=50.4227, λ=77.723 на площадке Опытное поле, зарегистрированного станцией Николаевка NCE (328 км)

Записи воздушных и контактных взрывов на Опытном поле СИП имеют все характерные признаки воздушных взрывов: мощные поверхностные волны, которые доминируют по амплитуде, нечеткое вступление Р-волны, отношение S/P больше 1, на многих сейсмограммах наблюдается запись акустической волны (рисунок 5).

Акустическая волна была зарегистрирована сейсмическими станциями Николаевка (NCE), Михайловка (MIKH), Каракум (KKUM), Чингужа (CHNG), Лениногорск (LNGR) на эпицентральных расстояниях 328 - 442 км (рисунок 6).



★ – площадка Опытное поле;
△ – станция, на записях которой обнаружена акустическая волна

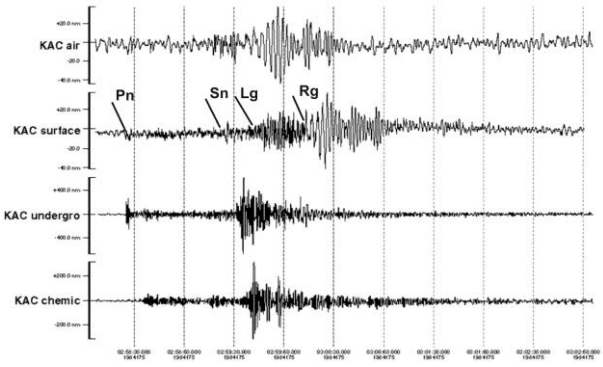
Рисунок 6. Расположение площадки Опытное поле и сейсмических станций, на записях которых обнаружена акустическая волна

Были обнаружены и обработаны 42 записи акустической волны. Записи акустической волны (рисунок 5-б) хорошо видны как на горизонтальных, так и вертикальных компонентах, представляют из себя цуг колебаний с периодами 1 - 3 с. Скорость распространения составляет V~(0.323 ± 0.013) км/с.

На рисунке 7 подобраны сейсмограммы взрывов, произведенных на СИП в разных средах, зарегистрированные одной и той же станцией Кзыл-Агач (KAC), сейсмометр СКМ. Воздушный ядерный взрыв мощностью 9.2 Кт, произведен на площадке Опытное поле 10 октября 1962 г., эпицентральное расстояние 565 км (верхняя сейсмограмма), наземный ядерный взрыв мощностью 9.9 Кт 7 августа 1962 г., произведен на площадке Опытное поле, эпицентральное расстояние составило 565 км (вторая сейсмограмма сверху); подземный ядерный взрыв 18 октября 1984 г. мощностью менее 20 Кт, в штольне на площадке Дегелен на эпицентральном расстоянии от станции 494 км (третья сейсмограмма сверху); химический взрыв на СИП, эпицентральное расстояние 506 км (нижняя сейсмограмма). Из рисунка 7 видно, что, несмотря на то, что взрывы произведены практически в одном и том же месте, вид сейсмограмм значительно отличается в зависимости от типа источника. Воздушный и наземные взрывы имеют ряд сходных черт: на них доминируют поверхностные волны, наблюдаются нечеткие вступления волны Pn, однако сейсмограмма контактного взрыва более высокочастотна по сравнению с атмосферным взрывом. Совершенно иной вид имеет сейсмограмма подземного ядерного взрыва. Здесь доминирует Lg волна, вступление Pn – четкое, запись высокочастотная, уровень поверхностных волн очень низкий. На записи химического взрыва также доминируют Lg волны, уровень Pn низкий, вступление нечеткое, из продольных волн доминирует волна Pg, запись – высокочастотная.

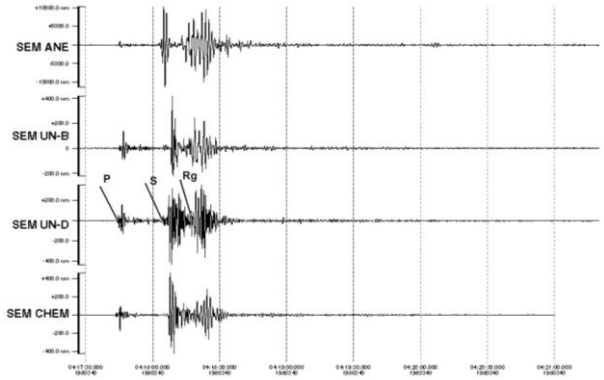
На рисунке 8 подобраны сейсмограммы взрывов, произведенных на СИП в разных средах и зарегистрированные станцией Семипалатинск SEM, расположенной вблизи СИП. Воздушный ядерный взрыв мощностью 13 кт произведен на площадке Опытное поле 4 октября 1961 г., расстояние 166 км (верхняя сейсмограмма). Подземный ядерный взрыв 14 декабря 1980 г. произведен в скважине площадки Балапан, имел мощность 20 - 150 кт, зарегистрирован на

эпицентральном расстоянии от станции 166 км (вторая сверху сейсмограмма). Подземный ядерный взрыв 25 июня 1980 г. мощностью менее 20 кт выполнен в штольне площадки Дегелен и зарегистрирован на эпицентральном расстоянии от станции 166 км. Калибровочный химический взрыв на СИП произведен 22 августа 1998 г., имел мощность 100 т, зарегистрирован на эпицентральном расстоянии 176 км (нижняя запись). Из рисунка 8 видно, что сейсмограммы ядерных и химического взрывов, имеют ряд сходных черт, на всех записях доминирует S-волна; для подземных ядерных и калибровочного взрывов наблюдаются четкие вступления Р-волн, отношение S/P больше 1; для воздушного взрыва уровень амплитуд Р-волн значительно ниже, чем у подземных взрывов, а уровень амплитуды поверхностных волн больше, чем у ПЯВ и химического взрыва.



Сейсмограммы сверху вниз: воздушного ядерного взрыва; наземного ядерного взрыва; подземного ядерного взрыва в штольне площадки Дегелен; химического взрыва

Рисунок 7. Записи взрывов разного типа на Семипалатинском полигоне, зарегистрированные станцией KAC (Δ~ 500 км). Канал Z



Сейсмограммы сверху вниз: воздушного ядерного взрыва; подземного ядерного взрыва в скважине площадки Балапан; подземного ядерного взрыва в штольне площадки Дегелен; химического взрыва

Рисунок 8. Записи взрывов разного типа на Семипалатинском полигоне, зарегистрированных станцией SEM (Δ~170 км). Фильтр СКМ. Z –канал

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ УТОЧНЕНИЯ/ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЛАБЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Поскольку расположение станций представляло собой профиль, азимутального окружения СИП не было, координаты стандартным методом с хорошей точностью определить не удалось. В качестве координат воздушных взрывов были выбраны координаты одной из мишеней площадки П3 на Опытном поле, для наземных взрывов на площадках П5 и П7 были выбраны координаты соответствующих кратеров, определенные по космоснимкам (рисунок 9).

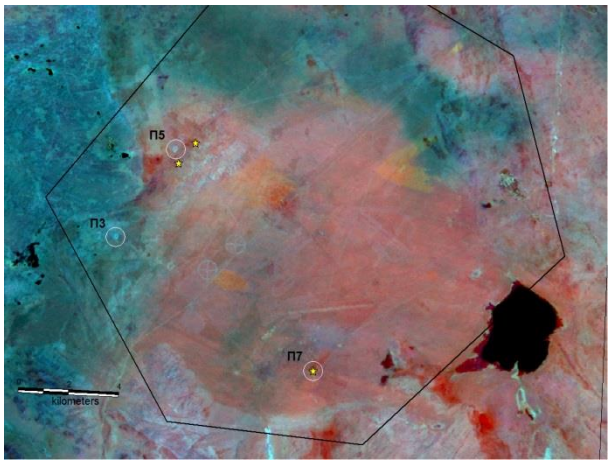


Рисунок 9. Уточненное положение эпицентров воздушных (П3) и наземных (П5 и П7) ядерных взрывов в пределах площадки Опытное поле

Для определения времени в очаге взрывов использовался региональный годограф для Центрального Казахстана, построенный по записям калибровочных химических взрывов, произведенных на СИП 1997 - 2000 гг., и эталонных подземных ядерных взрывов [5].

Для характеристики динамических параметров использовалась региональная магнитуда mpv, рассчитанная по амплитудам Р-волн для расстояний 10 - 1000 км. В качестве региональной калибровочной кривой для mpv в Казахстане с 1983 г. используется зависимость, полученная Михайловой, Неверовой [6]. Кроме того, были определены магнитуда по поверхностным волнам MLV и энергетический класс K [3].

Расчет mpv проведен в соответствии с формулой: $mpv = lg(Ap/Tp) + \sigma_{per}(\Delta)$, где $\sigma_{per}(\Delta)$ – региональная калибровочная функция; Δ – эпицентральное расстояние, км; A – амплитуда смещений Р-волны по Z-компоненте; T – период.

Расчет энергетического класса проведен по формуле: $K= 1.8\ lg\ (Ap + As) + \sigma_1\ (\Delta)$, где $\sigma_1(\Delta)$ – калибровочная функция для расчета энергетического класса; Ap и As – максимальные амплитуды в фазах P- и S- волн по каналу СКМ.

Расчет MLV произведен по формуле: $MLV=lg(A_{z(Rg)}/T) + \sigma_2\ (\Delta)$, где $\sigma_2(\Delta)$ – калибровочная

функция для вертикальной составляющей максимальной фазы поверхностных волн; $A_{z(Rg)}$ – амплитуда смещений по Z-компоненте в волне Релея Rg; T – период, соответствующий$A_{z(Rg)}$, в секундах.

Ряд взрывов был зарегистрирован лишь одной станцией Семипалатинск (прибор СКД). Для таких взрывов точность определения времени в очаге гораздо ниже, чем для взрывов, зарегистрированных сетью высокочувствительных станций. Кроме того, у станции Семипалатинск была небольшая временная развертка (таблица 1), амплитудно-частотная характеристика прибора СКД не позволяет замерять амплитуды для вычисления магнитуды mpv и К.

По оцифрованным историческим сейсмограммам восстановлены и дополнены параметры 36 воздушных и наземных взрывов. Восстановленный каталог воздушных и контактных взрывов на СИП приведен в таблице 2.

Таблица 2. Каталог воздушных и наземных взрывов на СИП, восстановленный по историческим сейсмограммам

Широта	Долгота	Дата	Время в очаге	№ станций	m_b	Ms	К	Y, Кт	minY	maxY	НОВ
50.4227	77.7231	9/01/1961	07:01:53.0	6	3.2	2.7	7.9	16			660
50.4227	77.7231	9/13/1961	05:01:55.8	8	3	2.7	8.1		0.001	20	710
50.4227	77.7231	9/17/1961	07:00:46.6	8	3.2	2.8	8.5		20	150	695
50.3782	77.8373	9/19/1961	18:32:01.4	8	3.1	2.6	8.2	0.03			0
50.4227	77.7231	9/21/1961	14:01:00.0	5	3	2.2	7.7	0.8			110
50.4227	77.7231	9/26/1961	07:00:22.7	3	2.8	2.4	7.4	1.2			665
50.4227	77.7231	10/04/1961	07:01:20.8	8	3	2.7	8.4	13			605
50.4227	77.7231	11/01/1961	09:59:54.6	4	2.8	2.3	7.7	2.7			475
50.4123	77.7755	11/03/1961	09:00:37.5	1		1.9		0.9			635
50.4227	77.7231	8/03/1962	06:01:24.5	5	2.4	2.5	7.5	1.6			180
50.4227	77.7231	8/04/1962	03:00:57.0	7	2.7	2.5	7.9	3.8			390
50.4578	77.7655	8/07/1962	13:03:08.7	13	3.6	2.8	9.1	9.9			0
50.4227	77.7231	8/18/1962	05:00:24.9	5	2.9	2.8	8.2	5.8			310
50.4227	77.7231	8/18/1962	14:00:52.0	8	3	2.7	8.3	7.4			710
50.4227	77.7231	8/21/1962	12:01:09.1	13	3.3	2.8	8.9		20	150	590
50.4227	77.7231	8/22/1962	10:59:43.5	3	2.8	2.4	7.4	3			740
50.4227	77.7231	8/23/1962	11:00:28.1	5	2.6	2.5	7.6	2.5			680
50.4227	77.7231	8/25/1962	05:00:22.4	5	2.7	2.7	8.1		0.001	20	715
50.4227	77.7231	8/27/1962	13:01:34.6	11	3.4	2.8	8.8	11			245
50.4227	77.7231	8/31/1962	09:00:31.8	7	2.8	2.6	7.8	2.7			700
50.4502	77.7568	9/25/1962	03:30:50.8	11	3.6	3	8.9		0.001	20	0
50.4227	77.7231	9/28/1962	06:00:37.7	2	2.8		7.6	1.3			695
50.4227	77.7231	10/09/1962	06:00:43.0	10	3	2.7	8.2	8			645
50.4227	77.7231	10/10/1962	06:00:35.9	10	3.1	2.7	8.4	9.2			665
50.4227	77.7231	10/13/1962	09:00:17.5	1		2.8		4.9			720
50.4227	77.7231	10/14/1962	07:00:57.9	1		2.8			0.001	20	725
50.4227	77.7231	10/20/1962	09:21:45.6	6	3	2.6	8.1	6.7			635
50.4227	77.7231	10/28/1962	06:22:58.0	6	2.7	2.7	8.0	7.8			670
50.4227	77.7231	10/28/1962	16:59:33.3	9	3.0	2.6	8.4	7.8			645
50.4227	77.7231	10/30/1962	05:59:56.7	6	3.0	2.1	7.9	1.2			0
50.4227	77.7231	10/31/1962	05:00:07.2	7	2.8	2.8	8.5	10			690
50.4227	77.7231	11/01/1962	03:00:28.0	7	2.6	2.4	8.0	3			700
50.4227	77.7231	11/03/1962	09:00:11.8	10	2.9	2.5	8.2	4.7			710
50.4227	77.7231	11/04/1962	09:00:41.0	1		2.6		8.4			600
50.4227	77.7231	11/14/1962	11:32:15.6	12		2.8	8.7	12			660
50.4227	77.7231	11/17/1962	09:30:36.8	8	3.2	2.9	8.9	18			715

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМОГРАММ ВОЗДУШНЫХ И НАЗЕМНЫХ ВЗРЫВОВ

Большой интерес для исследователей представляет зависимость амплитуд акустических волн от мощности взрыва, замеры амплитуд проводились для станции MIKH, так как по этой станции имеется больше всего записей (рисунок 10). При анализе не учитывались погодные условия и атмосферная модель, так как восстановить эти данные за 1961 - 1962 гг. не представляется возможным. Высота проведения взрывов также не учитывалась, она варьировалась в диапазоне от 310 - 695 м.

Уравнение линейной регрессии для этой зависимости имеет вид:

$$\lg(A/T)=0.35+1.13*\lg(Y) \text{ при } R=0.64, \quad (1)$$

где: A – амплитуда воздушной волны (нм), Y – мощность воздушного взрыва (Кт), R – коэффициент корреляции. Наблюдается увеличение амплитуды воздушной волны в зависимости от мощности взрыва.

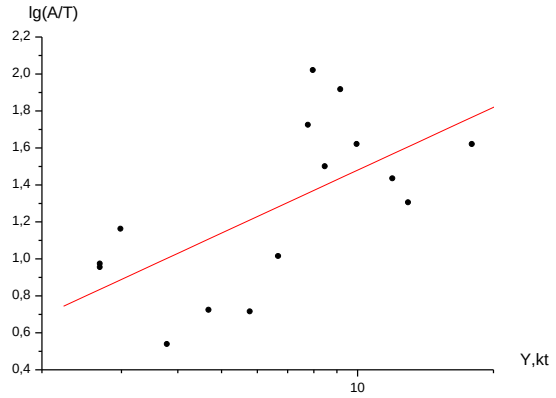


Рисунок 10. Зависимость амплитуды записи воздушной волны от мощности воздушных взрывов. Станция MIKH

На рисунке 11-а приведена зависимость энергетического класса воздушных взрывов от мощности взрыва. Уравнение линейной регрессии для этой зависимости имеет вид:

$$K=7.41+0.95*\lg(Y) \text{ при } R=0.83, \quad (2)$$

где: K – энергетический класс, Y – мощность воздушного взрыва (Кт), R – коэффициент корреляции.

На рисунке 11-б приведена зависимость магнитуды mpv воздушных взрывов от мощности взрыва. Уравнение линейной регрессии для этой зависимости имеет вид:

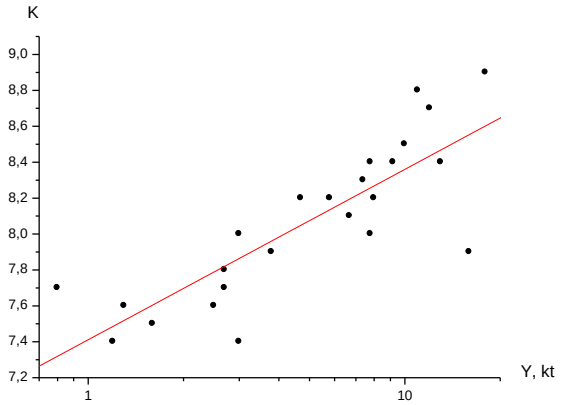
$$mpv=2.65+0.36*\lg(Y) \text{ при } R=0.61, \quad (3)$$

где: mpv – магнитуда, Y – мощность воздушного взрыва (Кт), R – коэффициент корреляции.

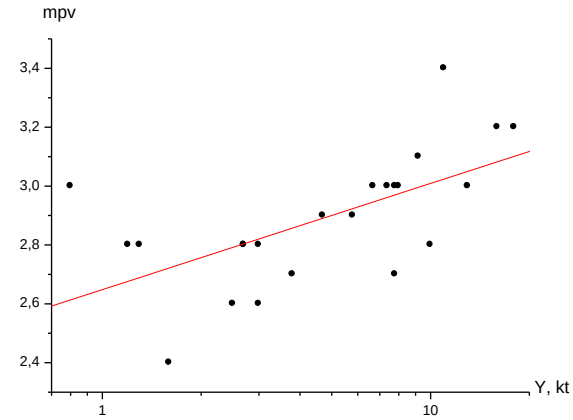
На рисунке 11-в приведена зависимость магнитуды MLV воздушных взрывов от магнитуды mpv. Уравнение линейной регрессии для этой зависимости имеет вид:

$$MLV=1.41+0.42*mpv \text{ при } R=0.64, \quad (4)$$

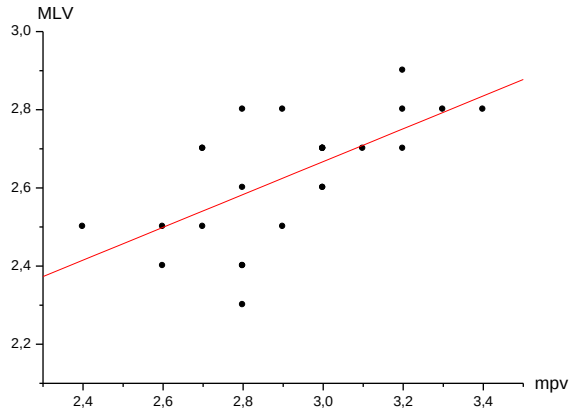
где: mpv – магнитуда по объемным волнам, MLV – магнитуда по поверхностным волнам, R – коэффициент корреляции.



а – зависимость энергетического класса K от мощности взрыва



б – зависимость магнитуды mpv от мощности взрыва



в – зависимость магнитуды MLV от mpv

Рисунок 11. Сопоставление динамических параметров сейсмограмм воздушного ядерного взрыва

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Собраны и проанализированы сейсмограммы воздушных и наземных ядерных взрывов, произведенных на СИП в 1961 - 1962 гг., база данных включает 309 записей, зарегистрированных 24 сейсмическими станциями на расстояниях 175 - 1480 км. Записи воздушных и наземных взрывов на Опытном поле СИП имеют все характерные признаки воздушных взрывов, мощные поверхностные волны, на ряде сейсмограмм выявлены записи акустической волны.

По сейсмограммам воздушных и наземных взрывов восстановлены параметры 36 взрывов (координаты, t_0, mpv, MLV, K), произведенных на площадке Опытное поле СИП в 1961 - 1962 гг. Созданный каталог может быть использован для решения различных задач мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mikhailov, V.N. USSR Nuclear Weapons Tests and Peaceful Nuclear explosions1949 through 1990 / V.N. Mikhailov (editor) , and 14 co-authors.- Sarov: RFNC - VNIIEF, 1996. - 96 p.
2. Khalturin,V.I. A study of small magnitude seismic events during 1961 - 1989 near and on the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan / V.I. Khalturin, T.G. Rautian, P.G. Richards // Pure and Applied Geophysics, 2001. - P. 158, 143 – 171.
3. Нерсесов, И.Л. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра / И.Л.Нерсесов, Т.Г.Раутиан // В кн. Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР. – М.:Наука, 1964. - С. 63 - 87.
4. Аранович, З.И. Основные типы сейсмометрических приборов // Аранович, З.И. [и др.] //Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. - М.: Наука, 1974. - С. 43 - 117.
5. Михайлова, Н.Н. Годограф сейсмических волн по результатам регистрации сигналов от химических взрывов / Н.Н.Михайлова, И.Л.Аристова, Т.И.Германова // Геофизика и проблемы нераспространения: Вестник НЯЦ РК, 2002. - Вып. 2(10). - С. 46 - 54.
6. Михайлова, Н.Н. Калибровочная функциядля определения магнитуды землетрясений Северного Тянь-Шаня / Н.Н. Михайлова, Н.П. Неверова // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. – Алма-Ата:Наука, 1983. - С.41 - 47.

ТАРИХИ СЕЙСМОГРАММАЛАРЫН ЗЕРДЕЛЕУ НЕГІЗІНДЕ СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ ӘЛСІЗ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН НАҚТЫЛАУ

Соколова И.Н., Великанов А.Е.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан

Тарихи сейсмограммалар бойынша Семей сынау полигонының Тәжірибелік алаңында 1961-1962 ж.ж. жүргізілген 36 әуе және жер бетіндегі ядролық жарылыстардың параметрлері қалпына келтірілген және толықтырылған. Памир-Байкал кескіні бойынша орнатылған жоғары сезімді станциялардың, сондай-ақ алаңнан 175 км. қашықтықта орнатылған Семипалатинск стационар станцияның жазбалары пайдаланылған. Жарылыстар үшін ошақтағы уақыты, координаттары, mpv, MLV аумақтық магнитудалары және К энергетикалық классы анықталған және жарылыстардың динамикалық параметрлері қуатына байланыстығы зерттелген.

PRECISION OF SMALL NUCLEAR EXPLOSIONS PARAMETERS AT SEMIPALATINSK TEST SITE BASED ON HISTORICAL SEISMOGRAMS

I.N. Sokolova, A.E. Velikanov

Institute of Geophysical Research

Parameters of 36 air and surface nuclear explosions conducted at Opytnoye Plye site of the Semipalatinsk Test Site in 1961 - 1962 were restored and supplemented using historical seismograms. For the explosions parameters determination the records of high-sensitive stations installed along Pamir - Baykal profile, and the records from the permanent seismic station Semipalatinsk located 175 km away from the site were used. Origin time, coordinates, regional magnitudes mpv, MLV, and energy class K were determined for the explosions. Dependence of explosions dynamic parameters on its yield were investigated.

УДК 550.34:621.039.9

ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОБЕГА ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ *P* НА ТРАССЕ НЕВАДСКИЙ ПОЛИГОН – СЕЙСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ ИУЛЬТИН, СЕЙМЧАН, БОДАЙБО, ЗАКАМЕНСК

Ан В.А., Годунова Л.Д., Каазик П.Б.

Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия

Представлены результаты исследования линейного тренда времени пробега продольной волны P за период 1963 – 1992 гг. на эпицентральных расстояниях 45.8° – 86.1° в азимутальном створе 331.5°±4.5° от Невадского полигона США.

Введение

В процессе сейсмологического контроля за проведением подземных ядерных испытаний было обнаружено непостоянство параметров сейсмических волн на одной и той же трассе «полигон – станция» в календарном времени [1, 2]. Тренд времени пробега продольной волны в календарном времени исследован на 16-ти трассах с эпицентральными расстояниями от 110 до 16000 км (от 1° до 146°) [3, 4]. Анализ результатов по модели PREM (Preliminary Reference Earth Model [5]) показал: на эпицентральных расстояниях до 975 км (8.8°) наблюдается тенденция уменьшения, а на расстояниях более 1430 км (12.9°) – тенденция увеличения времени пробега продольной волны [4]. При этом все трассы находятся по различным азимутам от полигонов (эпицентров). В настоящей работе рассматриваются трассы от Невадского испытательного полигона (NTS) в азимутальном створе 331.5°±4.5°, что может уменьшить влияние азимутальных неоднородностей среды в эпицентрах взрывов, вызванных геологическими причинами или близостью к гипоцентрам предыдущих испытаний.

Параметры сейсмических трасс представлены в таблице 1. Большое количество использованных сейсмограмм, зарегистрированных станцией Иультин (ILT), связано с тем, что все сейсмограммы станции, которая к началу данного исследования была закрыта, хранятся в одном фонде – Геофизической службе РАН (г. Обнинск Калужской области). Сейсмограммы других станций приходилось запрашивать непосредственно со станций, что было связано с большими финансовыми затратами, в связи с чем запрашивались только записи с магнитудой более m_b≈4.5. Для исследования использовались сейсмограммы взрывов с относительно чёткими вступлениями сейсмических волн.

По всем станциям анализировались сейсмограммы СКМ – Z, зарегистрированные со скоростью записи не менее 60 мм/мин. Исключение составила сейсмическая трасса Невада – Якутск, которая выпала из анализа по следующей причине: 28 сейсмограмм в интервале 12.05.1962 – 14.10.1970 гг. были зарегистрированы сейсмическим комплексом СК с развёрткой 30 мм/мин и увеличением V_{max} = 700 - 800; 45 сейсмограмм с 17.12.1970 по 02.05.1985 гг. - горизонтальная составляющая, зарегистрированы сейсмическим комплексом СКМ – EW с развёрткой 30 мм/мин и V_{max} ≈ 35000 и только 19 записей с 05.12.1985 по 26.03.1992 гг. зарегистрированы сейсмическим комплексом СВКМ – Z со скоростью записи 60 мм/мин и V_{max} = 30000 - 40000. Необходимо отметить, что в разных публикациях географические координаты сейсмических станций отличаются [6, 7]. Возможно, это связано с перемещениями сейсмометров или станции в целом. В данном случае использованы координаты станций согласно [6], как календарно более близкие к исследуемым событиям.

Обычно параметры подземных ядерных взрывов, приведенные в календарно последней публикации [8], принимаются как окончательные, но в данном случае избежать опечаток не удалось как в названиях испытаний, так и в основных параметрах. В таблице 2 приведены некоторые опечатки основных параметров из [8], обнаруженные в процессе подготовки данной статьи. Многие разночтения параметров испытаний в [8 – 11] требуют дальнейшего уточнения.

Таблица 1. Параметры изучаемых сейсмических трасс

Станция	Координаты станций			Δ°	Az°	t_p сек	Интервал, год	N
	φ°	λ°	H, м					
ILT (Иультин)	67.8667 N	178.7334 W	244	45.8	332	504.5	1964 - 1992	308 / 198
SEY (Сеймчан)	62.9166 N	152.4167 E	206	58.2	327	596.5	1969 - 1992	77 / 71
YAK (Якутск)	62.0167 N	129.7167 E	83	67.8	332	660	1962 - 1992	92 / ---
BOD (Бодайбо)	57.8500 N	114.1833 E	245	76.3	335	710	1963 - 1992	87 / 71
ZAK (Закаменск)	50.3834 N	103.2834 E	1200	86.1	336	763	1966 - 1992	83 / 59

Примечания: φ, λ, H – широта, долгота, высота над уровнем моря сейсмической станции [6], Δ – среднее эпицентральное расстояние, Az – средний азимут от NTS на станцию, t_p – среднее время пробега продольной волны, N – количество обработанных сейсмограмм / количество испытаний, использованных для анализа.

Таблица 2. Некоторые опечатки основных параметров испытаний в работе [8]

№ п/п	Название испытания	Дата дд–мм–гг	Опечатки по данным D. L. Springer et.al. [8]	Правильно
1	Staccato	19–01–68	φ = 38.634°, λ = –118.133° h = 443 м, H = 1834 м	φ = 37.156°, λ = –116.055° h = 443 м, H = 1272 м
2	Fautless	19–01–68	φ = 37.156°, λ = –116.055° h = 975 м, H = 1272 м	φ = 38.634°, λ = –118.133° h = 975 м, H = 1834 м
3	Pod A	29–10–69	t_0 = 20:00:38.38	t_0 = 20:00:00.04
4	Zinnia	17–05–72	t_0 = 14:00:00.16	t_0 = 14:10:00.16
5	Topgallant	28–02–75	t_0 = 16:15:00.00	t_0 = 15:15:00.00
6	Cabrillo	07–03–75	t_0 = 16:00:00.17	t_0 = 15:00:00.17
7	Sheepshead	26–09–79	Площадка Yucca	Площадка Pahute
8	Cabra	26–03–83	Площадка Yucca	Площадка Pahute
9	Presidio	22–04–87	t_0 = 15:00:00.09	t_0 = 22:00:00.09

Примечания: φ, λ, h, H – широта, долгота, глубина бурения, высота эпицентра над уровнем моря; t_0 – время взрыва в гипоцентре час:мин:сек; красным цветом выделены значения выявленных опечаток.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика исследования достаточно проста. Подземные испытания на NTS проводились на разных глубинах. В связи с этим в данном исследовании время взрыва (время в гипоцентре) приводится к уровню моря. В таблицах 3 - 5 для большинства взрывов приведены поправки времени δt, которые необходимо прибавить ко времени в гипоцентре (или вычесть из времени пробега до станции).

Таблица 3. Поправки времени испытания к уровню моря на площадке Pahute Mesa NTS

№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек	№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек
1	Palanquin		14-04-65	0.52	44	Kash	5.6	12-06-80	0.34
2	Buteo		12-05-65	0.32	45	Tafi	5.5	25-07-80	0.32
3	Rex	5.0	24-02-66	0.32	46	Serpa	5.1	17-12-80	0.39
4	Duryea	5.4	14-04-66	0.38	47	Harzer	5.6	06-06-81	0.38
5	Chartreuse	5.4	06-05-66	0.37	48	Molbo	5.4	12-02-82	0.33
6	Halfbeak	6.0	30-06-66	0.32	49	Hosta	5.4	-"-"-"-"-	0.38
7	Greeley	6.3	20-12-66	0.19	50	Gibne	5.4	25-04-82	0.23
8	Scotch	5.7	23-05-67	0.27	51	Nebbiolo	5.6	24-06-82	0.37
9	Knickerbocker	5.5	26-05-67	0.34	52	Cabra	5.2	26-03-83	0.37
10	Cabriolet	4.7	26-01-68	0.38	53	Chancellor	5.5	01-09-83	0.37
11	Stinger	5.6	22-03-68	0.37	54	Kappeli	5.4	25-07-84	0.36
12	Scroll	4.6	23-04-68	0.50	55	Egmont	5.5	09-12-84	0.36
13	Boxcar	6.3	26-04-68	0.20	56	Tierra	5.4	15-12-84	0.39
14	Rickey	5.9	15-06-68	0.38	57	Towanda	5.7	02-05-85	0.38
15	Chateaugay	5.3	28-06-68	0.35	58	Salut	5.5	12-06-85	0.34
16	Sled	5.9	29-08-68	0.35	59	Serena	5.2	25-07-85	0.36
17	Schooner	4.8	08-12-68	0.46	60	Goldstone	5.3	28-12-85	0.38
18	Benham	6.3	19-12-68	0.12	61	Jefferson	5.3	22-04-86	0.36
19	Purse	5.8	07-05-69	0.34	62	Darwin	5.5	25-06-86	0.37
20	Jorum	6.2	16-09-69	0.19	63	Cybar	5.7	17-07-86	0.38
21	Pipkin	5.5	08-10-69	0.36	64	Galveston	3.5	04-09-86	0.40
22	Handley	6.5	26-03-70	0.15	65	Labquark	5.5	30-09-86	0.40
23	Almendro	6.1	06-06-73	0.26	66	Belmont	5.6	16-10-86	0.35
24	Tybo	6.0	14-05-75	0.30	67	Bodie	5.5	13-12-86	0.37
25	Stilton	5.9	03-06-75	0.26	68	Delamar	5.5	18-04-87	0.38
26	Mast	6.1	19-06-75	0.30	69	Hardin	5.5	30-04-87	0.36
27	Camembert	6.2	26-06-75	0.13	70	Lockney	5.7	24-09-87	0.38
28	Kasseri	6.4	28-10-75	0.18	71	Kernville	5.3	15-02-88	0.38
29	Inlet	6.0	20-11-75	0.32	72	Comstock	5.4	02-06-88	0.37
30	Muenster	6.2	03-01-76	0.16	73	Alamo	5.6	07-07-88	0.37
31	Fontina	6.3	12-02-76	0.16	74	Kearsarge	5.5	17-08-88	0.40
32	Cheshire	6.0	14-02-76	0.20	75	Contact	5.3	22-06-89	0.40
33	Estuary	6.0	09-03-76	0.30	76	Amarillo	4.9	27-06-89	0.38
34	Colby	6.3	14-03-76	0.16	77	Hornitos	5.7	31-10-89	0.34
35	Pool	6.1	17-03-76	0.31	78	Barnwell	5.5	08-12-89	0.37
36	Fondutta	5.3	11-04-78	0.38	79	Bullion	5.7	13-06-90	0.33
37	Backbeach	5.5	-"-"-"-"-	0.38	80	Tenabo	5.6	12-10-90	0.35
38	Panir	5.6	31-08-78	0.35	81	Houston	5.4	14-11-90	0.38
39	Emmenthal	4.2	02-11-78	0.40	82	Bexar	5.6	04-04-91	0.40
40	Farm	5.5	16-12-78	0.34	83	Montello	5.4	16-04-91	0.37

№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек	№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек
41	Pepato	5.5	11-06-79	0.33	84	Hoya	5.5	14-09-91	0.35
42	Sheepshead	5.6	26-09-79	0.37	85	Junction	5.5	26-03-92	0.37
43	Colwick	5.4	26-04-80	0.35					

Значения δt в данном случае рассчитаны до 0.01 сек, хотя в предыдущих исследованиях использованы значения до 0.001 сек, так как времена испытаний, начиная с 1980 г. публиковались с точностью до 0.001 сек (кстати, географические координаты были опубликованы до 0.01″). Для испытаний, не представленных в таблицах 3 – 5, δt можно вычислить, принимая за основу скоростные разрезы площадок Pahute, Rainier и Yucca из [12]:

а) Pahute

$$\delta t = (H_п - H_б) / \{2.594 + 0.460\ (H_п + H_б)\};$$

б) Rainier

$$\delta t = \{(1 - H_б) / (4 + 1.5\ H_б)\} +$$
$$+\{(H_п - 1) / (10.8 + 0.2\ H_п)\};$$

в) Yucca: при $H_б \geq 0.6$ км

$$\delta t = (H_п - H_б) / \{0.818 + 1.318\ (H_п + H_б)\},$$

при $H_б < 0.6$ км

$$\delta t = \{(0.6 - H_б) / (2.1 + 0.5\ H_б)\} +$$
$$+ \{(H_п - 0.6) / (1.609 + 1.318\ H_п)\},$$

где: $H_п$ – высота поверхности над уровнем моря, (км), $H_б$ – глубина бурения (км).

Методика вычисления поправок δt подробно рассмотрена в [13]. Обращаем внимание, что в [13] обнаружена опечатка в формуле расчёта δt для площадки Rainier, которая здесь исправлена.

Для построения локального годографа по координатам станции и эпицентра взрыва первоначально рассчитывается эпицентральное расстояние. При групповых испытаниях, когда несколько взрывов исполняются практически в одно и то же время, для настоящего исследования приняты параметры испытания, исходя из следующих соображений: а) испытание с наибольшей мощностью; б) испытание с наибольшей глубиной бурения, если мощность отдельных взрывов одинакова; в) испытание с наименьшим эпицентральным расстоянием, если мощность и глубина бурения одинаковы. Однако во всех случаях необходимо уточнять времена пробега от всех одновременно произведенных взрывов в соответствии с экспериментально полученным локальным годографом.

По локальному годографу все времена пробега пересчитаны к одному (обычно среднему) эпицентральному расстоянию и затем рассчитан их линейный тренд в календарном времени.

Таблица 4. Поправки времени испытания к уровню моря на площадке Rainier Mesa NTS

№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек	№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек
1	Antler	4.2	15-09-61	0.36	21	Husky Pup	4.7	24-10-75	0.33
2	Platte	3.9	14-04-62	0.35	22	Mighty Epic	4.9	12-05-76	0.35
3	Yuba	4.6	05-06-63	0.40	23	Hybla Gold	4.7	01-11-77	0.36
4	Clearwater	5.7	16-10-63	0.32	24	Diablo Hawk	4.6	13-09-78	0.35
5	Red Hot	4.4	05-03-66	0.36	25	Miners Iron	4.7	31-10-80	0.35
6	Midi Mist	5.1	26-06-67	0.36	26	Diamond Ace+ Huron Landing	4.9	23-09-82	0.35
7	Door Mist	5.0	31-08-67	0.35	27	Tomme / Midnigt Zephyr	4.6	21-09-83	0.35
8	Dorsal Fin	5.0	29-02-68	0.36	28	Midas Myth / Milagro	5.1	15-02-84	0.33
9	Hudson Seal	5.0	24-09-68	0.36	29	Misty Rain	4.8	06-04-85	0.35
10	Wineskin	5.3	15-01-69	0.33	30	Mill Yard	4.8	09-10-85	0.37
11	Cypress	5.1	12-02-69	0.36	31	Diamond Beech	4.2	-"-"-"-"-	0.35
12	Diesel Train	5.0	05-12-69	0.34	32	Mighty Oak	4.9	10-04-86	0.33
13	Diana Mist	4.7	11-02-70	0.35	33	Middle Note	4.3	18-03-87	0.35
14	Mint Leaf	5.0	05-05-70	0.34	34	Mission Cyber	4.1	02-12-87	0.33
15	Hudson Moon	5.0	26-05-70	0.36	35	Misty Echo	5.0	10-12-88	0.35
16	Misty North	5.0	02-05-72	0.35	36	Disko Elm	4.2	14-09-89	0.33
17	Diamond Sculls	4.9	20-07-72	0.33	37	Mineral Quarry + Randsburg	4.7	25-07-90	0.35
18	Dido Queen	5.1	05-06-73	0.36	38	Distant Zenith	4.0	19-09-91	0.34
19	Husky Ace	4.8	12-10-73	0.35	39	Hunters Trophy	4.4	18-09-92	0.36
20	Dining Car	4.8	05-04-75	0.38					

Таблица 5. Поправки времени испытания к уровню моря на площадке Yucca Flat NTS

№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек	№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек
1	Fisher	4.4	03-12-61	0.30	152	Cathay	4.7	08-10-71	0.30
2	Stoat	4.2	09-01-62	0.33	153	Parnassia	4.4	30-11-71	0.33
3	Agouti	4.2	18-01-62	0.35	154	Chaenactis + Yerba+Hosp.	4.7	14-12-71	0.29
4	Stillwater	4.3	08-02-62	0.40	155	Dianthus	4.3	17-02-72	0.34
5	Chinchilla I	4.1	19-02-62	0.40	156	Onaja + Ocate	4.3	30-03-72	0.33

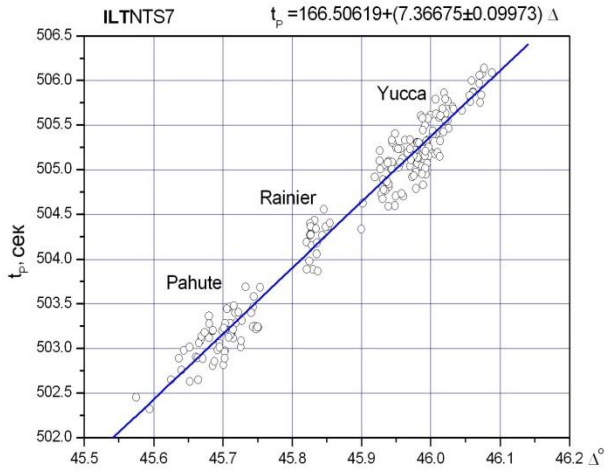
№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек	№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек
6	Cimarron	4.3	23-02-62	0.34	157	Longchamps	4.6	19-04-72	0.33
7	Pampas	4.6	01-03-62	0.30	158	Zinnia	4.4	17-05-72	0.33
8	Brazos	4.2	08-03-62	0.36	159	Monero	4.9	19-05-72	0.23
9	Hognose	4.8	15-03-62	0.36	160	Oscuro	5.7	21-09-72	0.22
10	Dormouse Prime	4.3	05-04-62	0.35	161	Delphinium	4.4	26-09-72	0.35
11	Passaic	4.6	06-04-62	0.37	162	**Flax** Back.+ Sour.+**Test**	4.8	21-12-72	0.18
12	Black	4.6	27-04-62	0.38	163	Miera	5.4	08-03-73	0.22
13	Paca	4.7	07-05-62	0.35	164	Angus + Velarde	4.7	25-04-73	0.26
14	Aardvark	4.6	12-05-62	0.27	165	Starwort	5.6	26-04-73	0.22
15	White	4.6	25-05-62	0.39	166	Potrillo	5.1	21-06-73	0.21
16	Daman I	4.8	21-06-62	0.35	167	Portulaca	4.9	28-06-73	0.28
17	Haymaker	5.1	27-06-62	0.28	168	Bernal	4.4	28-11-73	0.33
18	Sacramento	4.1	30-06-62	0.41	169	Pajara	4.5	12-12-73	0.33
19	Sedan	4.9	06-07-62	0.40	170	Latir	5.8	27-02-74	0.19
20	Merrimac	4.9	13-07-62	0.28	171	Fallon	4.8	23-05-74	0.26
21	Peba	4.4	20-09-62	0.36	172	Jara	4.7	06-06-74	0.28
22	Mississippi	5.1	05-10-62	0.25	173	Escabosa	5.7	10-07-74	0.18
23	Bandicoot	4.3	19-10-62	0.36	174	Puye	4.6	14-08-74	0.26
24	Acushi	4.9	08-02-63	0.35	175	Portmanteau	5.8	30-08-74	0.18
25	Gerbil	4.8	29-03-63	0.34	176	Stanyan	5.6	26-09-74	0.21
26	Stones	5.2	22-05-63	0.30	177	Teleme	4.5	06-02-75	0.34
27	Kennebec	4.8	25-06-63	0.38	178	Topgallant	5.7	28-02-75	0.16
28	Pekan	4.8	12-08-63	0.33	179	Cabrillo	5.5	07-03-75	0.21
29	Bilby	6.0	13-09-63	0.16	180	Edam	4.6	24-04-75	0.29
30	Grunion	4.9	11-10-63	0.34	181	Obar	5.2	30-04-75	0.22
31	Tornillo		-"-"-"-	0.42	182	Mizzen	5.7	03-06-75	0.19
32	Anchovy	4.8	14-11-63	0.34	183	Marsh	4.6	06-09-75	0.27
33	Greys	4.8	22-11-63	0.34	184	Leyden	5.0	26-11-75	0.34
34	Barracuda + Sardine	4.9	04-12-63	0.34	185	Chiberta	5.7	30-12-75	0.17
35	Fore	5.2	16-01-64	0.26	186	Keelson	5.8	04-02-76	0.18
36	Klickitat	5.1	20-02-64	0.26	187	Esrom	5.7	-"-"-"-	0.19
37	Turf	5.2	24-04-64	0.25	188	Strait	5.8	17-03-76	0.14
38	Pipefish	4.1	29-04-64	0.34	189	Billet	5.3	27-07-76	0.22
39	Par	4.8	09-10-64	0.30	190	Banon	5.3	26-08-76	0.23
40	Crepe + Drill So.+ Drill Target	4.8	05-12-64	0.29	191	Redmud	4.9	08-12-76	0.28
41	Cashmere	4.6	04-02-65	0.38	192	Asiago	4.8	21-12-76	0.33
42	Merlin	4.7	16-02-65	0.33	193	Rudder	5.5	28-12-76	0.19
43	Wagtail	5.4	03-03-65	0.14	194	Marsilly	5.6	05-04-77	0.17
44	Cup	5.2	26-03-65	0.24	195	Bulkhead	5.4	27-04-77	0.21
45	Kestrel	4.8	05-04-65	0.26	196	Crewline	5.3	25-05-77	0.22
46	Bronze	5.4	23-07-65	0.23	197	Strake	5.0	04-08-77	0.24
47	Moa + Screamer	4.2	01-09-65	0.32	198	Scantling	5.6	19-08-77	0.17
48	Charcoal	5.1	10-09-65	0.26	199	Ebbtide	4.5	15-09-77	0.29
49	Corduroy	5.6	03-12-65	0.18	200	Coulommiers	4.8	27-09-77	0.24
50	Emerson	4.8	16-12-65	0.36	201	Bobstay	4.4	26-10-77	0.26
51	Buff	5.3	-"-"-"-	0.24	202	Sandreef	5.7	09-11-77	0.16
52	Lampblack + Sienna	5.2	18-01-66	0.20	203	Seamount	4.7	17-11-77	0.29
53	Cinnamon + Finfoot	4.6	07-03-66	0.38	204	Faraliones	5.7	14-12-77	0.19
54	Purple	5.3	18-03-66	0.31	205	Reblochon	5.6	23-02-78	0.19
55	Lime	4.2	01-04-66	0.23	206	Topmast + Iceberg	5.6	23-03-78	0.19
56	Tomato	4.6	07-04-66	0.36	207	Satz	4.3	07-07-78	0.33
57	Traveler	4.6	04-05-66	0.43	208	Lowball	5.5	12-07-78	0.22
58	Cyclamen	4.4	05-05-66	0.33	209	Draughts	5.0	27-09-78	0.27
59	Tapestry	4.3	12-05-66	0.37	210	Rummy	5.7	-"-"-"-	0.19
60	Piranha	5.6	13-05-66	0.22	211	Quargel	5.1	18-11-78	0.24
61	Dumont	5.9	19-05-66	0.18	212	Baccarat	4.5	24-01-79	0.34
62	Discus Thrower	5.0	27-05-66	0.35	213	Quinella	5.5	08-02-79	0.21
63	Tan	5.7	03-06-66	0.21	214	Kloster	4.8	15-02-79	0.24
64	Kankakee	5.4	15-06-66	0.28	215	Memory	4.3	14-03-79	0.29
65	Vulkan	5.1	25-06-66	0.34	216	Freezeout	4.4	11-05-79	0.30
66	Daiquri	4.6	23-09-66	0.22	217	Chess	4.0	20-06-79	0.34
67	Ajax	4.4	11-11-66	0.37	218	Fajy	5.0	28-06-79	0.24
68	Cerise	4.8	18-11-66	0.37	219	Burzet	4.5	03-08-79	0.27
69	Nash	5.4	19-01-67	0.34	220	Offshore	4.8	08-08-79	0.28
70	Bourbon	5.2	20-01-67	0.24	221	Nessel	4.7	29-08-79	0.27
71	Ward	4.8	08-02-67	0.37	222	Hearts	5.8	06-09-79	0.19
72	Persimmon	4.4	23-02-67	0.32	223	Tarko	4.4	28-02-80	0.31

№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек	№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек
73	Agile	5.8	-"-"-"-"-	0.16	224	Liptauer	4.7	03-04-80	0.30
74	Chocolate	4.3	21-04-67	0.35	225	Pyramid	5.3	16-04-80	0.22
75	Mickey	5.0	10-05-67	0.25	226	Canfield	4.5	02-05-80	0.31
76	Commodore	5.9	20-05-67	0.16	227	Huron King	4.4	24-06-80	0.31
77	Umber	4.6	29-06-67	0.23	228	Verdello	4.3	31-07-80	0.29
78	Stanley	5.0	27-07-67	0.26	229	Bonarda	4.6	25-09-80	0.29
79	Washer	4.3	10-08-67	0.27	230	Dutchess	4.4	24-10-80	0.28
80	Bordeaux	4.6	18-08-67	0.31	231	Dauphin	4.1	14-11-80	0.34
81	Yard	5.0	07-09-67	0.24	232	Baseball	5.7	15-01-81	0.22
82	Marvel	4.4	21-09-67	0.41	233	Aligote	4.2	29-05-81	0.34
83	Zaza	5.7	27-09-67	0.18	234	Niza	4.5	10-07-81	0.32
84	Lanpher	5.7	18-10-67	0.16	235	Paliza	5.1	01-10-81	0.26
85	Sazerac + Cognac	4.8	25-10-67	0.32	236	Tilci	4.9	11-11-81	0.27
86	Cobbler	5.1	08-11-67	0.18	237	Rousanne	5.4	12-11-81	0.24
87	Stilt	4.6	15-12-67	0.30	238	Akavi	4.8	03-12-81	0.26
88	Hupmobile	4.8	18-01-68	0.37	239	Caboc	4.4	16-12-81	0.34
89	Staccato	5.0	19-01-68	0.28	240	Jornada	5.6	28-01-82	0.19
90	Knox	5.8	21-02-68	0.19	241	Tenaja	4.5	17-04-82	0.30
91	Noor + Throw	4.6	10-04-68	0.31	242	Kryddost	4.2	06-05-82	0.35
92	Shuffle	4.9	18-04-68	0.24	243	Bouschet	5.7	07-05-82	0.21
93	Clarksmobile	4.7	17-05-68	0.26	244	Monterey	4.4	29-07-82	0.29
94	**Tub** A+B+C+**D**+F		06-06-68	0.35	245	Atrisco	5.7	05-08-82	0.19
95	Tanya	4.6	30-07-68	0.31	246	Frisco	4.9	23-09-82	0.31
96	Noggin	5.6	06-09-68	0.22	247	Seyval	4.1	12-11-82	0.29
97	Knife A	4.2	12-09-68	0.31	248	Manteca	4.8	10-12-82	0.28
98	Stoddard	5.1	17-09-68	0.29	249	Turquoise	5.7	14-04-83	0.23
99	Knife C	4.7	03-10-68	0.33	250	Armada	4.0	22-04-83	0.37
100	Crew+Cr. 2d+Cr. 3d	5.0	04-11-68	0.21	251	Crowdie	4.4	05-05-83	0.31
101	**Tyg** A+B+C+D+E+**F**	5.2	12-12-68	0.12	252	Fahada	4.5	26-05-83	0.31
102	Packard	5.3	15-01-69	0.37	253	Danablu	4.5	09-06-83	0.35
103	Vise	4.8	30-01-69	0.26	254	Laban	4.2	03-08-83	0.33
104	Barsac	4.6	20-03-69	0.32	255	Sabado	4.4	11-08-83	0.28
105	Coffer	4.9	21-03-69	0.27	256	Techado	4.6	22-09-83	0.23
106	Blenton + Thistle	5.3	30-04-69	0.23	257	Romano	5.2	16-12-83	0.25
107	Torrido	5.0	27-05-69	0.25	258	Gorbea	4.3	31-01-84	0.32
108	Tapper	4.4	12-06-69	0.32	259	Tortugas	5.9	01-03-84	0.18
109	Ildrim	4.7	16-07-69	0.29	260	Agrini	4.5	31-03-84	0.34
110	Hutch	5.6	-"-"-"-"-	0.24	261	Mundo	5.4	01-05-84	0.23
111	Spider A + Spider B		14-08-69	0.38	262	Caprock	5.8	31-05-84	0.20
112	Horehound + Pliers	4.7	27-08-69	0.35	263	Duoro	4.7	20-06-84	0.28
113	Cruet	5.1	29-10-69	0.38	264	Correo	4.6	02-08-84	0.31
114	**Pod** A + B + C + **D**	5.0	-"-"-"-"-	0.37	265	Wexford + Dolcetto	4.5	30-08-84	0.32
115	Calabash	5.7	-"-"-"-"-	0.22	266	Breton	5.0	13-09-84	0.25
116	Piccalilli + Planer	5.0	21-11-69	0.29	267	Villita	4.4	10-11-84	0.29
117	**Tun** A + B + C + **D**	4.7	10-12-69	0.37	268	Vaughn	4.8	15-03-85	0.27
118	Grape A	5.5	17-12-69	0.23	269	Cottage	5.3	23-03-85	0.26
119	Lovage	4.8	-"-"-"-"-	0.29	270	Hermosa	5.8	02-04-85	0.19
120	Terrine White + Terrine Yellow	5.2	18-12-69	0.27	271	Ville	4.6	12-06-85	0.39
121	Fob Bl.+Fob Gr.+ Fob Red	4.6	23-01-70	0.36	272	Maribo	4.3	26-06-85	0.32
122	Ajo	4.6	30-01-70	0.32	273	Chamita	4.6	17-08-85	0.31
123	Grape B + Belen	5.6	04-02-70	0.23	274	Ponil	4.7	27-09-85	0.32
124	Labis	4.6	05-02-70	0.28	275	Roquefort	4.6	16-10-85	0.30
125	Cumarin	5.2	25-02-70	0.28	276	Kinibito	5.7	05-12-85	0.20
126	**Yannigan** Blue+Red+**White**	5.3	26-02-70	0.30	277	Glencoe	5.1	22-03-86	0.20
127	Cyathus	4.3	06-03-70	0.37	278	Tajo	5.3	05-06-86	0.26
128	**Arabis** Blue+ **Green**+Ar. Red	4.3	-"-"-"-"-	0.37	279	Cornucopia	4.4	24-07-86	0.30
129	Shaper	5.5	23-03-70	0.23	280	Gascon	5.8	14-11-86	0.20
130	Snubber	4.4	21-04-70	0.32	281	Tornero	4.5	11-02-87	0.32
131	Can Green + Can Red	4.6	-"-"-"-"-	0.30	282	Presidio	4.2	22-04-87	0.32
132	Beebalm	4.2	01-05-70	0.29	283	Brie	4.6	18-06-87	0.40
133	Hod A + Hod B + Hod C	4.3	-"-"-"-"-	0.31	284	Panchuela	4.1	30-06-87	0.32
134	Cornice Green + Cornice Yellow	5.1	15-05-70	0.28	285	Midland	4.8	16-07-87	0.26
135	Morrones	5.1	21-05-70	0.25	286	Tahoka	5.9	13-08-87	0.20
136	Flask Green +	5.5	26-05-70	0.24	287	Borate	5.2	23-10-87	0.26

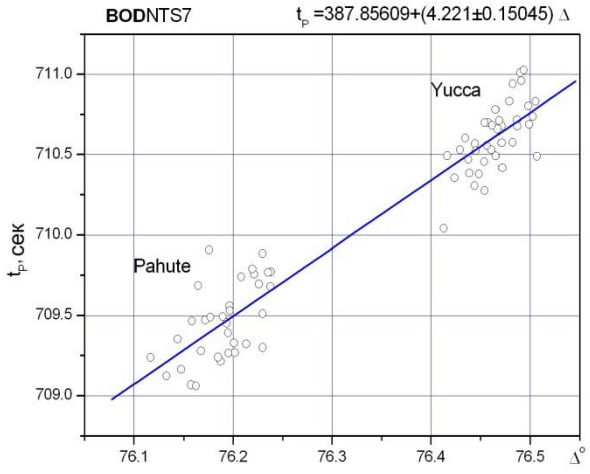
№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек	№ п/п	Название испытания	m_b	Дата дд-мм-гг	δt сек
	Red + Yellow								
137	Piton A + Piton B	4.2	28-05-70	0.37	288	Schellbourne	4.8	13-05-88	0.25
138	Arnica Violet + Arnica Yellow	4.3	26-06-70	0.34	289	Laredo	4.3	21-05-88	0.29
139	Tueras	5.5	14-10-70	0.22	290	Harlingen A + Harlingen B	4.1	23-08-88	0.32
140	Abeytas	4.9	05-11-70	0.29	291	Bullfrog	5.0	30-08-88	0.24
141	Penasco	4.1	19-11-70	0.33	292	Dalhart	5.9	13-10-88	0.20
142	Canjilon + Artesia	5.1	16-12-70	0.27	293	Texarkana	5.2	10-02-89	0.25
143	**Avens** Al.+ **Andorre**+As.+Cr.	5.2	-"-"-"-	0.35	294	Kawich Black+ Kawich Red	4.4	24-02-89	0.31
144	Carpetbag	5.8	17-12-70	0.20	295	Ingot	5.0	09-03-89	0.26
145	Baneberry	5.1	18-12-70	0.38	296	Pal.1+Pal.2+ Palisade 3	4.4	15-05-89	0.31
146	Embudo	4.9	16-06-71	0.32	297	Metropolis	5.0	10-03-90	0.25
147	Laguna	4.8	23-06-71	0.25	298	Coso Br.+Gr.+ Coso Silver	4.4	08-03-91	0.32
148	Harebell	4.9	24-06-71	0.25	299	Floydada	4.2	15-08-91	0.25
149	Miniata	5.5	08-07-71	0.24	300	Lubbock	5.2	18-10-91	0.26
150	Algodones	5.4	18-08-71	0.23	301	Bristol	4.6	26-11-91	0.27
151	Pedernal	4.4	29-09-71	0.29	302	Divider	4.4	23-09-92	0.27

Примечание: При групповом испытании поправка δt соответствует взрыву, выделенному синим цветом.

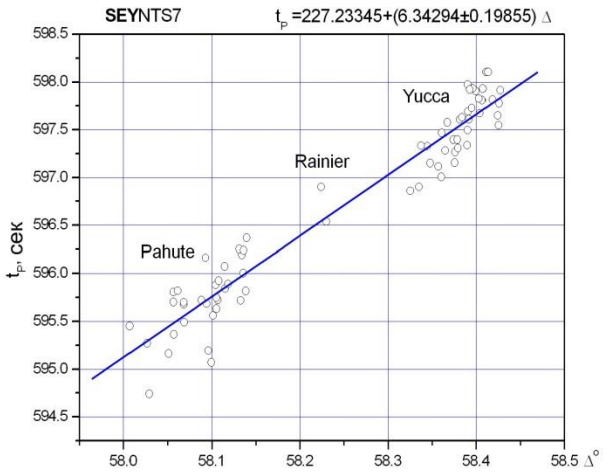
На рисунке 1 представлены локальные годографы продольной сейсмической волны $t_p = F(\Delta°)$ на трассах от Невадского полигона до сейсмических станций Иультин (**ILT**NTS7), Сеймчан (**SEY**NTS7), Бодайбо (**BOD**NTS7) и Закаменск (**ZAK**NTS7). С увеличением эпицентрального расстояния количество зарегистрированных взрывов уменьшается. Это наиболее чётко видно по площадке Rainier, где выполнялись испытания в горизонтальных штольнях.



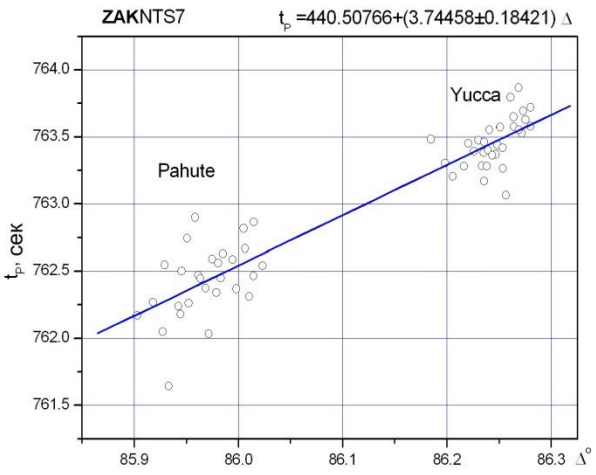
а – Иультин (ILT)



в – Бодайбо (BOD)

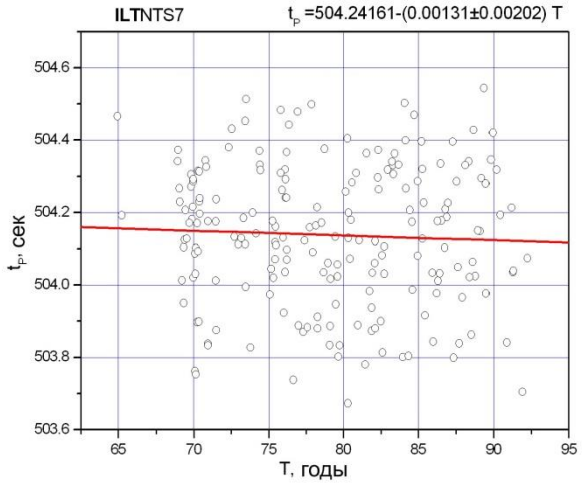


б – Сеймчан (SEY)

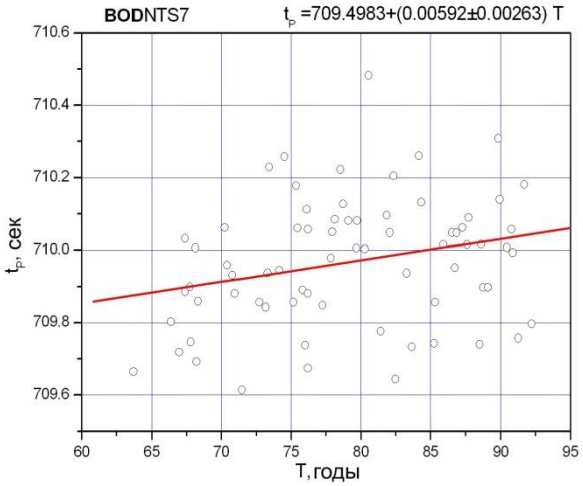


г – Закаменск (ZAK)

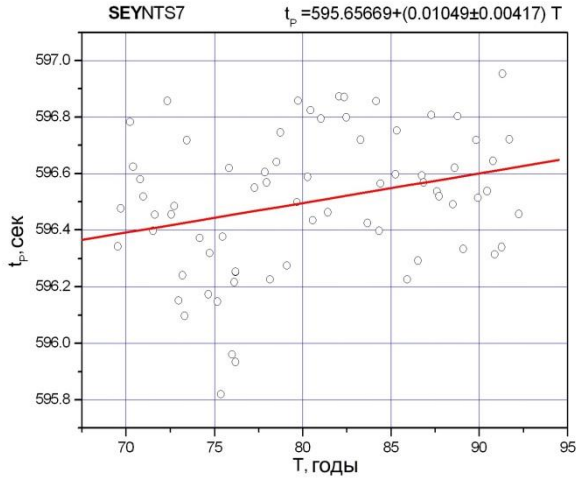
Рисунок 1. Локальные годографы волны P на трассах от Невадского полигона до сейсмических станций



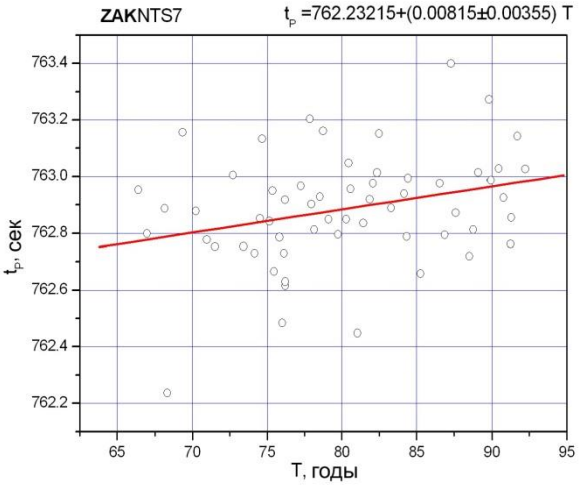
а – Иультин (ILT)



в – Бодайбо (BOD)



б – Сеймчан (SEY)



г – Закаменск (ZAK)

Рисунок 2. Линейные тренды времени пробега волны P на трассах от NTS до станций

Таблица 6. Оценка линейного тренда времени пробега волны P в календарном времени

Станция	Δ°	Локальный годограф t_p (сек)= F (Δ°)	Линейный тренд t_p (сек)= F (T_{years})	Оценка линейного тренда	
				мс/год	% ×10^{-3} в год
Иультин	45.8	166.50619 + 7.36675 Δ	504.24161 – (0.00131 ± 0.00202) T	–1.31 ± 2.02	–0.26
Сеймчан	58.2	227.23345 + 6.34294 Δ	595.65669 + (0.01049 ± 0.00417) T	+10.49 ± 4.17	+1.76
Бодайбо	67.8	387.85609 + 4.22100 Δ	709.49830 + (0.00592 ± 0.00263) T	+5.92 ± 2.63	+0.83
Закаменск	76.3	440.50766 + 3.74458 Δ	762.23215 + (0.00815 ± 0.00355) T	+8.15 ± 3.55	+1.07

На рисунке 2 показаны линейные тренды времени пробега продольной сейсмической волны *P* в календарном времени $t_p = F(T_{years})$ в интервале 1963 – 1992 гг., а в таблице 6 приведены основные результаты настоящего исследования.

Линейный тренд на трассе от NTS до станции Иультин ранее уже рассматривался в [3], но только от одной площадки Pahute. Значение тренда –0.10 мс/год (–0.020 × 10^{-3} % в год). В настоящем исследовании использовались данные по трём площадкам NTS. Оценка линейного тренда при этом увеличилась более чем на порядок и равна –1.31 мс/год (–0.26 × 10^{-3} % в год). Аналогично по трассам Pahute – Боровое +1.73 мс/год (+0.22 × 10^{-3} % в год) [3] и NTS – Закаменск +8.15 мс/год (+1.07×10^{-3} % в год). Правда, фактически это разные трассы, отличающиеся как по азимуту от эпицентра, так и по эпицентральному расстоянию: в первом случае Δ = 89.9°, во втором Δ = 86.1°. Возможно, увеличение оценки линейного тренда практически на порядок в обоих случаях связано с увеличением как количества испытаний, так и территориальной площади их расположения на трёх площадках NTS: Pahute, Rainier и Yucca.

Результаты, полученные на трассах от Невадского полигона до сейсмических станций Иультин,

Сеймчан, Бодайбо, Закаменск, не противоречат ранее полученным оценкам линейного тренда времени пробега продольной сейсмической волны [3, 4]. Если оценивать тренд как равномерный по всей траектории сейсмического луча, то граница изменения полярности тренда времени пробега (от уменьшения к увеличению) оценивается глубиной порядка 1100 – 1200 км. По модели PREM, что более реально, эта граница находится в области 25 – 220 км. Выше этой границы происходит уплотнение, а ниже – разуплотнение среды в календарном времени. Возможно, в разных регионах Земли глубина этой границы различная. Геофизического объяснения обнаруженного явления пока не найдено.

Благодарности. *Авторы выражают благодарность сотрудникам Геофизической службы РАН (г. Обнинск Калужской области) О.Е. Старовойту, Е.Б. Тереховой и Л.С. Петуховой за содействие в получении сейсмограмм сейсмических станций Иультин, Сеймчан, Якутск, Бодайбо и Закаменск для настоящего исследования.*

Литература

1. Гамбурцева, Н. Г. Периодические вариации параметров сейсмических волн при просвечивании литосферы мощными взрывами / Н.Г. Гамбурцева, Е.И. Люкэ, В.Н., Николаевский, С.И. Орешин, И.П. Пасечник, В.Е. Перегонцева, Х.Д. Рубинштейн // ДАН СССР, 1982. – Т. 266, № 6. – С. 1349 – 1353.
2. Ан, В. А. Вариации параметров сейсмических волн при просвечивании Земли на расстоянии 90° / В.А. Ан, Е.И. Люкэ, И.П. Пасечник // ДАН СССР, 1985. – Т. 285, № 4. – С. 836 – 840.
3. Ан, В.А. Изменения параметров внутренних геосфер Земли на интервале 1961 – 1992 гг. / В.А. Ан, Л.Д. Годунова, П.Б. Каазик // Вестник НЯЦ РК, Курчатов: НЯЦ РК, 2007. – Выпуск 2. – С. 27 – 32.
4. Ан, В.А. Оценка линейного тренда времени пробега продольной сейсмической волны для станций Казахстана и Кыргызстана / В.А. Ан, Л.Д. Годунова, П.Б. Каазик // Вестник НЯЦ РК, 2007. – Выпуск 1. – С. 33 – 37.
5. Dziewonski, A. M. Preliminary Reference Earth Model / A.M. Dziewonski, D.L. Anderson // Phys. Earth Planet Inter., 1981. – V. 25. – P. 297 – 356.
6. Кондорская, Н.В. Сейсмические станции Единой системы сейсмических наблюдений СССР (ЕССН) на 01.01.1990 г. / Н.В. Кондорская, И.В. Фёдорова // М.: ОИФЗ РАН, 1996. – 36 с.
7. Старовойт, О.Е. Сейсмические станции Российской Академии Наук (состояние на 2001 г.) / О.Е. Старовойт, В.Н. Мишаткин // Москва – Обнинск: ГС РАН, 2001. – 88 с.
8. Springer, D.L. Seismic Source Summary for All U.S. Below-Surface Nuclear Explosions / D.L. Springer, G.A. Pawloski, J.L. Ricca, R.F. Rohrer, D.K. Smith // Bull. Seism. Soc. Am., 2002. – V. 92, No. 5. – P. 1806 – 1840.
9. United States Nuclear Tests July 1945 – September 1992 // DOE/NV-209-Rev 15, 2000. – 151 p.
10. Springer, D.L. Seismic Source Summary for U.S. Underground Nuclear Explosions, 1961 – 1970 / D.L. Springer, R.L. Kinnaman // Bull. Seism. Soc. Am., 1971. –V. 61, No. 5. – P. 1073 – 1098.
11. Springer, D.L. Seismic Source Summary for U.S. Underground Nuclear Explosions, 1971 – 1973 / D.L. Springer, R.L. Kinnaman // Bull. Seism. Soc. Am., 1975. – V. 65, No. 2. – P. 343 – 349.
12. Taylor, S.R. Three-dimentionel Crust and Upper Mantle Structure at the Nevada Test Site // J. Geophys. Res., 1983. – V. 88, No. B3. – P. 2220 – 2232.
13. Ан, В.А. Циклические изменения параметров сейсмической волны Р на трассе Невада - Боровое / В.А. Ан, Е.И. Люкэ // Физика Земли, 1992. – № 4. – С. 20 – 31.

НЕВАДА ПОЛИГОНЫ – ИУЛЬТИН, СЕЙМЧАН, БОДАЙБО, ЗАКАМЕНСК СЕЙСМИКАЛЫҚ СТАНЦИЯЛАР ТРАССАСЫНДА *P* ҚУМА ТОЛҚЫНДАР ЖҮГІРУ УАҚЫТЫНЫҢ ӨЗГЕРІСТЕРІ

Ан В.А., Годунова Л.Д., Каазик П.Б.

РҒА Геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей

1963 - 1992 ж.ж. кезеңінде АҚШ Невада полигонынан 45.8°–86.1° эпиорталықтық қашықтықтарда 331.5°±4.5° азимуталдық тұстамасында Р қума толқынның жүгіру уақытының сызықтық трендін зерттеу нәтижелері көрсетілген.

P-WAVE TRAVEL TIME VARIATIONS IN NEVADA TEST SITE – SEISMIC STATIONS IULTIN, SEYMCHAN, BODAYBO, ZAKAMENSK

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

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

Results of research of the linear trend of travel time of a longitudinal wave P during 1963 - 1992 at epicentral distances 45.8° – 86.1° in an azimuthal alignment 331.5°±4.5° from the Nevada Test Site (USA) are presented.

УДК 550.344:621.039.9

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕН ВСТУПЛЕНИЙ И АМПЛИТУД РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ФАЗ ПО ДАННЫМ БЮЛЛЕТЕНЕЙ REB И KNDC

Синёва З.И., Михайлова Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты сравнительного анализа времен вступлений региональных сейсмических фаз Pn, Pg, Sn, Lg и амплитуды сигналов по бюллетеням, составленным в Международном и Казахстанском национальном центрах данных. Анализ проведен по записям 2009 г. четырех казахстанских станций, входящих в Международную систему мониторинга. Установлено, что в большинстве случаев времена вступлений в исследованных бюллетенях совпадают. Выявлена также зависимость расхождений во временах вступлений одних и тех же фаз в разных бюллетенях от амплитуды сигнала: чем слабее сигнал, тем больше различаются времена вступлений. Обнаружены и детально проанализированы случаи значительных различий в определениях, вызванных ошибками интерпретации, допускаемыми как в одном, так и в другом центрах. Отмечены систематические различия в определении амплитуд сигналов, связанные с применением различных методик обработки и интерпретации в каждом из Центров данных.

На территории Казахстана за последние 15 лет построены и введены в эксплуатацию четыре сейсмические станции, входящие в состав Международной системы мониторинга (МСМ), создаваемой усилиями мирового сообщества в рамках деятельности Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [1, 2]. В число этих объектов входят (рисунок 1) сейсмические группы Маканчи (MKAR), Боровое (BVAR), Курчатов (KURK) и сейсмическая трехкомпонентная станция Актюбинск (АКТО), работающие под управлением Института геофизических исследований (ИГИ). Данные этих станций в режиме реального времени поступают в Казахстанский национальный центр данных в г. Алматы (далее KNDC), где обрабатываются и используются, в первую очередь, для составления сейсмических бюллетеней разной степени оперативности (автоматического, интерактивного, сводного). Данные этих станций поступают также в Международный центр данных (МЦД) в г. Вену, где используются для составления различных продуктов МЦД, в частности, обзорного бюллетеня событий REB (Reviewed Event Bulletin). Обработка данных в национальном и международном центрах данных проводится независимо, при этом используются разные методические подходы и различное программное обеспечение. В данной статье проведено сравнения результатов решения аналитиками двух Центров такой задачи как выделение вступлений региональных фаз по одним и тем же событиям для каждой из четырех сейсмических станций в Казахстане. Сравнение проведено по записям событий 2009 г. с эпицентрами на территории Центральной Азии.

На рисунке 1 показаны эпицентры исследованных событий, вошедших в оперативный интерактивный сейсмический бюллетень KNDC – всего 20 340 событий. Сопоставление проведено для времен первых вступлений региональных сейсмических фаз Pn, Pg, Lg, Sn. Проанализированы обнаруженные различия не только по времени, но и по амплитуде. Такой подход позволил выявлять наиболее значительные отклонения («высоки»), то есть случаи, когда данные бюллетеней KNDC и REB сильно расходятся.

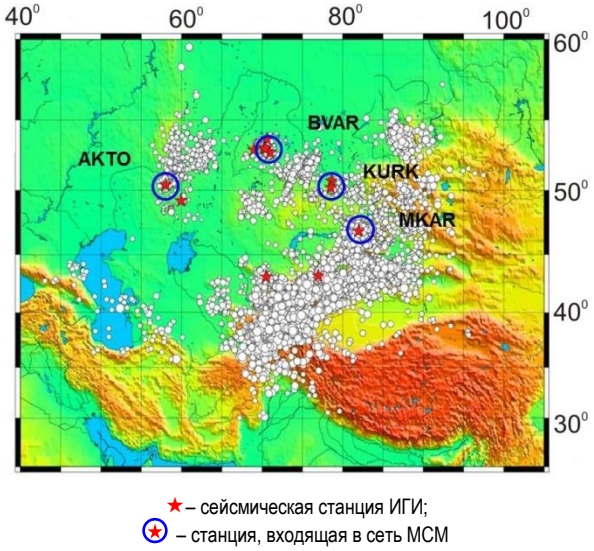


Рисунок 1. Карта эпицентров сейсмических событий из оперативного бюллетеня KNDC за 2009 г.

ПЕРВИЧНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ГРУППА PS23-МАКАНЧИ (MKAR)

Станция MKAR входит в число 50 станций самого высокого уровня, составляющих первичную сеть станций системы мониторинга. Она расположена в Восточном Казахстане, в регионе с достаточно высоким уровнем сейсмической активности. В сейсмический бюллетень KNDC за 2009 г. включено 6 683 вступления волны Pn по данным станции MKAR. В бюллетене REB МЦД за 2009 г. содержится 970 вступлений волны Pn по данным станции MKAR. В оба бюллетеня включены 499 вступлений, по ко-

торым рассчитаны значения δT, с = T(REB) – T(KNDC) и построены зависимости от эпицентрального расстояния и зависимости от амплитуды этой фазы. (рисунок 2).

Как видно из рисунка 2, в обоих центрах вступление волны Pn на сейсмограммах выделены достаточно уверенно, время вступления в большинстве случаев совпадает. Значение δT в большинстве случаев <1с. Однако разброс значений δT существенно увеличивается с ростом эпицентральных расстояний. Следует отметить, что наблюдается тенденция более позднего снятия времен вступлений Pn в KNDC по сравнению с МЦД: видно, что гораздо больше точек характеризуется отрицательными значениями δT, с=T(REB) – T(KNDC). При этом четко видно, что разница более существенна для слабых вступлений волны Pn, для которых амплитуда имеет значение меньше 1 нанометра. Этот вывод представляется естественным, поскольку слабые сигналы существенно сложнее выделить на фоне шумов. Разница времен вступлений может достигать 8 с. Возможно, имеет место также неверная интерпретация сейсмических фаз.

Отдельно рассмотрен случай аномально большой положительной разницы δT, превышающей 9 с. Это событие произошло 15 апреля 2009 г. Волновые формы этого события представлены на рисунке 3. В бюллетене KNDC вступление было отмечено раньше, чем в REB.

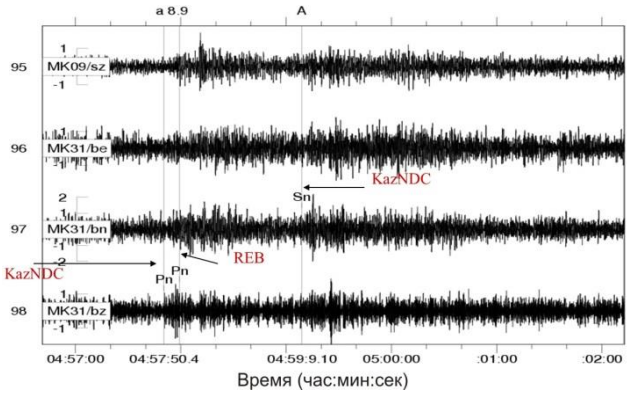


Рисунок 3. Станция PS23-Маканчи (MKAR). Волновые формы события 15 апреля 2009 г. в 04:56:10, mb 3.3, Ml 3.0

Полученная разница во временах вступлений приводит к значительному смещению эпицентра события: 33,35° с. ш., 81,84° в. д. по REB в сравнении с 40,06° с. ш., 82,04° в. д. по KNDC.

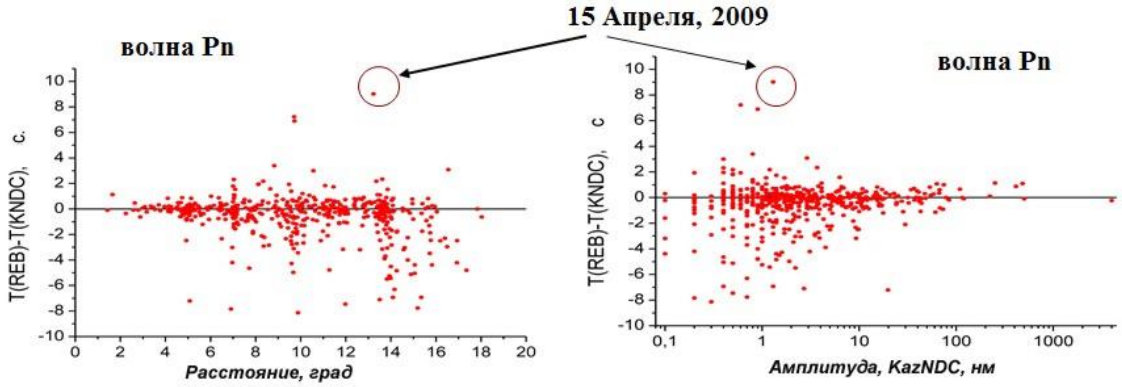


Рисунок 2. Станция PS23-Маканчи (MKAR). Разница времен вступлений волны Pn в зависимости от эпицентрального расстояния (слева) и амплитуды вступления (справа)

Таблица 1. Станция PS23-Маканчи (MKAR). Решение REB. Времена вступлений по данным KNDC (MK31) приводят к большим невязкам T_{res}

Дата		Время		Широта		Долгота	
2009/04/15		04:54:49.00		33.3531		81.8380	
Sta	**Dist**	**EvAz**	**Phase**	**Time**	**TRes**	**Azim**	**AzRes**
MK31	13.44	1.3	Pn	04:57:50.371	-10.4	181.0	-0.6
MK31	13.44	1.3	Sn	04:59:08.955	-83.1	181.9	0.2
MKAR	13.44	1.3	Pn	04:57:59.389	-1.4	187.8	6.2
ZALV	20.70	5.0	P	04:59:29.914	-0.6	186.0	-1.1
CMAR	21.35	129.9	P	04:59:37.483	-0.1	310.6	-6.8
SONM	23.44	44.7	P	04:59:58.434	-1.8	230.9	-10.0
TORD	74.67	275.8	P	05:06:33.650	2.4	33.2	-25.5
ASAR	75.54	131.6	P	05:06:35.330	1.0	304.1	-12.9
YKA	83.24	7.6	P	05:07:16.759	-1.9	336.5	-9.7

Таблица 2. Станция PS23-Маканчи (MKAR). Решение KNDC. Видны большие невязки по другим станциям МСМ

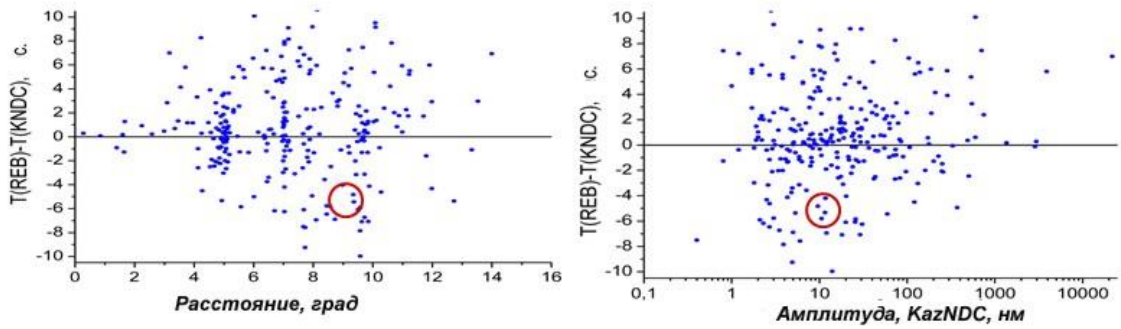
Дата		Время		Широта		Долгота	
2009/04/15		04:56:10.30		40.0629		82.0391	
Sta	**Dist**	**EvAz**	**Phase**	**Time**	**TRes**	**Azim**	**AzRes**
MK31	6.73	1.5	Pn	04:57:50.371	-0.0	181.0	-0.6
MK31	6.73	1.5	Sn	04:59:08.955	-0.0	181.9	0.2
MKAR	6.73	1.5	Pn	04:57:59.389	9.0	187.8	6.2
ZALV	14.01	6.8	P	04:59:29.914	-0.1	186.0	-2.8
SONM	19.08	58.0	P	04:59:58.434	-36.5	230.9	-24,1
CMAR	26.05	141.0	P	04:59:37.483	-127.5	310.6	-18,8
TORD	74.25	274.1	P	05:06:33.650	-76.3	33.2	-18,6
YKA	76.57	7.8	P	05:07:16.759	-47.3	336.5	-10,5
ASAR	79.95	132.9	P	05:06:35.330	-104.7	304.1	-18.1

```
EVENT  5322790 XIZANG
   Date       Time        Err   RMS Latitude Longitude  Smaj  Smin  Az Depth   Err
2009/04/15 04:54:48.79   1.49  5.01  33.1311   82.1935  59.3  36.6  58   0.0f

Magnitude  Err Nsta Author      OrigID
ML     3.1        1 IDCSEL3    5322790
mb     3.7 0.9    4 IDCSEL3    5322790

Sta     Dist  EvAz Phase       Time      TRes  Azim AzRes   Slow   SRes Def   SNR
MKAR   13.65   0.3 Pn       04:58:10.750   7.6 191.4  11.1   11.7   -2.0 TAS   4.2
CMAR   20.96 130.1 P        04:59:38.100   4.7 310.6  -1.1   10.4   -1.8 TAS   7.5
CMAR   20.96 130.1 tx       04:59:45.150       296.0 -18.5   11.5          ___   5.1
TORD   75.06 276.1 P        05:06:36.750   3.9  33.2 -25.7    4.4   -1.4 TAS   5.7
YKA    83.78   7.8 P        05:07:18.945  -0.5 336.5  -7.4    5.5    0.4 TAS   6.1
ULM    96.97 358.8 P        05:08:16.500  -5.5 327.0 -34.6    4.8    0.3 TAS   3.6
VNDA  119.88 165.7 PKP      05:13:34.625  -5.1 288.9   1.1    5.0    3.1 TAS   7.3
```

Рисунок 4. Автоматическое решение SEL3, полученное в МЦД для события 15 апреля 2009 г., зарегистрированное станцией PS23-Маканчи (MKAR)



Красным кружком выделены события 22 июля 2009 г.

Рисунок 5. Станция PS23-Маканчи (MKAR). Разница времен вступлений волны Lg в зависимости от эпицентрального расстояния (слева) и амплитуды вступления (справа)

Значения времен вступлений, определенных в KNDC, как показывают таблицы 1 и 2, хуже удовлетворяют всем остальным станциям, зарегистрировавшим это событие. Как видно, значение T_{Res} резко увеличивается по сравнению с решением REB. О правильности решения REB свидетельствует и автоматическое решение SEL3 (рисунок 4) с координатами эпицентра, близкими к REB. Следует обратить внимание, что обсуждается довольно слабое землетрясение с магнитудой ML=3,1, mb=3,7.

На рисунке 5 представлены результаты сравнения времен вступлений по двум бюллетеням для сейсмической фазы Lg. Приведены графики зависимости δT, с = T(REB) – T(KNDC) от эпицентрального расстояния и амплитуды сигнала. Обращает на себя внимание гораздо больший разброс времен вступлений фаз Lg по сравнению с Pn. Причем нет какой-либо системы в выделении этой фазы – встречаются как более поздние вступления по KNDC, так и более ранние. Разница может достигать ± 10 секунд. Нет четкой связи δT с амплитудой сигнала, хотя можно видеть, что для наиболее сильных сигна-

лов в REB отмечаются вступления, выделенные позже, чем в KNDC. На рисунке 6 приведены волновые формы события 22 июня 2009 г. Показаны записи после применения фильтра 1-3 Гц. Видно, что в KNDC вступление Lg ошибочно выделено позже, чем это было необходимо.

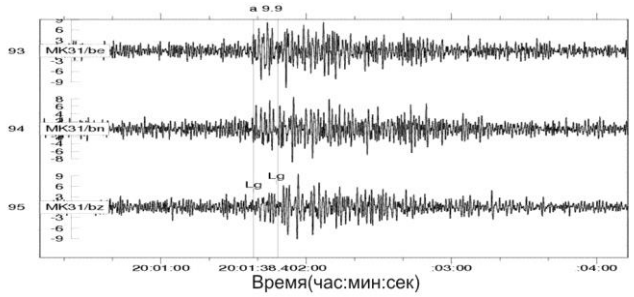
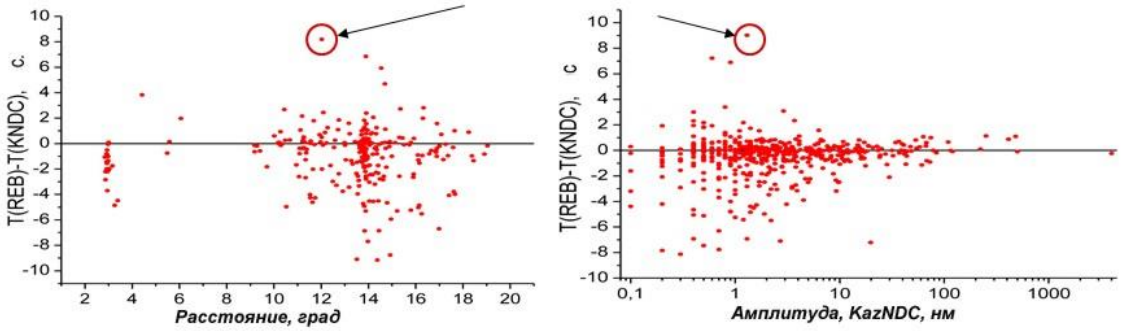


Рисунок 6. Станция PS23-Маканчи (MKAR). Волновые формы события 22 июля 2009 г. Вступление волны Lg по данным KNDC ошибочно выделено позже

ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ГРУППА AS057-БОРОВОЕ (BVAR)

Сейсмическая группа AS057-Боровое (BVAR) расположена в сейсмически тихом районе. Большинство сейсмических событий, регистрируемых ею на близких расстояниях, являются карьерными взрывами. Все региональные события естественной природы фиксируются на эпицентральных расстояниях более 10°. В бюллетень REB за 2009 г. включены 402 вступления волны Pn, в бюллетене KNDC – 1510 вступлений этой волны. Общими для бюллетеней REB и KNDC являются 262 вступления Pn. На рисунке 7 представлены графики зависимости δT,c=T(REB) – T(KNDC) от эпицентрального расстояния и амплитуды сигналов для этой выборки вступлений.

Отлично видна зависимость сходимости оценок, полученных в обоих центрах от интенсивности сигналов. При амплитуде в фазе Pn более 10 нм



Красным кружком выделены события 24 сентября 2009 г.

Рисунок 7. Станция AS057-Боровое (BVAR). Разница времен вступлений волны Pn в зависимости от эпицентрального расстояния (слева) и амплитуды вступления (справа)

практически все определения совпадают, различия в этом случае составляют не более, чем 1 - 1,5 с. Отдельно рассмотрен сильный отскок (на 9 секунд) для события 24 сентября 2009 г. В бюллетене REB за 24 сентября имеются два события: первое с координатами 41,85° с. ш. и 77,49° в. д., второе через 8 секунд с практически с теми же координатами: широта 41,97° с. ш., долгота 77,35° в. д. Магнитуда первого события mb = 4,4, второго mb = 4,5 (рисунок 8).

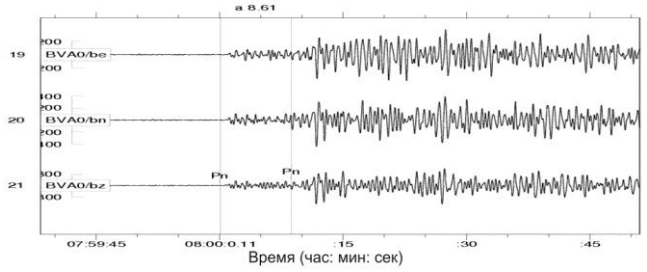


Рисунок 8. Станция AS057-Боровое (BVAR). Времена вступления волн Pn от двух событий 24 сентября 2009 г. по данным REB

Факт существования двух событий был проверен по записям станции KNDC, расположенной гораздо ближе к их эпицентру (250 км), чем станция AS057-Боровое. На рисунке 9, где приведена сейсмограмма событий 24 сентября 2009 г., красной линией показано время вступления сигнала от предполагаемого второго события согласно бюллетеню REB.

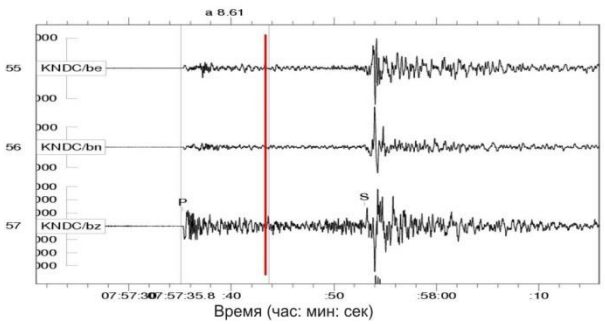


Рисунок 9. Станция KNDC Запись события 24 сентября 2009 г.

Четко видно, что волновая картина соответствует только одному событию, второе событие отсутствовало. Выявлена ошибка бюллетеня REB, связанная с несколькими вступлениями различных фаз продольной волны от одного и того же события на записях станции AS057-Боровое. Ситуация, когда регистрируются несколько фаз волн P, является довольно типичной для событий из этого региона. Например, на рисунке 10 приведены записи события, произошедшего 22 мая 2011 г. с координатами 42,06° с. ш., 82,19° в. д., mb=5, которые выглядят сходно с записями события от 24 сентября 2009 г.

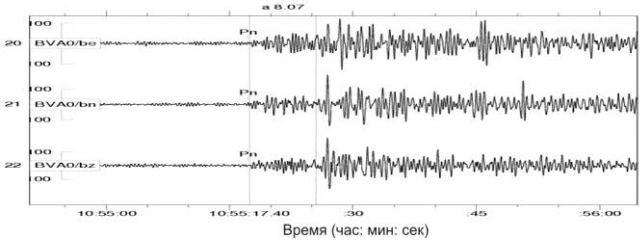


Рисунок 10. Станция AS057-Боровое (BVAR). Записи события 22 мая 2011 г.

Вспомогательная сейсмическая группа AS058- Курчатов (KURK)

Сейсмическая группа AS058-Курчатов (KURK) имеет конфигурацию, отличную от предыдущих групп. 21 элемент группы расположен по двум взаимно перпендекулярным профилям («Крест») в слабоактивном сейсмическом регионе. На момент исследования удалось набрать только пять событий, включенный в бюллетени REB и KNDC. На рисунке 11 приведен график зависимости разницы времен вступлений волны Pg от эпицентрального расстояния.

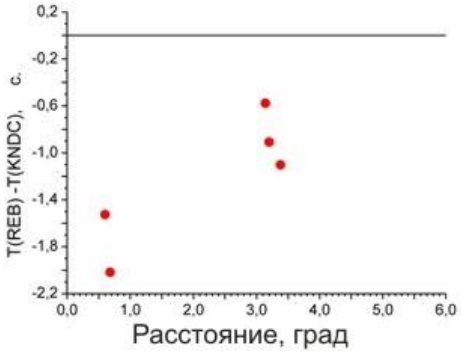


Рисунок 11. Станция AS058-Курчатов (KURK). Зависимость различия во временах вступлений волны Pg от эпицентрального расстояния

Из рисунка 11 следует, что по абсолютным значениям времен вступлений различия небольшие (до 2 сек), но практически во всех случаях они отрицательны, т. е. в бюллетене REB вступления волны Pg произошли раньше, чем по бюллетеню KNDC.

Вспомогательная трехкомпонентная сейсмическая станция AS059-Актюбинск (AKTO)

Станция AS059-Актюбинск (AKTO) расположена на западе Казахстана в сейсмически спокойном районе. Основная масса региональных событий происходит на расстояниях более 10°. За 2009 г. в бюллетене REB по станции AKTO содержится 352, в бюллетене KNDC – 935 вступлений волны Pn. 270 фаз из них являются общими для двух бюллетеней. На рисунке 12 для этой выборки приведены графики зависимости δT, с = T(REB) – T(KNDC) от эпицентрального расстояния и амплитуды вступления Pn.

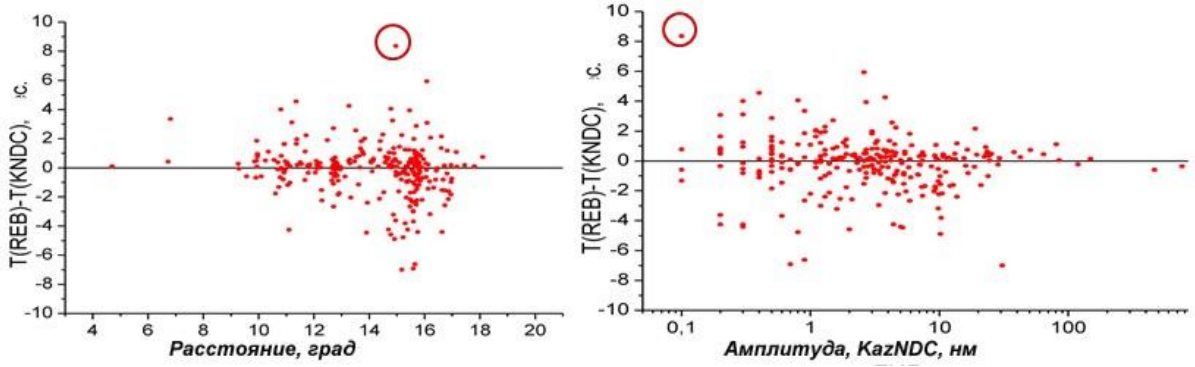


Рисунок 12. Станция AS059-Актюбинск (AKTO). Разница времен вступлений волны Pn в зависимости от эпицентрального расстояния (слева) и амплитуды вступлений (справа)

Можно отметить увеличение разброса разницы времен вступлений между двумя бюллетенями с ростом эпицентральных расстояний, а также уменьшения разброса с ростом амплитуды сигнала. Отдельно проанализирован сильный выскок (>8 сек), позволивший найти ошибку в обработке KNDC. Это событие 23 марта 2009 г. На волновых формах (рисунок 13) видно, что в KNDC время вступления Pn определено как более раннее, чем истинное на 8,3 сек.

Подобный анализ проведен и для волн Sn. Полученные графики зависимости представлены на рисунке 14.

Для волны Sn сохраняется та же тенденция, что и для волны Pn – разброс разницы времен увеличивается с ростом эпицентрального расстояния и уменьшения амплитуды сигнала. Отдельные выскоки проанализированы дополнительно.

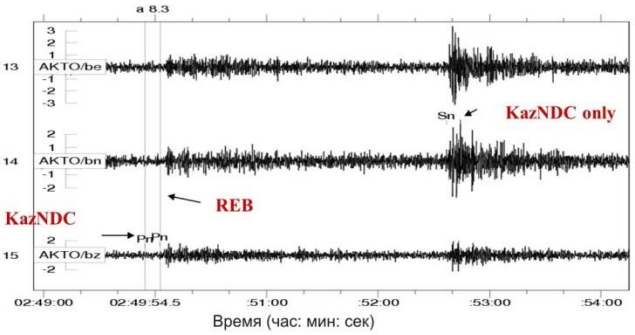


Рисунок 13. Станция AS059-Актюбинск (AKTO). Волновые формы события 23 марта 2009 г.

Кроме времен вступлений проведено сравнение амплитуды колебаний для различных фаз, включенных в сейсмические бюллетени. Эти значения важны, поскольку используются для оценки магнитуд и энергетических классов событий. Результаты сравнения, проведенного для сейсмической группы PS23-Маканчи и сейсмической станции AS059-Актюбинск, представлены на рисунках 15, 16, по разным типам региональных сейсмических волн – Pn, Sn, Lg.

По волне Pn (рисунок 15), как для станции PS23-Маканчи, так и для станции AS059-Актюбинск, значения амплитуд, определенные в KNDC, систематически больше, чем в REB. Это объясняется различной методикой, используемой в разных центрах при определении амплитуд. Так, в KNDC, чтобы оценить значения амплитуд, которые затем будут использоваться для определения региональной магнитуды mpv и K, эмулируется канал, соответствующий приборам СКМ с фильтром 0,6 – 1,9 Гц. Для REB при вычислении магнитуды ml используется фильтр 2 – 4 Гц. Возможно, это лишь один из факторов, приводящий к завышению амплитуды в KNDC. Аналогичная ситуация прослеживается и для других типов сейсмических фаз Lg и Sn (рисунок 16).

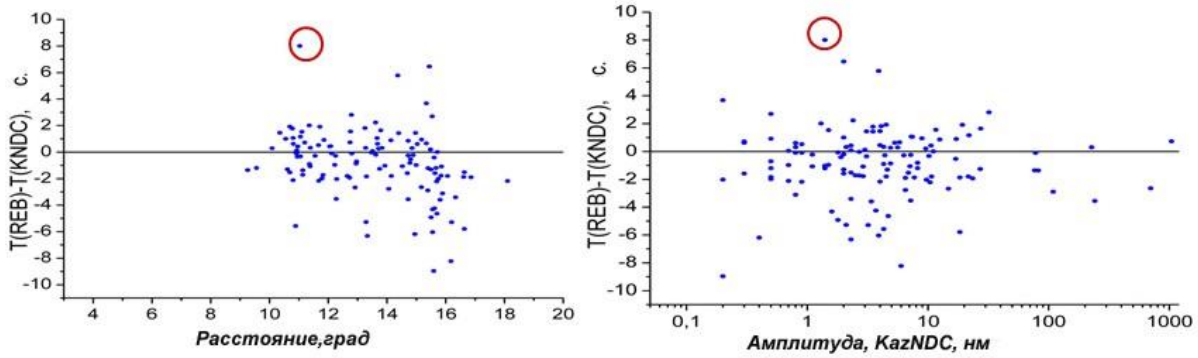
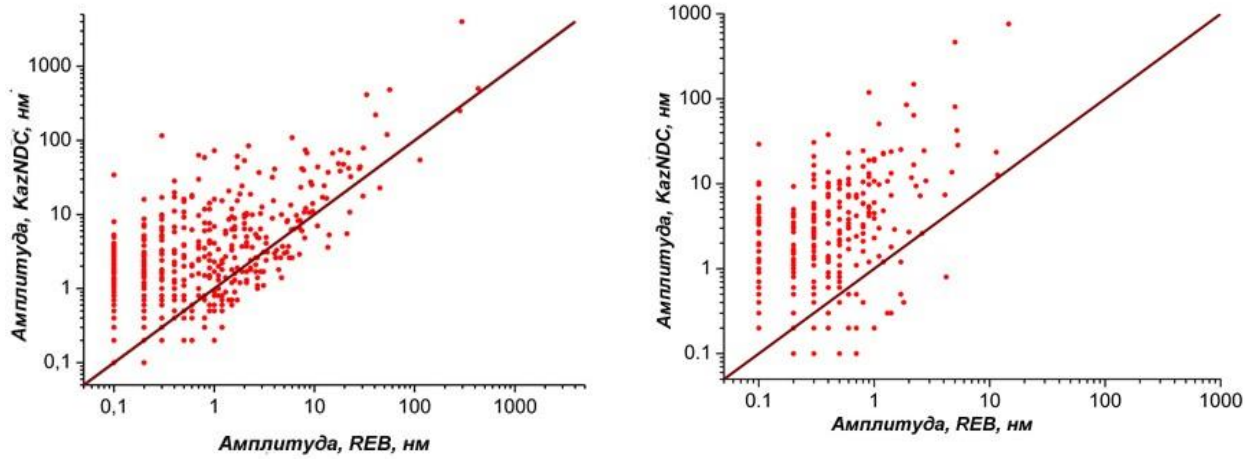
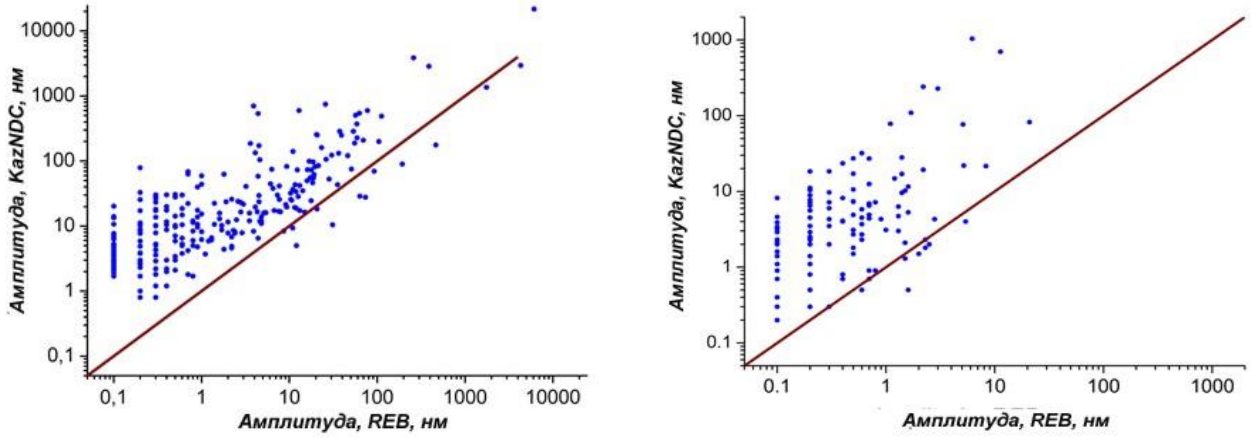


Рисунок 14. Станция AS059-Актюбинск (AKTO). Разница времен вступлений волны Sn в зависимости от эпицентрального расстояния (слева) и амплитуды вступления (справа)



а – PS23-Маканчи (MKAR) б – AS059-Актюбинск (AKTO)

Рисунок 15. Станции PS23-Маканчи и AS059-Актюбинск. Соотношение значений амплитуды волны Pn по данным REB и KNDC



а – PS23-Маканчи б – AS059-Актюбинск

Рисунок 16. Станции PS23-Маканчи и AS059-Актюбинск. Соотношение значений амплитуд колебаний в волнах Lg и Pn по данным REB и KNDC

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведение анализа бюллетеней различных центров данных по одинаковым событиям представляется весьма полезным. Сопоставление данных о событиях района Центральной Азии по бюллетеням национального и международного центров данных для четырех казахстанских сейсмических станций, входящих в Международную систему мониторинга ОДВЗЯИ, позволило обнаружить отдельные ошибки в выделениях фаз как в одном, так и в другом источниках.

2. Установлено, что, как правило, времена вступлений сейсмических фаз в разных бюллетенях совпадают. Однако отмечено, что расхождения в значениях времен вступлений тем больше, чем слабее сигналы. Аналитики KNDC определяют вступления систематически с запаздыванием относительно МЦД.

3. Обнаружена зависящая от расстояния разница во времени обнаружения волн Pg по станции AS058-Курчатов между двумя бюллетенями.

4. Измеренные значения амплитуд региональных сейсмических фаз в KNDC систематически выше аналогических амплитуд, определяемых в МЦД в связи с различием применяемых методик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляшова, Н.Н. Вместе с организацией Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний в поддержку безъядерного мира: 12 лет сотрудничества / Н.Н. Беляшова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК, 2008. – Вып. 2. – С. 5-15.
2. Джунек, В.Выбор площадок и установка сейсмических групп в Казахстане для мониторинга соблюдения ДВЗЯИ / В. Джунек, Д. Клаутер, Ф. Венанзи [и др.] // Вестник НЯЦ РК, 2009. – Вып. 3. –С. 22 – 29.

REB ЖӘНЕ KNDC БЮЛЛЕТЕНЬДЕРДІҢ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША АЙМАҚТЫҚ СЕЙСМИКАЛЫҚ ФАЗАЛАРДЫҢ ТҮСУ УАҚЫТЫ МЕН АМПЛИТУДАЛАРЫН САЛЫСТЫРМА ТАЛДАУ

Синёва З.И., Михайлова Н.Н.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан

Халықаралық және Қазақстандық ұлттық деректер орталықтарында құрастырылған бюллетеньдері бойынша сигналдардың Pn, Pg, Sn, Lg аймақтық сейсмикалық фазалары түсу уақыты мен амплитудаларын салыстырма талдаудың нәтижелері келтірілген. Талдауы, Халықаралық мониторингі жүйесіне кіретін төрт қазақстандық станциялардың 2009 жылғы жазбалары бойынша жүргізілген. Зерттелген бюллетеньдерде түсу уақыты көбінесе жағдайда беттесетіні анықталған. Сонымен қатар әр түрлі бюллетеньдерде бірдей фазалардың түсу уақытында айырмашылықтары сигналдың амплитудасына байланыстығы айқындалған: сигнал неғұрлым әлсіз болуында түсу уақытында айрмашылығы соғұрлым жоғары. Анықтауда едәуір айырмашылықтары болғандықтары табылып түбегейлі талқыланған, олар Орталықтарда пайымдауында жіберілетін қателіктер нәтижесінде пайда болған. Орталықтардың әрқайсысында өңдеу мен пайымдаудың әр түрлі әдістемелерін пайдалануына байланысты сигналдардың амплитудасын анықтауда жүйелі түріндегі айырмашылықтар болу туралы айтылған.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PICKED UP ARRIVAL TIMES AND AMPLITUDES OF REGIONAL SEISMIC PHASES BASED ON REB AND KNDC BULLETINS

Z.I. Sinyeva, N.N. Mikhailova

RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Results of the comparative analysis of arrival times of regional seismic phases Pn, Pg, Sn, Lg and signal amplitudes according to the bulletins produced in International and Kazakhstan Data Centers are given. The analysis was carried out on records for 2009 from four Kazakhstan stations which are the part of the International Monitoring System. It was defined that in most cases arrival times in both bulletins coincide. Relation of discrepancies in arrival times for the same phases to signal amplitude was also revealed in different bulletins: the lower signal, the bigger discrepancy in arrival times. Are revealed and analyzed in details the cases of remarkable distinctions in defining parameters caused by errors in interpretation, made in both data centers. What was also noted is systematic difference in determination of signal amplitudes because of different techniques applied in data processing and interpretation in each of the Data Centers.

УДК 550.348(511.66)

МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ КАК КРИТЕРИЙ РАСПОЗНАВАНИЯ ВЗРЫВОВ

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

На примерах зарегистрированных промышленных, калибровочных и ядерных взрывов, произведенных на территории Казахстана, выполнена оценка возможности использования механизмов очагов для распознавания природы сейсмического события. Установлено, что критерий распознавания по первым вступлениям Р-волн и механизмам очагов не является универсальным.

Введение

В Приложении 2 Протокола к Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [1] приведен Перечень параметров характеризации для стандартной фильтрации явлений. В состав рекомендуемых параметров входят первое движение Р-волны и механизм очага. В основе использования этих параметров для распознавания природы сейсмических событий лежит известный характер распределения волн сжатия и растяжения от источников разной природы. При землетрясениях в подавляющем большинстве случаев волны сжатия и растяжения имеют квадрантное распределение, силовым источником которых является двойная пара сил. Простое обрушение пород является источником волн растяжения, в этом случае во всех азимутах от источника в первых вступлениях на сейсмограммах регистрируются отрицательные смещения. Взрыв – это источник всестороннего расширения – во всех направлениях от эпицентра в первых вступлениях продольных волн должны наблюдаться положительные смещения. Однако практика показала, что не всегда можно распознать взрыв по этим критериям. В ряде случаев на сейсмограммах одного и того же взрыва, полученных в разных азимутах от эпицентра, в первых движениях наблюдаются как положительные, так и отрицательные смещения. Для некоторых из этих взрывов были определены фокальные механизмы по стандартной методике, в которой силовым источником является двойной диполь.

Цель статьи – выявить взрывы разного типа: ядерные, калибровочные, промышленные, – представляющие собой исключения от ожидаемых первых движений в продольных волнах и механизмов очага.

Ядерные взрывы

В Каталоге фокальных механизмов землетрясений А.О. Мострюкова, В.А. Петрова [2] содержатся сведения о фокальных механизмах 19 ядерных взрывов, произведенных на полигонах Прикаспийской впадины за период 1968 - 1983 гг. Фокальные механизмы для взрывов были получены с использованием стандартной методики, основанной на квадрантном распределении волн сжатия и растяжения при подавляющем числе землетрясений. Силовой моделью очага, используемой в этой методике, является двойной диполь. На рисунке 1 приведена карта эпицентров изученных ядерных взрывов, а также показаны стереограммы решений фокальных механизмов.

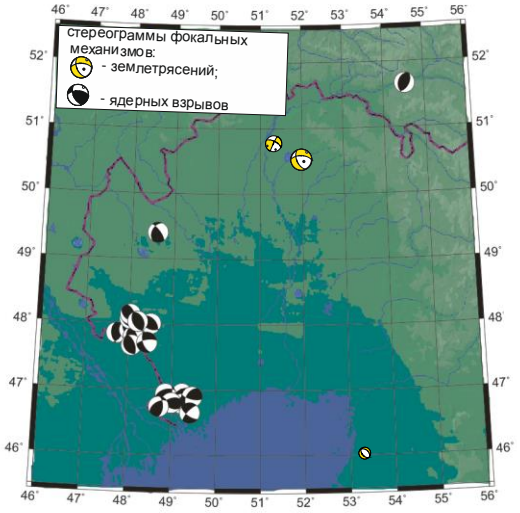


Рисунок 1. Эпицентры ядерных взрывов и землетрясений, для которых получены решения фокальных механизмов, и их стереограммы

Анализ фокальных механизмов, полученных для взрывов, показал, что во всех случаях механизмы очагов представляют собой взбросы или взбросо-сдвиги по плоскостям субширотного либо северо-западного простирания, падающим под углом 45^0. Такой характер подвижек в очагах реализуется в условиях системы напряжений близгоризонтального сжатия и близвертикального растяжения и не может происходить под действием всестороннего расширения, возникающего при взрывах. То есть, полученные фокальные механизмы противоречат ожидаемым механизмам взрывов.

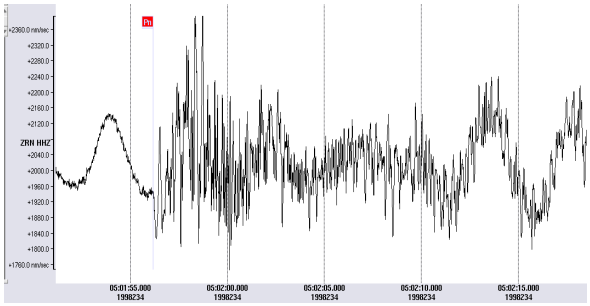
Проведено сравнение параметров фокальных механизмов, полученных для ядерных взрывов, с фокальными механизмами землетрясений в изучаемом регионе Прикаспия. Поскольку данный регион является слабосейсмичным, имеются решения фокальных механизмов только для трех наиболее сильных землетрясений. Два из них связаны с солянокупольной тектоникой [3], одно техногенное, связанное с добычей углеводородов на Тенгизском месторождении. Однако, несмотря на разную природу происхо-

ждения этих событий, все три решения фокальных механизмов подобны между собой. Тип подвижек в их очагах представлен либо сбросом, либо сбросо-сдвигом, которые реализуются в условиях близгоризонтального растяжения. Из результатов сопоставления следует, что и характер подвижек, и ориентация главных осей напряжений в очагах землетрясений Прикаспия радикально отличаются от аналогичных параметров, полученных для ядерных взрывов.

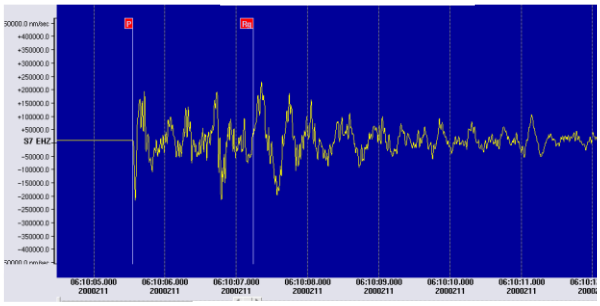
КАЛИБРОВОЧНЫЕ ВЗРЫВЫ

В 1998 - 2000 гг. на площадке Дегелен Семипалатинского испытательного полигона (СИП) были проведены калибровочные эксперименты серии «Омега» - три взрыва с массой заряда во всех случаях по 100 тонн. Эксперименты Омега-2 и Омега-3 проводились в одной и той же штольне. Взрывы были зарегистрированы стационарной и временными сетями сейсмических станций на расстояниях от 0 до 1000 км. Взрыв «Омега-1» был зарегистрирован 43 станциями, «Омега-2» – 29 станциями, «Омега-3» – 20 станциями [4]. Анализ сейсмограмм, записанных станциями, расположенными в разных азимутах от эпицентров взрывов, показал, что в первых вступлениях Р-волн во всех 3-х случаях наблюдались как волны сжатия (+), так и растяжения (-), хотя теоретически для взрывов должны регистрироваться значения знаков (+) во всех азимутах. Пример сейсмограмм, на которых в первых вступлениях четко виден знак (-) показан на рисунке 2.

Распределение положительных и отрицательных знаков первых вступлений Р-волн при всех трех взрывах было близким к квадрантному, что позволило построить механизмы очагов по стандартной методике. От взрывов Омега-2 и Омега-3, проведенных, как было указано, в одной и той же штольне, получены одинаковые знаки первого вступления на сейсмограммах зарегистрированных одними и теми же станциями. Поэтому при построении фокального механизма был применен метод группирования. На рисунке 3 показаны результаты определения фокального механизма взрыва Омега-1 и обобщенного фокального механизма для взрывов Омега-2 и Омега-3.

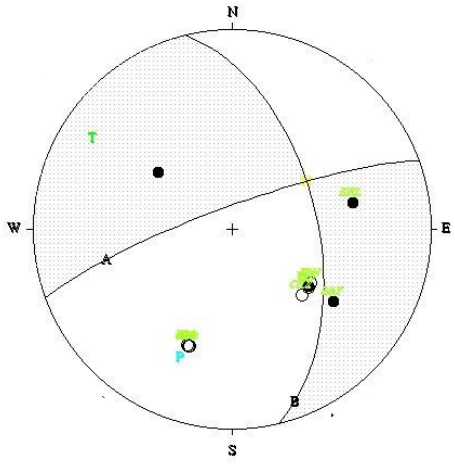


а – станция Зеренда (ZRN)

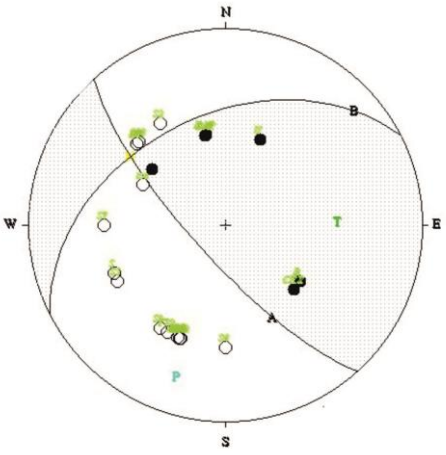


б – временная станция S7

Рисунок 2. Запись первого вступления Р-волны взрыва Омега-1



а – Омега-1

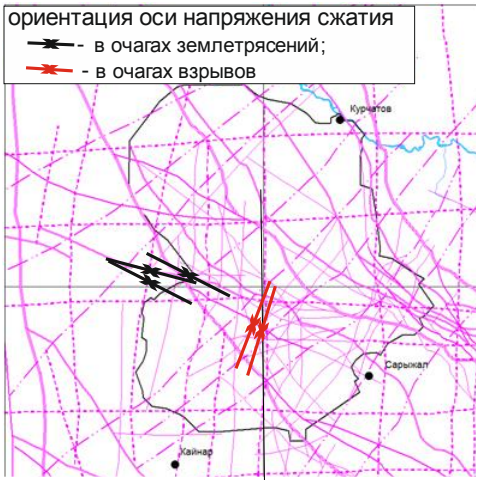


б – Омега-2 и Омега-3

Рисунок 3. Стереограммы фокальных механизмов взрывов



а – стереограммы фокальных механизмов



б – ориентация оси напряжения сжатия

Рисунок 4. Схема разломов СИП с результатами определения фокальных механизмов и осей напряжения сжатия

Параметры фокальных механизмов этих взрывов: ориентация нодальных плоскостей и осей главных напряжений оказались подобными между собой, различия в значениях азимутов простирания и углов погружения не превышали точности построения. Характер фокальных механизмов представлен комбинацией крутых сдвигов северо-западного и северо-восточного простирания с незначительными компонентами по падению плоскостей. Такой характер подвижек, как видно из рисунка 4-а, хорошо согласуется с дислокациями в очагах землетрясений, происходящих в этом регионе, а также соответствует простиранию и кинематике главной системы разломов в регионе.

Что касается главных напряжений, снимаемых в очагах землетрясений, то их ориентация контрастно отличается от полученной для очагов взрывов (рисунок 4-б). Можно предположить, что воздействие взрывов, произведенных в штольнях в теле разлома, вызвало локальное перераспределение напряжений, которые, в свою очередь, вызвали сдвиговые подвижки по плоскости разлома в соответствии с его простиранием и кинематикой. Объемные волны, вызванные этими сдвиговыми подвижками, видимо, и были зарегистрированы в первых вступлениях на некоторых наблюдательных станциях.

Таким образом, проведенные эксперименты ясно свидетельствуют, что при взрывах, произведенных в зонах разломов, вполне вероятно возникновение в очагах сдвиговых подвижек, ориентация и кинематика которых согласуется с разрывной тектоникой региона.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЫ

В Центре данных ИГИ постоянно проводится работа по идентификации карьерных взрывов и тектонических землетрясений. Ежегодно сетью сейсмических станций, находящихся под оперативным управлением ИГИ, на территории Казахстана регистрируется порядка 5000 взрывов (рисунок 5).

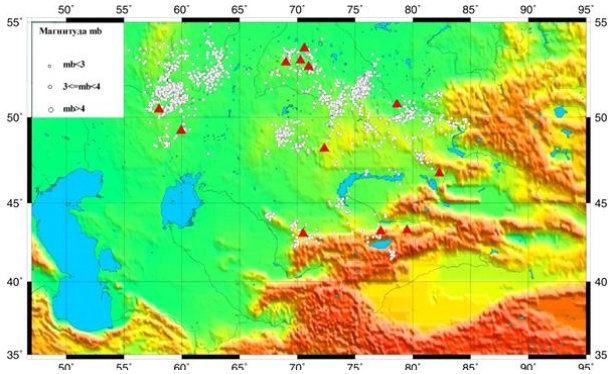


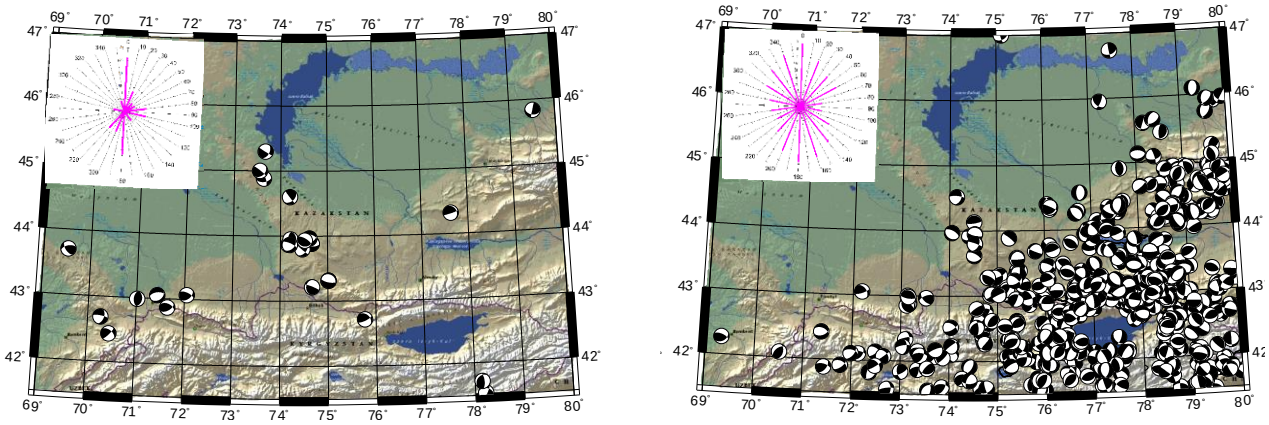
Рисунок 5. Эпицентры взрывов, произведенных на территории Казахстана с 1 июля по 31 декабря 2010 г. (общее количество 2651)

Как правило, на сейсмограммах в первых вступлениях Р-волн во всех азимутах от эпицентров взрывов регистрируются знаки (+), что соответствует теоретически ожидаемым во всех направлениях волнам сжатия. Однако, и в этой категории взрывов отмечены случаи, когда в разных азимутах от эпицентров в первых вступлениях Р-волн наблюдались как волны сжатия (+), так и растяжения (-). Количество таких “аномальных взрывов” невелико и составляет порядка 0,2% от количества всех взрывов, регистрируемых за год. Так, например, за период 2008 - 2010 гг. зарегистрировано всего 25 “аномальных взрывов” в энергетическом диапазоне К=6.4-8.0, их эпицентры расположены в карьерах Чу-Илийских гор, Каратау, Джунгарии.

Распределение знаков первых вступлений продольных волн позволило построить фокальные механизмы “аномальных взрывов” по стандартной методике, причем, наилучшее решение механизмов очагов соответствовало глубинам источников (идентичных действию двойного диполя) в пределах 0 - 10 км. На рисунке 6-а приведены стереограммы фокальных механизмов карьерных взрывов на карте

эпицентров, а на рисунке 6-б – стереограммы фокальных механизмов землетрясений в соответствующих структурах. Сопоставление фокальных механизмов “аномальных взрывов” и землетрясений свидетельствует, что и те, и другие представляют собой либо взбросо-сдвиги, либо сбросо-сдвиги по плоскостям северо-западного, или северо-восточного простирания. Такое простирание нодальных плоскостей в очагах соответствует ориентации главных систем разломов: каратауссской и северо-тянь-шаньской.

Ориентация оси напряжения сжатия по данным фокальных механизмов в очагах “аномальных взрывов” (рисунок 6-а), как и землетрясений с К=6-7 (рисунок 6-б), неустойчива, тем не менее, в обоих случаях превалирует направление напряжения сжатия, близкое к меридиональному.



а – промышленные взрывы

б – землетрясения

Рисунок 6. Стереограммы и ориентация осей напряжений сжатия промышленных взрывов и землетрясений на территории Казахстана

Таким образом, характер подвижек, полученный для “аномальных взрывов”, может быть четко соотнесен с геологической структурой и напряженным состоянием соответствующих регионов. Вероятно, особое значение для появления таких аномальных случаев имеет напряженное состояние геологических структур, в которых производятся промышленные взрывы.

Заключение

В разных классах взрывов (ядерных и химических) на территории Казахстана обнаружено отклонение от ожидаемого распределения знаков первых вступлений сейсмических волн. На записях отдельных станций четко регистрируются волны растяжения.

Для разных типов взрывов удается построить фокальные механизмы по стандартной методике.

Для взрывов, произведенных в зонах тектонических разломов, тип механизма очага взрыва часто согласуется с аналогичным механизмом землетрясений из той же зоны.

Проведенными исследованиями показано, что критерий распознавания землетрясений и взрывов по первым вступлениям Р-волн и механизмам очага не является универсальным. Этот вывод следует учитывать в практике работ по распознаванию природы сейсмических источников и при составлении сейсмических бюллетеней.

Литература

1. Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty: CTBTO Preparatory Commission. – Vienna, Austria: 2010. – 120 p.
2. Мостриков, А.О. Каталог фокальных механизмов /А.О. Мостриков, В.А. Петров. – Москва. - 1994.
3. Михайлова, Н.Н. К вопросу о природе Шалкарского землетрясения, произошедшего в Западном Казахстане 26 апреля 2008./ Н.Н. Михайлова, А.Е. Великанов // Вестник НЯЦ РК, 2009. - Вып. 3. - С. 127 - 133.
4. Михайлова, Н.Н. Сравнение калибровочных взрывов Омега-2 и Омега-3 по сейсмическим данным на региональных расстояниях / Н.Н Михайлова, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2002. – вып.2. – С.36 – 45.

ОШАҚТАРДЫҢ МЕХАНИЗМДЕРІ ЖАРЫЛЫСТАРДЫ ТАНУ КРИТЕРИЙІ РЕТІНДЕ

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

Геофизхикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Қазақстан аумағында жүргізілген және тіркелген өнеркәсіптік, калибрлік және ядролық жарылыстардың үлгісінде сейсмикалық оқиғаның тегін тану үшін ошақтардың механизмдерін пайдалану мүмкіншіліктерін бағалауы жүргізілген. Р-толқындардың бірінші түсулері мен ошақтардың механизмдері бойынша тану критерийі әмбебап болып табылмайтыны анықталған.

FOCAL MECHANISMS AS DISCRIMINATING CRITERION

N.N. Mikhailova, N.N. Poleshko

RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Records of industrial, calibration and nuclear explosions conducted in Kazakhstan were used to estimate applicability of focal mechanisms to discriminate nature of a seismic event. It was concluded that discriminating criterion by P-wave arrivals and focal mechanisms is not universal.

УДК 550.34:621.039.9

ИЗУЧЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

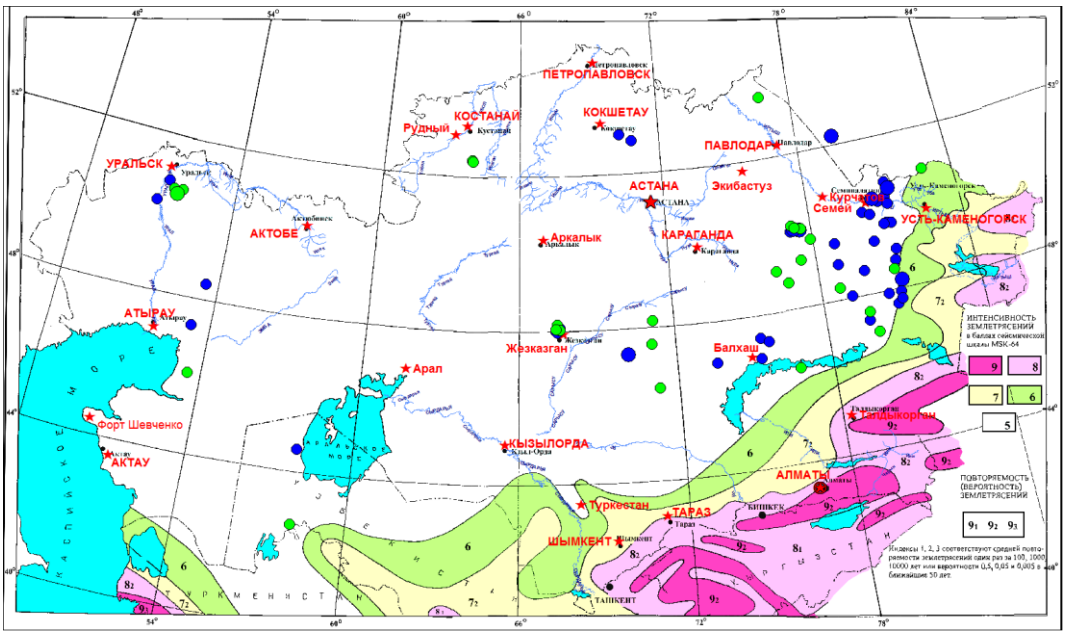
Великанов А.Е., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Аристова И.Л., Мукамбаев А.С.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Описаны разработанная методика и обобщённые результаты многолетнего изучения источников промышленных взрывов в карьерах и шахтах, зарегистрированных на территории Казахстана сетью сейсмических и инфразвуковых станций, находящихся под управлением Института геофизических исследований. Обосновывается важность проводимых исследований для идентификации регистрируемых событий, особенно для слабосейсмичных районах Казахстана.

Важность проблемы изучения массовых химических взрывов определяется такими актуальными задачами, как выявление возможного проведении скрытых ядерных испытаний на фоне часто проводимых крупных промышленных взрывов; необходимость включение в сейсмологический бюллетень данных только об естественных землетрясениях для верной оценки сейсмической опасности; использование сильных химических взрывов с известными параметрами в качестве источников для калибровки как сейсмических, так и инфразвуковых станций. В статье представлены данные, которые являются результатом продолжения планомерного покрытия всей территории Казахстана полевым изучением промышленных взрывов [1, 2]., а также результатом первого обобщения многолетнего опыта изучения источников промышленных взрывов на территории Казахстана.

В Институте геофизических исследований (ИГИ) изучение источников промышленных взрывов на территории Республики осуществляется с 2007 г. Необходимость этого исследования вызвана потребностью в повышении достоверности идентификации природы большого количества событий, ежегодно регистрируемых сетью стационарных высокочувствительных сейсмических станций ИГИ при сейсмическом мониторинге. Особую актуальность решение этой задачи имеет для Северного, Западного и Центрального Казахстана, считавшихся ранее асейсмичными, но, как показали сейсмические наблюдения последнего десятилетия и архивные данные, испытывающих ощутимые землетрясения (рисунок 1). Большая часть регистрируемых событий в этих асейсмичных районах связана с промышленными взрывами. Часто взрывы и землетрясения близки по местоположению, что влияет на оперативность и достоверность идентификации природы регистрируемых событий.



1 – эпицентры землетрясений за 1783-2003 г.г., выявленные в последнее десятилетие в РГП ИГИ;
2 – эпицентры землетрясений, зарегистрированных в 2004-2012 гг.

Рисунок 1. Карта эпицентров ощутимых землетрясений в асейсмичных районах Казахстана

Объектами изучения на территории Казахстана являлись преимущественно карьерные взрывы, реже подземные взрывы в шахтах и штольнях, когда масса взрывчатого вещества превышает 1 – 3 тонны. Взрывы с массой взрывчатого вещества менее 1 тонны фиксируются сейсмическими станциями неуверенно на уровне помех. Карьерные взрывы производятся в основном для рыхления горных пород с целью проведения вскрышных работ и добычи полезных ископаемых (руд, угля и строительных материалов). Подземные взрывы в шахтах и штольнях с массой около 1 тонны и более производятся для отбивки руды в добычных рудных блоках и при опускании-обрушении отработанных горизонтов. Существуют также временные объекты промышленных взрывов, связанные с прокладкой автомобильных дорог, газопроводов, со строительством промышленных объектов, а также с ликвидацией ледяных заторов в весенний период, и другие (например, учебные взрывы на военных полигонах).

Работы по изучению промышленных взрывов проводились планомерно с ежегодным охватом разных территорий Казахстана, включающих от одной до трёх близлежащих областей. Методика сбора информации по промышленным взрывам предусматривала два этапа: 1) предварительный камеральный анализ материалов по исследуемой территории для выделения потенциально действующих карьеров и 2) полевые выезды в исследуемые районы. На предварительном этапе анализировались доступные материалы: карта полезных ископаемых Казахстана масштаба 1:1000000 (изд. Комитет геологии и охраны недр Министерства энергетики и минеральных ресурсов РК, 2002 г.); справочная литература по рудным месторождениям Казахстана (изд. Информационно-презентационный центр минерально-сырьевого комплекса Республики Казахстан); информация из интернет–источников о действующих горнодобывающих предприятиях. Для уточнения координат промышленных объектов, отрабатываемых открытым способом, использовались материалы космических съёмок LANDSAT. Также анализировались таблицы и карты регистрируемых сейсмических событий в исследуемом районе за последние три года по результатам обработки данных станций сейсмической сети, обобщенным в сейсмических бюллетенях. При этом учитывалась пространственная концентрация (кучность) эпицентров и время в источнике событий. По результатам предварительного анализа материалов составлялась предварительная схема действующих карьеров в изучаемом районе.

Наиболее достоверная и детальная информация о промышленных взрывах получена при полевых выездах в исследуемые районы на горнодобывающие предприятия и в специализированные подрядные организации, производящие буровзрывные работы (БВР). Предварительно требовалась подготовка писем в областные департаменты по чрезвычайным ситуациям (ДЧС) для получения списка организаций, производящих БВР, а также к руководителям взрывных организаций, горнодобывающих предприятий с разъяснением цели сбора информации. Вся необходимая информация о промышленных взрывах (дата и время взрывания, координаты центра и параметры взрывных блоков, геометрия рассредоточения зарядов или сетка скважин и масса ВВ – общая и по отдельным взрывным скважинам) в Казахстане находится в организациях, производящих БВР и в маркшейдерских отделах горнодобывающих предприятий в виде помесячных таблиц выполненных объёмов работ с информацией по каждому массовому взрыву и паспортов БВР по взрывным блокам. Информация о параметрах БВР собирались за фиксированный период (1 – 1.5 года) для определения интенсивности производства промышленных взрывов для каждого объекта (карьера, шахты и др.). Затем составлялись окончательные таблицы и схемы расположения действующих карьеров и других объектов промышленных взрывов за период времени в 1 – 2 года, где приводились их активность по количеству взрывов в год и максимальная мощность взрывов на фоне средней мощности для отдельных карьеров (таблица 1).

Таблица 1. Фрагмент таблицы по действующим карьеамв в районе сейсмической станции Акбулак за 2007 - 2008 гг.

Владелец	Карьеры	Широта	Долгота	Регион (область)	Исполнители взрывов	Примечание	Активность, взр/год	Мощность взрывов, кг (макс / средн)
АО "Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение" (ССГПО)	**Соколовский** (Fe, Co, Cu, Zn, Ti)	52.993788	63.177206	Костанай	ССГПО	2007-2008	28	578 300 / 200 000
	Сарбайский (Fe, Co)	53.039599	63.068086	Костанай		2007-2008	56	625 700 / 200 000
	Качарский (Fe, Co)	53.375702	62.926815	Костанай		2007-2008	49	563 179 / 200 000
	Куржункольский (Fe, Co)	52.539925	62.761309	Костанай		2007-2008	42	283 800 / 100 000
	Кзыл-Жарский (известняк)	52.943310	62.239510	Костанай		2007-2008	12	62 900 / 30 000
АО "Алюминстрой"	**Тастинский** (щебень)	50.533333	66.275000	Костанай	Костанай-взрывпром	с 2008 года	1	11 710

Владелец	Карьеры	Широта	Долгота	Регион (область)	Исполнители взрывов	Примечание	Активность, взр/год	Мощность взрывов, кг (макс / средн)
ТОО "Жулдызай-КФ"	**Акжарский** (щебень)	50.148647	66.606547	Костанай		с 2008 года	1	8 430
Тургайское бокситовое рудоупр АО"Алюм Казах"	**Ашут** (бокситы)	50.126389	66.980000	Костанай		2007-2008	2	8 420
ТОО "ПФ Костанай-щебень"	**Надеждинский** (щебень)	53.712359	61.911576	Костанай		2007-2008	14	28 940 / 15 000
ТОО "Тас-Кум-Костанай"	**Городищенский** (щебень)	52.975220	61.143954	Костанай		2007	2	8 420
Костанайвзрывпром	**р. Аят** (лёд)	52.846088	62.536475	Костанай		рыхление льда	1	710
ТОО "Метал Трэйдинг"	**Сев.-Комаровский** (золото)	52.163889	61.313333	Костанай		2007-2008	52	12 620 / 5 000
ТОО "Костанайжолдары"	**Адаевский** (щебень)	51.822222	61.998611	Костанай		гранодиориты	6	14 540 / 10 000
	Притрассовый (щебень)	51.483333	61.684000	Костанай		в 2007 году	5	10 770 / 9 000
ТОО "Коппер Технолоджи" ГОК Коктау (медь)	**50 лет Октября** (медь)	50.485119	59.107430	Актюб	ТОО НПП "Интеррин"	2007-2008	118	135 000 / 20 000
	Приорский (медь)	50.538744	59.009807	Актюб		с 2008 года	12	70 866 / 40 000
АО "ТНК Казхром" Донской ГОК (Cr, Pt)	**Южный Донской** (Cr, Pt)	50.323202	58.458851	Актюб	Донской ГОК	2007-2008	116	63 080 / 25 000
	Поисковый (Cr, Pt)	50.308703	58.459070	Актюб		2007-2008	18	38 082 / 15 000
	Мирный (Cr, Pt)	50.243258	58.454566	Актюб		с 2008 года	27	21 664 / 15 000
	Миллионный (Cr, Pt)	50.243028	58.409215	Актюб		в 2007 году	7	22 788 / 3 000
	Объединённый (Cr, Pt)	50.238610	58.416604	Актюб		в 2007 году	10	13 578 / 6 000
	Сухиновский (щебень)	50.171755	58.336011	Актюб		2007-2008	20	51 156 / 20 000
ТОО "Касист-Инвест"	**Куагашский** (щебень)	50.614540	58.288479	Актюб	ТОО НПП "Интеграл"	в 2007 году	2	28 000
ТОО "Жол-Тас"	**Сартауский** (щебень)	48.628167	58.500556	Актюб		диабазы	3	18 840
ТОО "Актобе-Тас"	**Шандашинский** (щебень)	50.393700	58.060670	Актюб		в 2007 году	4	40 000 / 25 000

Примечание: Красным цветом в таблице отмечены карьеры с высокой активностью (более 10 взрывов в год);
синим цветом – со средней активностью (от 5 до 10 взрывов в год); остальные – с низкой активностью (менее 5 взрывов в год).

Кроме информации о самих действующих карьерах, очень важным аспектом являются данные о взрывах, проведенных в конкретных карьерах. Именно данные о взрывах, ассоциированные с записями сейсмических станций, позволяют проводить сбор исключительно важной информации о так называемых «эталонных» событиях. Пример такой информации для отдельных карьеров приведен в таблице 2.

Годы сбора информации о промышленных взрывах в карьерах (2007- 2012) показали, что наиболее полную информацию выдают предприятия, соблюдающие технологию БВР, имеющие квалифицированных специалистов, использующие передовые методы в проведении взрывных работ.

К 2012 г. полевое изучение источников промышленных взрывов в Казахстане проведено на территории бывшего Семипалатинского полигона и в прилегающих к нему районах (2007 г.), в Северном Казахстане на территории Костанайской и Актюбинской областей (2008 г.), в Южном Казахстане на территории Жамбылской, Южно-Казахстанской и Кызылордынской областей (2009 г.), в Центральном Казахстане на территории Карагандинской области (2010 г.), в Северо-Восточном Казахстане на территории Северо-Казахстанской, Акмолинской и Павлодарской областей (2011 г.), в Восточном Казахстане на территории Восточно-Казахстанской области (2012 г.). Не затронутыми детальными исследованиями остались промышленные взрывы территория Алматинской области.

Таблица 2. Фрагменты таблицы с параметрами буровзрывных работ для отдельных промышленных взрывов в районе сейсмической станции Акбулак за 2007 - 2008 гг.

Донской ГОК АО ТНК "Казхром", время взрывания по Астане 14.00-15.00							
Карьер	**Горизонт-блок**	**Дата взрыва**	**Масса ВВ, кг**	**Объём блока, м^3**	**Кол. скв.**	**Сетка, м**	**Глубина, м**
Южный	390 - 128	08.01.2007	**23592**	42705	146	6×7	7,5
50,323202 с.ш.	390 - 120	16.01.2007	**29753**	51188	165	3×3, 6×7	8
58,458851 в.д.	420 - 130	10.01.2007	**24362**	46976	240	6×7	5
	390 - 131	22.01.2007	**40722**	64526	179	6×7	1
	420 -132	26.01.2007	**27848**	50856	155	6×7	8,4
	420 - 133	29.01.2007	**13534**	24200	70	6×7	8,9
	420 - 134	05.02.2007	**19651**	36173	111	6×7	8,4
	390 - 135	06.02.2007	**25949**	42903	104	6×7	9,8
Поисковый	190 - 889	12.01.2007	**16346**	22094	100	6×7	5,7
50,308703 с.ш.	190 - 890	30.01.2007	**3925**	4953	19	6×7	6,7
58,45907 в.д.	220 - 891	09.02.2007	**31685**	42471	92	6×7	11,8
	190 - 892	11.03.2007	**15460**	20475	48	6×7	10,9
	185 - 893	25.03.2007	**12283**	19080	67	6×7	7,7
	240 - 894	07.05.2007	**20992**	29855	70	6×7	10,9
	210 - 895	18.05.2007	**17181**	24024	51	6×7	12,1
	210 - 896	28.05.2007	**9959**	14031	35	6×7	15,7
	200 - 897	02.07.2007	**17022**	21816	62	4×4, 6×6	9,8
Мирный	400 - 1	12.02.2008	**9312**	17230	197	2×2, 6×6	4,4
50,243258 с.ш.	390 - 2	19.02.2008	**2904**	6624	159	2×2, 6×6	2,3
58,454566 в.д.	390 - 3	25.02.2008	**17678**	32160	136	4×4, 6×6	7,9
	380 - 4	06.03.2008	**9484**	21100	190	4×4, 6×6	4,3

Наиболее многочисленные, а также мощные промышленные взрывы производятся **в районе сейсмических (и инфразвуковой) станций Актюбинск и Акбулак** в Северном (и частично в Северо-Западном) Казахстане на территории Костанайской и Актюбинской областей. Здесь зафиксировано 56 объектов промышленных взрывов, включая один объект, связанный с ликвидацией ледяных заторов в весенний период на р. Аят. Основными источниками промышленных взрывов на этой территории являются активные карьеры горнодобывающих предприятий рудной отрасли и производства строительных материалов с активностью на некоторых из них до 50 - 100 и более взрывов в год. Сюда входят железные рудники Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного производственного объединения, бокситовые рудники Краснооктябрьского бокситового рудоуправления, золотые рудники Варваринский и Комаровский, Житикаринский карьер хризотилового асбеста в Костанайской области, а также медно-колчеданные рудники «50 лет Октября», Приорский и хромитовые карьеры Донского ГОКа в Актюбинской области. К активным объектам относятся карьеры по добыче строительного камня и щебня Кзыл-Жарский и Надеждинский в Костанайской области, а также Сухиновский, Актастинский и Мугалжарский в Актюбинской области. На большем количестве рудных и нерудных карьеров, а также на других объектах промышленные взрывы производятся не более 5 – 10 раз в год. В активных карьерах мощность взрывов в среднем колеблется в пределах 15 – 40 тонн взрывчатого вещества, редко достигает 70 – 80 тонн. Но на единичных карьерах-гигантах, таких как Житикаринский асбестовый, или на железорудных карьерах Соколовско-Сарбайского объединения даже средняя мощность взрывов достигает 100 и 200 тонн, а максимальная мощность взрывов может достигать 578 и 625 тонн. Существенный вклад в проведение промышленных взрывов, регистрируемых сейсмическими и инфразвуковыми станциями ИГИ в данном регионе, вносят также горнодобывающие предприятия соседнего государства России. Информация по ним собирается в основном из литературных источников, интернета и космических снимков. К наиболее активным из них относятся карьеры Домбаровской группы месторождений (медь), Джусинский (Теренсай - медь) и Барсучий лог (медь, цинк), Киембаевский (асбест), Гранитный (щебень), Гайский (медь), Новорудный (железо), Сибайский (медь) и Тубинский (медь, золото).

В Южном Казахстане **в районе сейсмической станции Каратау** на территории Жамбылской, Южно-Казахстанской и Кызылордынской областей было зафиксировано 50 объектов промышленных взрывов: 34 карьера; 3 подземных объекта (шахты, штольня); 4 объекта, связанных с ликвидацией ледя-

ных заторов в весенний период на р. Сырдарья; 2 военных полигона; 5 временных объектов строительства газопровода и 2 временных объекта строительства автодороги и цементного завода. Здесь основными источниками промышленных взрывов в настоящее время являются активные карьеры и подземные выработки (шахты, штольни) горнодобывающих предприятий рудной отрасли с количеством взрывов до 30 - 70 в год. Сюда входят фосфоритовые рудники ТОО "Казфосфат", медный рудник Шатыркуль, и Шиганакский баритовый рудник в Жамбылской области. Набирает активность карьер на ванадий-молибденовом месторождении Баласаускандык в СЗ части хребта Каратау в Кызылордынской области. Весомый вклад в производство промышленных взрывов вносят также некоторые активные карьеры по добыче строительного камня и щебня с количеством взрывов от 10 до 20 и более в год. К ним относятся карьеры Северный и Южный месторождения Казыкуртское, карьер Сас-Тобе по добыче известняка для производства цемента в Южно-Казахстанской области, карьеры Западный и Южный месторождения гипса, ангидрита Улькен Бурылтау, а также известковый карьер Аглатас (Южная гряда) в Жамбылской области. Остальные карьеры производят не более 5 – 10 взрывов в год. В активных карьерах мощность взрывов колеблется от 6 до 17 – 22 тонн, редко достигает 27 – 30 тонн. В активных подземных горных выработках мощность взрывов колеблется от 0,7 – 1,5 до 2,5 – 3 тонн, редко достигает 9,5 – 14,5 тонн.

Довольно большое количество промышленных взрывов производится в Центральном Казахстане **в районе сейсмической станции Ортау** на территории Карагандинской области. Здесь было зафиксировано 57 объектов: 54 карьера, 2 ощутимых подземных объекта (шахты) и 1 временный объект расширения русла Интумакского водохранилища. Наиболее активными объектами промышленных взрывов здесь являются:

– Жезказганские меднорудные карьеры (Средний-Спаский, Анненский, Кыпшакпайский и другие) с количеством взрывов от 12-25 до 85 - 147 в год. Мощность взрывов в этих карьерах достигает в среднем 4000 кг с максимальными значениями до 42 100 – 62 000 кг.

– Барит-полиметаллические и железо-марганцевые карьеры Атасуйского рудного района (Ушкатын III, Восточный Камыс и другие) с количеством взрывов до 100 - 213 в год. Мощность взрывов по карьеру Ушкатын III достигает в среднем 38 000 кг с максимальными значениями до 122 460 кг, а по карьеру Восточный Камыс – в среднем 4800 кг с максимальными значениями до 13 042 кг.

– Угольные разрезы Молодёжный (Борлы), Куучекинский, Жалын с количеством взрывов в год 180, 101 и 50 соответственно. Мощность взрывов по разрезу Молодёжный достигает в среднем 24 500 кг с максимальными значениями до 118 100 кг, по разрезу Куучекинский – в среднем 14 000 кг с максимальными значениями до 48 594 кг, а по разрезу Жалын – в среднем 5000 кг с максимальными значениями до 13 194 кг. Угольные разрезы Центральный и Западный Шубарколь также являются весьма активными с количеством взрывов более 100 в год, хотя мощность взрывов на них не превышает 5000 кг по причине пониженной твёрдости углей.

– Отдельные рудные карьеры Акжал (цинк, барит), Кентобе (железо) и Абыз (золото) с количеством взрывов в год 155, 100 и 90 соответственно. Мощность взрывов по карьеру Акжал достигает в среднем 15 500 кг с максимальными значениями до 67 235 кг, по карьеру Кентобе – в среднем 5700 кг с максимальными значениями до 72 000 кг, а по карьеру Абыз – в среднем 5000 кг с максимальными значениями до 29 880 кг.

– Отдельные объекты по добыче известняка, доломита, строительного камня – это карьеры Южно-Топарский (68 взр/год), Астаховский (42 взр/год), Сарыкум (32 взр/год), Карабасский (25 взр/год). Мощность взрывов в этих карьерах достигает в среднем 10 000 - 15 000 кг с максимальными значениями до 29 570 – 35 800 кг.

– Объекты подземной добычи полезных ископаемых: шахта Нурказган (медь) и шахта Западный Каражал (железо) с количеством более 33 массовых взрывов в год. Мощность массовых взрывов при отпалке руды в рудных блоках на шахте Западный Каражал достигает в среднем 4000 кг, а максимальные значения взрывов достигают 134 400 кг при подрыве межкамерных целиков для посадки отработанных горизонтов. Некоторые мировые центры регистрации сейсмической информации иногда принимают их за землетрясения.

В Северо-Восточном Казахстане **в районе Боровской группы сейсмических станций** на территории Северо-Казахстанской, Акмолинской и Павлодарской областей зафиксировано 90 объектов, на которых производились и в ближайшее время начнут производиться промышленные взрывы. В числе их находятся 84 карьера и 6 подземных объектов в шахтах. Объекты промышленных взрывов здесь распределились следующим образом:

– 6 объектов – это карьеры, которые в самое ближайшее время начнут действовать на месторождениях полезных ископаемых в связи с открытием на них горнодобывающих предприятий и строительством горно-обогатительных комбинатов. Это будущие карьеры Баксинский (Au,Cu) и Сырымбет (Sn) в Северо-Казахстанской области; карьеры Жаксы (Mn), Кызылту (Mo,Cu) и Южный Караул-Тюбе (Au) в Акмолинской области; карьер Бозшаколь (Cu,Au) в Павлодарской области.

– 7 объектов разрабатываются открытым способом – карьерами без производства буровзрывных работ из-за пониженной твёрдости пород и добывае-

мых углей, но иногда на них по технологическим причинам производятся единичные промышленные взрывы (расширение вскрышных работ и внутри объектных коммуникаций). Это щебенистый карьер ТОО «Гранит-Плюс», щебенисто-дресвяной карьер Юбилейный и угольный разрез «Сарыадырский» в Акмолинской области; щебенисто-гравийный карьер Шидертинский, угольные разрезы Экибастузский, Талдыколь и Сарыколь (Майкубенский угольный бассейн) в Павлодарской области.

– 13 объектов, разрабатываемых открытым карьерным способом, законсервированы (временно закрыты по разным причинам, чаще экономическим), но иногда на них также производятся единичные взрывы, связанные с нелицензионной добычей или с пробными технологическими циклами. К этим объектам относятся в Северо-Казахстанской области 2 карьера – Золоторунный (щебень), Чеховский (щебень); в Акмолинской области 6 карьеров – Новоднепровский (Au), Акбеит (Au), Софиевский (известняк), Итальянский (щебень), Сопка 416 (щебень), Байгулинский Северный (кварцит); в Павлодарской области 5 карьеров – Сарыбидаикский (известняк), Южный шлакоотвальный (щебенистый в Экибастузе), угольные разрезы Шоптыколь Западный и Шоптыколь Восточный, Сувенир (Au).

– 64 объекта в виде карьеров и единичных шахт, действовавших с производством буровзрывных работ в 2010 – 2011 годах на территории областей Северо-Казахстанской – 6 карьеров, Акмолинской – 42 карьера (в том числе 4 шахты), Павлодарской – 16 карьеров (в том числе 2 шахты). В шахтах кроме небольших взрывов массой 200-500 кг при проходке горных выработок периодически производятся довольно ощутимые взрывы массой более 1 -3 тонн при отработке рудных блоков.

Результаты изучения показали, что на исследуемой территории в районе Боровской группы сейсмических станций основными источниками промышленных взрывов являются карьеры горнодобывающих предприятий по добыче угля, золотых и железных руд, известняка и доломита для получения горно-металлургического сырья (флюсовый известняк, известняк для производства глинозёма при плавке алюминия), а также камня для строительных материалов (щебня). Из них наиболее активными являются угольные разрезы Экибастузского (разрезы Богатырь, Северный, Восточный) и Майкубенского (разрез Шоптыколь) угольных бассейнов в Павлодарской области. Взрывы на них производятся часто, порой до двух-трёх раз в день, но мощность отдельных взрывов не превышает первых тонн взрывчатого вещества. К наиболее активным объектам промышленных взрывов (до 100 взр/год) можно отнести карьер добычи железных руд Атансор, а также карьеры отдельных месторождений золота Васильковское, Жаналык, Узбой, Аксу и Жолымбет (карьер №5) в Акмолинской области. Также к активным объектам относятся карьеры рудника Керегетас вблизи п. Майкаин (известняк для металлургического глинозёма), Алексеевского доломитового рудника севернее г. Кокшетау (для металлургического флюса), щебенистый карьер Ельток вблизи с. Волгодоновка и гранитные карьеры для производства щебня вблизи г. Кокшетау и п. Аршалы-Вишневка. В активных карьерах мощность взрывов колеблется в пределах 10 – 40 тонн взрывчатого вещества. Отдельным активным объектом по производству промышленных взрывов является шахта Шантобе по добыче урановых руд, где масса взрывчатого вещества при отработке рудных блоков достигает 5-10 тонн.

В Восточном Казахстане **в районе сейсмических станций Курчатов-Крест и Маканчи** на территории Восточно-Казахстанской области основными источниками промышленных взрывов являются карьеры по добыче угля в локальных мульдах мезокайнозойского возраста, руд преимущественно золота, реже меди и чёрных (Mn, Mo) металлов в Чарском рудном поясе и в Северном Прибалхашье, а также шахты по добыче полиметаллических руд на Рудном Алтае. Лидером в производстве карьерных взрывов остаётся угольный разрез Каражыра на территории Семипалатинского полигона с активностью свыше 150 взрывов в год и средней мощностью взрывов 10 т, а максимальной мощностью 20-45 т взрывчатого вещества. К лидерам также можно отнести золото-полиметаллический карьер Секисовский (268 взр/год) на Рудном Алтае, но с меньшей мощностью взрывов 4-7 т. Из золоторудных преобладают объекты с добычей приповерхностных окисленных руд с повышенным содержанием золота, на которых организовано его извлечение с применением кучного выщелачивания. Активность их составляет до 10-30 взрывов в год с мощностью 6-20 т и более. После извлечения богатых окисленных руд золоторудные объекты, как правило, закрываются (рекультивируются и консервируются для сдачи в государственные недра). Лишь на немногих золоторудных объектах, на которых работают более крупные горнорудные компании, продолжают отрабатывать на глубину подземным шахтным способом менее богатые первичные сульфидные руды. Так, например, за последние пять лет были закрыты карьеры на золоторудных месторождениях Космурун, Мизек, Жайма, Мукур, Суздаль, Кос-Кудук, Таскора, из них на подземную добычу перешли на месторождениях Суздаль, Таскора. Также на подземную добычу будут переходить на месторождениях золота Мизек, Секисовское. При подземной добыче на них масса взрывчатого вещества не превышает 1 тонны.

Существенную часть промышленных взрывов составляют взрывы на карьерах по добыче сырья (мрамора, известняка и других камней) для строительных материалов, для производства цемента, щебня. Также сейсмическими станциями регистри-

руются промышленные взрывы в шахтах по добыче меди, цинка, где осуществляется отбойка руды камерным способом с массой взрывчатого вещества, превышающей 3 - 10 и более тонн за один взрыв. Это объекты крупных горнорудных компаний ТОО «Казцинк», ТОО «Корпорация Казахмыс» на Рудном Алтае. На остальных объектах, включая угольные разрезы Сайкан (за озером Зайсан) и Алакольский, производятся маломощные взрывы с массой взрывчатого вещества менее 3 тонн.

Данные, собранные по карьерам и взрывам, приведены к единому формату и занесены в базу данных промышленных взрывов на действующих карьерах и других объектах. База данных разработана и реализована на основе СУБД Microsoft Access в среде Microsoft Windows, обеспечивающей хранение, накопление и быстрое и удобное предоставление всей информации. Особое внимание придается поиску эталонных взрывов, для которых имеются точные параметры взрывания, привязка к определенному карьеру и соответствующие записи на станциях. Данные по эталонным взрывам используются для изучения скоростных характеристик геологической среды, повышения точности локализации событий и оценки возможностей сетей станций мониторинга. По результатам анализа записей эталонных взрывов создана база данных эталонных событий. С использованием созданных баз данных совершенствуется методика распознавания природы регистрируемых сейсмических событий, которая в перспективе обеспечит возможность их автоматического разделения на промышленные взрывы и землетрясения. Пока работы по распознаванию сейсмических событий ведутся в интерактивном режиме. Использование результатов полевого изучения источников промышленных взрывов озволило из общего количества обработанных сейсмических событий за 2004 – 2011 гг. выделить 31 053 взрыва с энергетическими классами от 1.3 до 9.0, в том числе: в 2004 г. – 1464 взрыва, в 2005 г. – 1770 взрывов, в 2006 г. – 3144 взрыва, в 2007 г. – 4604 взрыва, в 2008 г. – 4844 взрыва, в 2009 г. – 5374 взрывов, в 2010 г. – 5151 взрыв и в 2011 г. – 4702 взрыва (рисунки 2 и 3).

Всего в 2007 – 2012 гг. на обследованных территориях сетью сейсмических станций ИГИ зафиксированы 302 объекта промышленных взрывов, в том числе: 264 карьера, 22 подземных рудника (шахты, штольня), а также 16 других объектов (прокладка дорог, газопроводов, строительство промышленных объектов, ликвидация ледяных заторов на реках, военные полигоны).

С учётом необследованных объектов Алматинской области можно констатировать, что на территории Казахстана функционируют порядка **330 объектов,** производящих промышленные взрывы (в карьерах, шахтах и др.), которые регистрируются сетью сейсмических и инфразвуковых станций ИГИ. Мониторинг обследованных территорий продолжается по информации, поступающей из печатной прессы и интернета (в том числе в блогах на страничках акимов областей), где освещается настоящее экономическое положение в горнодобывающей отрасли, годовая отчётность горнодобывающих предприятий и территориальных управлений охраны и использования недр республики Казахстан.

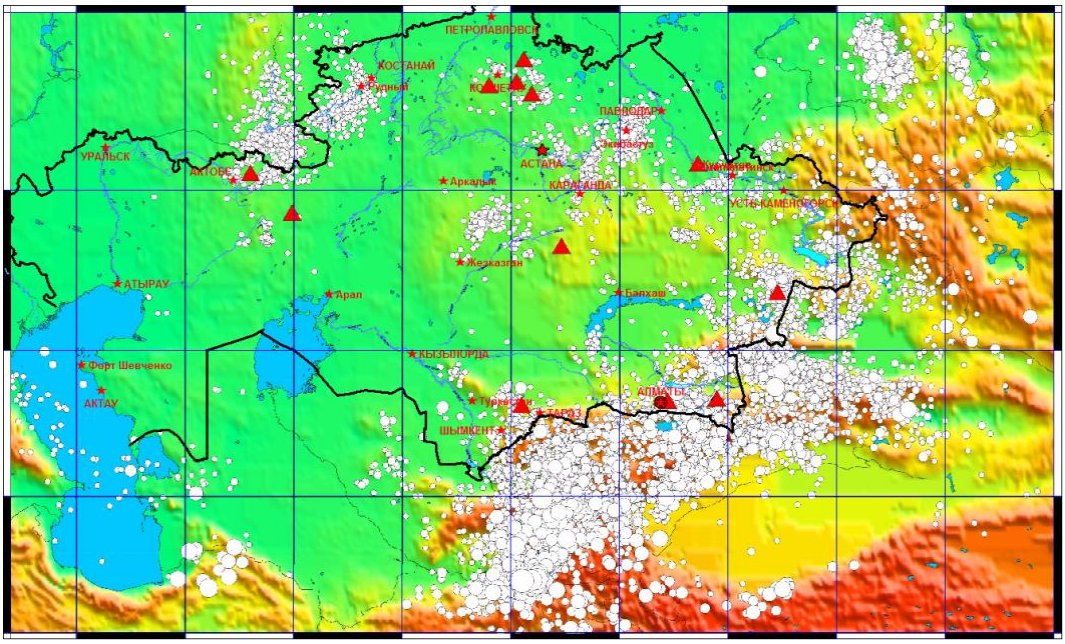
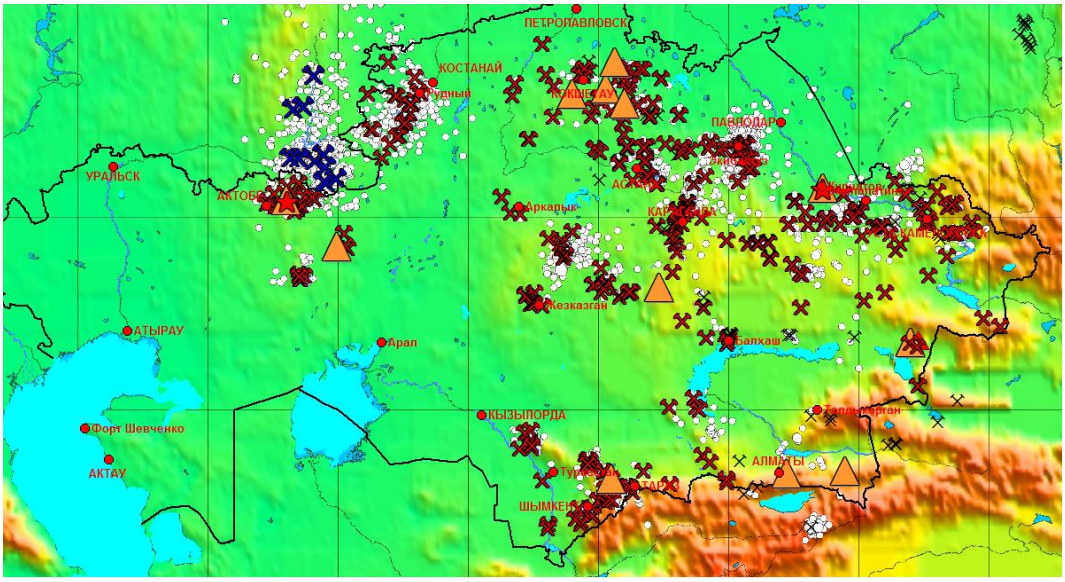


Рисунок 2. Карта эпицентров сейсмических событий, зарегистрированных сетью станций ИГИ за 2011 г. на территории Казахстана и приграничных государств



1 – сейсмические станции ИГИ; 2 – инфразвуковые станции; 3 – обследованные и изученные карьеры и объекты промышленных взрывов; 4 – карьеры России, взрывы на которых регистрируются станциями ИГИ; 5 – вероятные необследованные карьеры; 6 – эпицентры промышленных взрывов

Рисунок 3. Карта промышленных взрывов Казахстана за 2011 г.

Здесь можно проследить закрытие отработанных и открытие новых объектов промышленных взрывов, что найдёт подтверждение в записях сейсмических событий в тех районах. При появлении записей новых сейсмических событий помогает также электронная переписка с установленными организациями, проводящими взрывные работы в тех районах.

Комплексное изучение сейсмических записей и объектов промышленных взрывов (карьеров, шахт и др.) дает возможность сейсмологам с большей точностью производить идентификацию сейсмических событий, отрабатывать методики распознавания, составлять качественные каталоги землетрясений, что в конечном итоге существенным образом отразится на правильности оценок сейсмической безопасности территории Казахстана. Собранные данные могут помочь также исследователям сопредельных стран в организации и проведении подобных работ, а также в анализе сейсмической информации, поступающей от обслуживаемых сейсмических станций.

Литература

1. Михайлова, Н.Н. Проблемы идентификации карьерных взрывов при оценке сейсмической опасности слабосейсмичных районов Казахстана / Н.Н. Михайлова, А.Е. Великанов, И.Н.Соколова, Г.С. Султанова, А.С.Мукамбаев, И.Л. Аристова // Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии.: Сб. докл. 7-го Казахстанско-Китайского Международного Симпозиума 2-4 июня 2010 г. Алматы; «Эверо», 2010. – С. 448 - 451.
2. Михайлова, Н.Н. Идентификация промышленных взрывов при оценке сейсмической опасности слабосейсмичных районов Казахстана / Н.Н. Михайлова, А.Е. Великанов, И.Н.Соколова, И.Л. Аристова, Г.С. Султанова, А.С.Мукамбаев // Вестник НЯЦ РК, 2012. – Вып. 1. – С. 68 – 73.

ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДА ӨНЕРКӘСІПТІК ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ КӨЗДЕРІН ЗЕРДЕЛЕУ

Великанов А.Е., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Аристова И.Л., Мукамбаев А.С.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан

Геофизикалық зерттеулер институты басқармасындағы сейсмикалық және инфрадыбыстық станциялар желісімен Қазақстан аумағында тіркелген карьерлер мен шахталардағы өнеркәсіптік жарылыстардың көздерін көп жыл зерделеудің әзірленген әдістемесі мен қорытынды нәтижелері сипатталған. Тіркелетін оқиғаларды сәйкестендіру үшін жүргізілудегі зерттеулердің маңыздылығы негізделеді, әсіресе Қазақстанның әлсіз сейсмикалық аудандарына.

INVESTIGATION OF INDUSTRIAL BLASTS SOURCES ON THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN

A.Ye. Velikanov, N.N. Mikhailova, I.N. Sokolova, I.L. Aristova, A.S. Mukambayev

Institute of Geophysical Researches, Kurchatov, Kazakhstan

The paper provides the technique and summarized results of long-period investigation of industrial blasts sources in quarries and shafts recorded on the territory of Kazakhstan by the network of seismic and infrasound stations of the IGR. The importance of conducted investigations for identifiying the recorded events, especially for low-seismicity regions of Kazakhstan is outlined.

УДК 550.344:621.039.9

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В ЛИТОСФЕРЕ НЕВАДСКОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА

[1)]Копничев Ю.Ф., [2)]Соколова И.Н., [3)]Соколов К.Н.

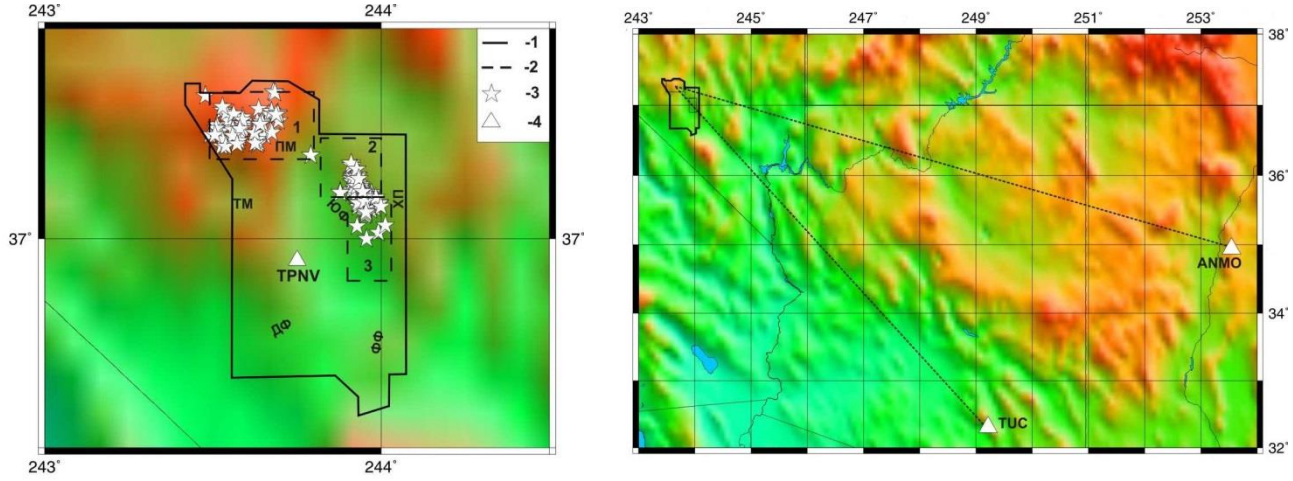
[1)]Институт физики Земли РАН, Россия
[2)]Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан
[3)]Санкт-Петербургский государственный технологический институт, Россия

Приводятся результаты анализа характеристик поля поглощения короткопериодных поперечных волн в районе Невадского испытательного ядерного полигона на основе записей подземных ядерных взрывов (ПЯВ) и землетрясений, полученных тремя сейсмическими станциями в 1975 - 2012 гг. на эпицентральных расстояниях до 1000 км. Использованы методы, связанные с анализом отношений амплитуд волн Sn и Pn, Lg и Pg, а также огибающих S-коды записей близких событий. Показано, что в районе НИЯП в период проведения ядерных испытаний наблюдались существенные временные вариации структуры поля поглощения в земной коре и верхах мантии. Самые сильные вариации имели место для ПЯВ в области Пахуте Меса, где проведено ~2/3 наиболее мощных взрывов. Полученные данные свидетельствуют о том, что временные изменения структуры поля поглощения связаны с миграцией глубинных флюидов. Сопоставлены общие характеристики поля поглощения в районах трех крупных ядерных полигонов.

В [1] приведены результаты анализа пространственно-временных вариаций поля поглощения поперечных волн в земной коре и верхах мантии в районе Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП). Было установлено, что наиболее сильные изменения структуры поля поглощения наблюдались в области площадки Балапан, где производились самые мощные подземные ядерные взрывы (ПЯВ) [2]. Временные вариации поля поглощения выделены также в районе китайского ядерного полигона Лобнор (ЛИЯП) [3, 4], где было произведено на порядок меньше ПЯВ, чем в районе СИЯП [5]. В статье рассматриваются пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в районе самого крупного полигона – Невадского (НИЯП), где было испытано наибольшее количество ядерных зарядов (более 800 [6, 7]).

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

НИЯП находится (рисунок 1) в южной части обширной рифтовой зоны запада США (Провинция Бассейнов и Хребтов). Рифтовая зона является результатом тектонического растяжения литосферы в субширотном направлении, которое началось примерно 17 млн. лет назад [8]. Главные особенности рельефа рифтовой зоны – взаимно параллельное расположение поднятий и впадин, образующих клавишную структуру. Мощность земной коры в районе НИЯП – около 35 км [9]. Для района НИЯП, как и для всей рифтовой зоны, характерен повышенный тепловой поток [10].



а – площадки Невадского полигона

б – сейсмические станции ANMO и TUC

1 – контур НИЯП; 2 – изучаемые площадки; 3 – эпицентры наиболее мощных взрывов (Y> 20 кт); 3 – сейсмическая станция. Тектонические структуры: Пахуте Меса (ПМ), Тимбер Маунтайн (ТМ), хр. Халфпинт (ХП), равнины Юкка Флэт (ЮФ), Джекасс Флэтс (ДФ) и Френчман Флэт (ФФ). Пунктир на рисунке 1-б – трасса на станцию

Рисунок 1. Район исследований. Расположение сейсмических станций ANMO и TUC относительно НИЯП

На крайнем северо-западе территории НИЯП (рисунок 1-а) находится область Пахуте Меса, сложенная в основном вулканогенными породами (с преобладанием туфов [8]). Этой области соответствует повышенный рельеф высотой до 600 м над окружающими равнинами. Северо-восточную часть территории НИЯП занимает равнинная область Юкка Флэт, сложенная в основном четвертичными осадочными породами мощностью до 600 м. С востока равнина Юкка Флэт ограничена узким хребтом Халфпинт. К югу от области Пахуте Меса находится древняя вулканическая кальдера Тимбер Маунтайн. Крайний юг полигона занимают равнинные области Джекасс Флэтс и Френчман Флэт.

За период с 1962 по 1992 гг. на территории НИЯП было произведено более 800 ПЯВ с максимальной объявленной мощностью 1300 кт [6]. Подавляющее большинство ПЯВ, в том числе самые сильные (мощностью более 100 кт) было произведено в областях Пахуте Меса и Юкка Флэт. Наибольшее количество самых мощных взрывов (до 500 - 1000 кт) приходится на 1975 - 1976 гг. После 1976 г. максимальная мощность взрывов составляла 150 кт.

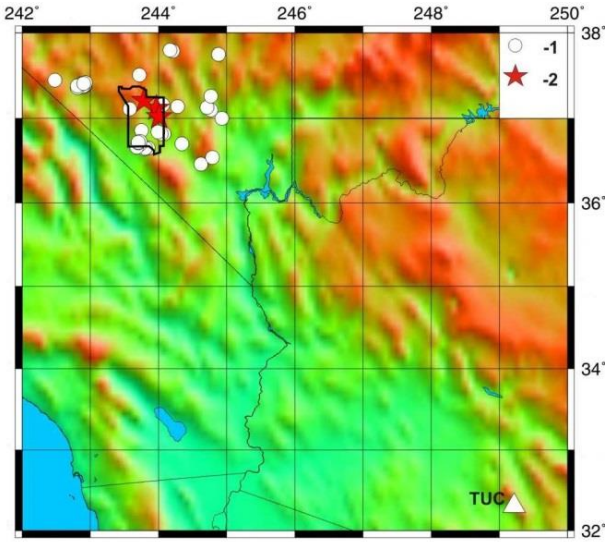
Современная сейсмичность в районе НИЯП характеризуется слабой активностью. После прекращения серии ПЯВ самое сильное землетрясение произошло здесь в 1999 г. (M=4.5). Начиная с 2000 г. на территории полигона не зарегистрировано событий с M>3.6.

Использованные материалы и методика обработки данных

Исследовались записи ПЯВ и землетрясений, зарегистрированные двумя цифровыми станциями: ANMO (Albuquerque, Нью-Мексико) и TUC (Tuscon, Аризона), соответственно в 1975 - 2002 и 1992 - 2011 гг. (рисунки 1-а, -б; 2).

Эпицентральные расстояния событий для указанных станций варьировались в диапазонах ~880 - 940 и 620 - 940 км, соответственно. В общей сложности проанализировано более 180 записей ПЯВ и около 50 записей землетрясений. Кроме того, обработаны 10 сейсмограмм местных землетрясений и химического взрыва, полученных цифровой станцией TPNV (Topopah Spring, Невада) в 1993 - 2012 гг. на эпицентральных расстояниях до 40 км (рисунок 1-а).

При анализе записей, полученных станциями ANMO и TUC на расстояниях до 1000 км, изучались отношения амплитуд волн Lg и Pg, а также Sn и Pn (параметры lg(ALg/APg) и lg(ASn/APn), которые для краткости обозначены соответственно Lg/Pg и Sn/Pn. Волны Lg и Pg распространяются в земной коре, и отношение их амплитуд служит мерой поглощения поперечных волн на всей трассе от очага до станции [11]. Волны Sn и Pn проникают глубже границы M и по величине параметра Sn/Pn при прочих равных условиях можно судить о степени поглощения S-волн в верхах мантии в области источника [12 - 15].



1 – землетрясение; 2 - ПЯВ

Рисунок 2. Эпицентры событий, зарегистрированных станцией TUC в 1992 - 2011 гг.

При интерпретации записей близких землетрясений и химических взрывов использовался метод, основанный на анализе характеристик короткопериодной S-коды. Ранее было установлено, что на частотах около 1 Гц кода сформирована, главным образом, поперечными волнами, отраженными от многочисленных субгоризонтальных границ в земной коре и верхней мантии [11, 16]. При такой схеме формирования коды участки относительно быстрого и медленного затухания амплитуд связаны с проникновением S-волн в слои соответственно сильного и слабого поглощения. Глубины этих слоев определялись в предположении формирования коды однократно отраженными волнами. Поглощение характеризовалось эффективной добротностью Qs, которая определялась по затуханию амплитуд в коде с помощью формулы $A(t) \sim \exp(-\pi t/QsT)/t$, где T – период колебаний, время t отсчитывается от начала излучения в очаге [11]. Ранее [17] было отмечено, что образование полостей и зон трещиноватости, а также изменение гидрорежима подземных вод при ПЯВ не служат препятствием для изучения характеристик поля поглощения на достаточно больших глубинах с помощью описанных выше методик [1].

При обработке сейсмограмм применялась узкополосная частотная фильтрация, которая позволяет исключить из анализа эффекты, связанные с различием спектров очагового излучения для разных событий, зависимостью добротности от частоты и т.д. [11, 16]. Использовался фильтр с центральной частотой 1.25 Гц и шириной 2/3 октавы на уровне 0.7, аналогичный соответствующему ЧИСС-каналу [11].

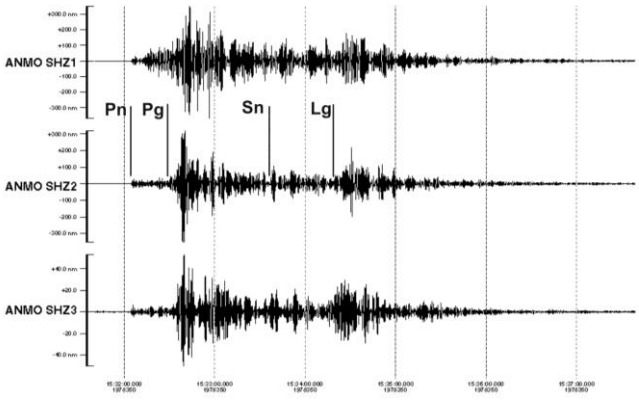
Анализ данных

Часть территории НИЯП, где сконцентрированы эпицентры ПЯВ, записи которых использованы при исследовании, была разбита на три площадки (рисунок 1). Первая площадка соответствует в основном области Пахуте Меса (ПМ), а вторая и третья – равнине Юкка Флэт (ЮФ). Отметим, что все достаточно сильные взрывы, с минимальной объявленной мощностью в диапазоне P=20 - 150 кт, были проведены именно на этих площадках [6]. Вместе с тем, количество самых мощных ПЯВ (Y > 100 кт) на площадке 1 было в несколько раз больше, чем на каждой из двух других площадок. Из рисунка 1 следует, что трассы от площадки 1 на станцию ANMO в основном проходят через площадку 2, а на станцию TUC – частично через площадки 2 и 3.

Анализ записей ПЯВ и землетрясений, полученных станциями ANMO и TUC. На рисунке 3 показаны примеры записей станцией ANMO ПЯВ, произведенных на трех выделенных площадках НИЯП.

Из рисунка 3 видно, что записи ПЯВ имеют общие черты: высокие значения отношения Sn/Pn и достаточно низкие значения отношений Lg/Pg. На рисунках 4 – 9 представлены временные вариации средних параметров Sn/Pn и Lg/Pg для ПЯВ, произведенных на различных площадках. Из рисунка 4 следует, что для площадки 1 величины Sn/Pn были очень низкими в 1975-78 гг., резко выросли в 1979 - 1982 гг. (с 0.41 до 0.61), после этого наблюдалось их постепенное уменьшение до 0.48 в 1989 -1992 гг. Похожая картина имела место и для площадки 2 (рисунок 5), однако размах вариаций здесь был существенно ниже (0.52 - 0.61).

Для площадки 3 вариации параметра Sn/Pn были незначительными (0.56 - 0.60, см. рисунок 6).



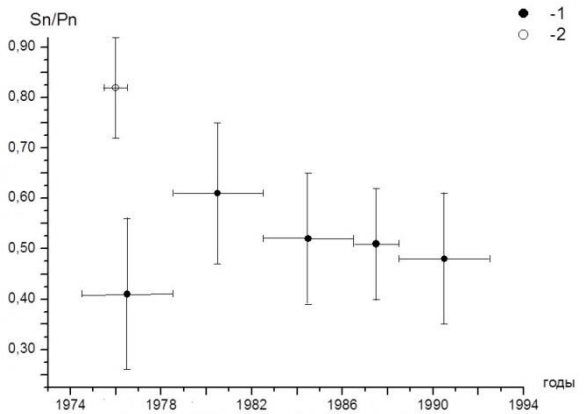
Стрелка – момент вступления изучаемой волновой группы. Верхняя трасса – площадка 1 (17.12.1978, 15-30-00), средняя – площадка 2 (16.04.1980, 20-00-00), нижняя – площадка 3 (10.12.1982, 15-20-00)

Рисунок 3. Примеры сейсмограмм ПЯВ, полученных станцией ANMO

В вариациях параметра Lg/Pg наблюдалась совершенно иная картина. Из рисунка 7 видно, что для площадки 1 эта величина резко упала в 1983 -1986 гг. по отношению к интервалу 1975 -1978 гг. (с -0.35 до -0.55), далее оставалась примерно на том же уровне. В то же время для площадки 2 параметр Lg/Pg монотонно возрастал (рисунок 8) в течение рассматриваемого отрезка времени (с -0.35 до -0.15). Для площадки 3 вариации этого параметра снова были наименьшими (между -0.34 в 1975 - 1978 гг. и -0.46 в 1987 - 1992 гг.) – рисунок 9.

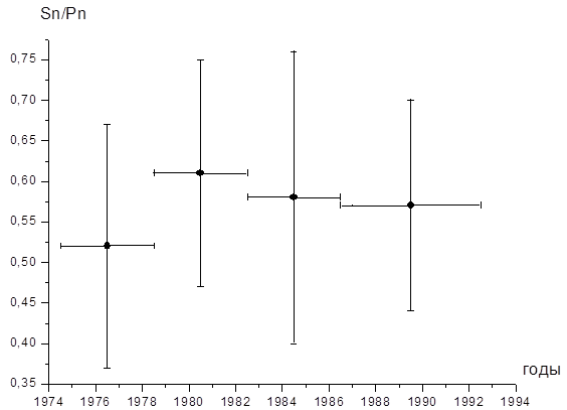
На рисунках 3 и 7 для сравнения показаны средние величины параметров Sn/Pn и Lg/Pg для землетрясений, полученные по данным для площадки 1 за 1976 г. Видно, что эти величины значительно (на 0.4 - 0.5 ед. лог.) выше, чем для ПЯВ за 1975-78 гг.

По станции TUC обработаны записи ПЯВ и землетрясений, полученные в 1992 - 2011 гг.



Пересекающиеся отрезки: горизонтальный – временной интервал осреднения данных; вертикальный – стандартное отклонение

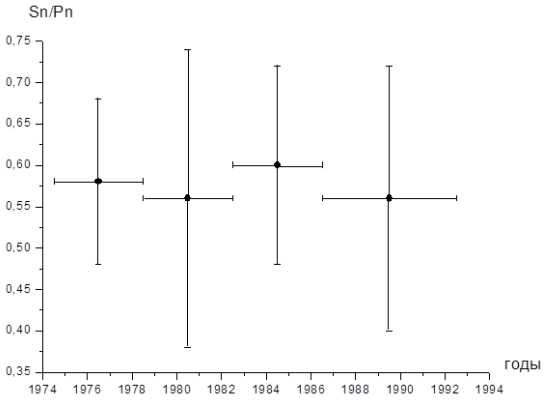
Рисунок 4. Площадка 1. Зависимость средних величин Sn/Pn от времени для ПЯВ (1) и землетрясений (2) (по записям станции ANMO)



Обозначения – на рисунке 4

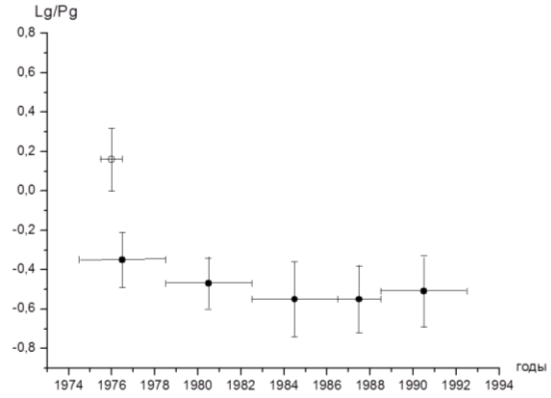
Рисунок 5. Площадка 2. Зависимость средних величин Sn/Pn для ПЯВ (по записям станции ANMO)

Из рисунков 10 и 11 следует, что для северной части НИЯП, куда входят все три площадки, для землетрясений средние величины Sn/Pn значительно (на 0.17 ед. лог.) выше, а Lg/Pg, наоборот, ниже (на 0.25 ед. лог.), чем для крайнего юга НИЯП, где ПЯВ практически не проводились. Сопоставление с данными по ПЯВ для площадок 1 и 2, полученными в 1992 г., показывает, что в данном случае средние величины Sn/Pn и Lg/Pg для землетрясений с с эпицентрами в северной части НИЯП выше, чем для взрывов, соответственно на 0.20 и 0.15 ед. лог.



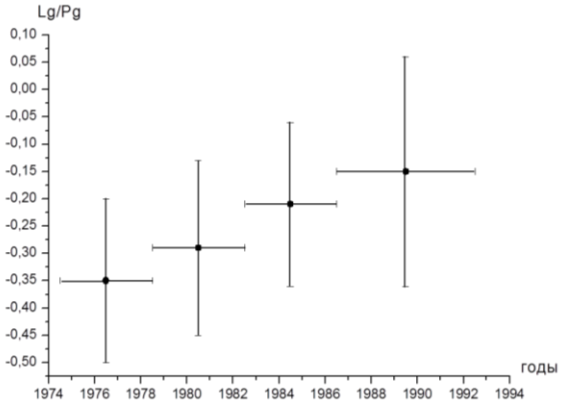
Обозначения – на рисунке 4

Рисунок 6. Площадка 3. Зависимость средних величин Sn/Pn от времени для ПЯВ (по записям станции ANMO)



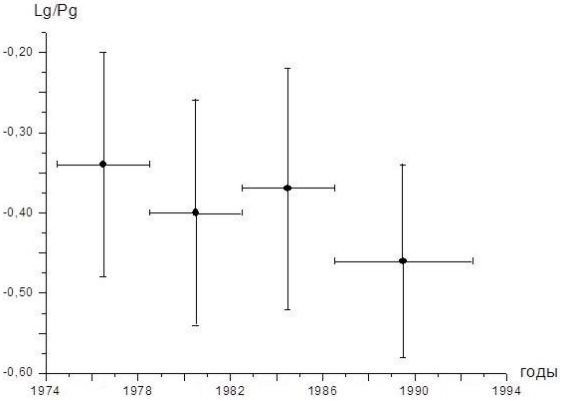
Обозначения – на рисунке 4

Рисунок 7. Площадка 1. Зависимость средних величин Lg/Pg от времени для ПЯВ и землетрясений (по записям станции ANMO)



Обозначения – на рисунке 4

Рисунок 8. Площадка 2.Зависимость средних величин Lg/Pg от времени для ПЯВ и землетрясений (по записям станции ANMO)



Обозначения – на рисунке 4

Рисунок 9. Площадка 3. Зависимость средних величин Lg/Pg от времени для ПЯВ и землетрясений (по записям станции ANMO)

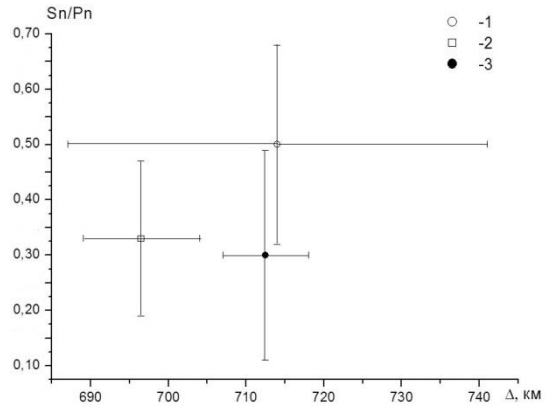
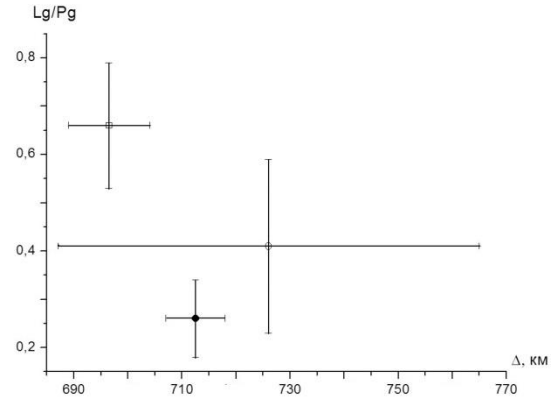


Рисунок. 10. Средние величины Sn/Pn для землетрясений на севере (1) и юге (2) НИЯП, а также для ПЯВ (3) (по записям станции TUC)



Обозначения – на рисунке 10

Рисунок. 11. Средние величины Lg/Pg (по записям станции TUC)

Рисунок 12 иллюстрирует зависимость параметра Sn/Pn от расстояния для профиля, проходящего через территорию НИЯП по записям станции TUC. Из графика следует, что для эпицентров землетрясений в области НИЯП средние величины Sn/Pn резко возрастают по отношению к областям к востоку и западу от полигона.

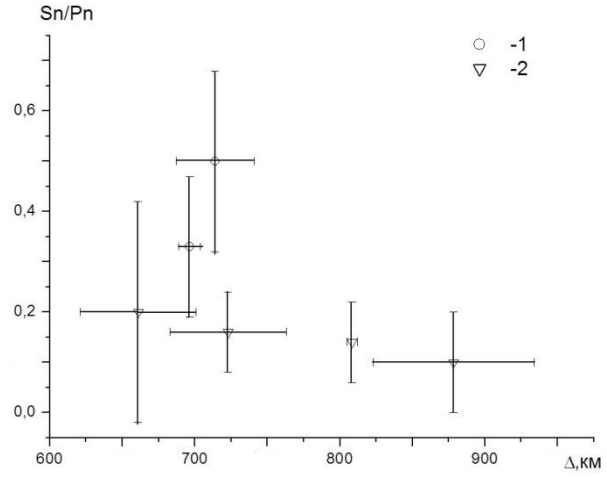
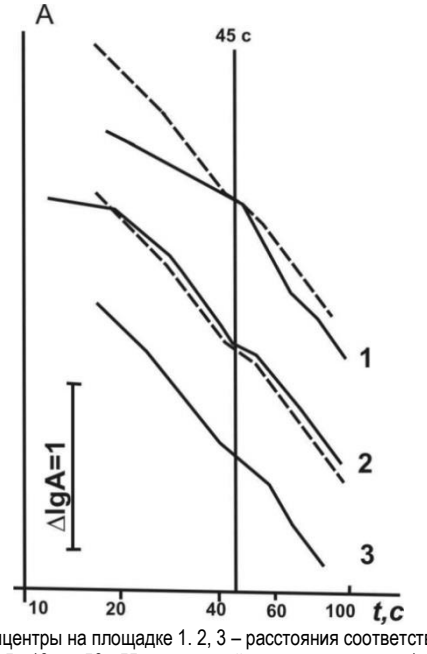


Рисунок 12. Зависимость средних величин Sn/Pn от расстояния для землетрясений в районе НИЯП (1) и вблизи полигона (2) (по записям станции TUC)

Анализ записей землетрясений и химического взрыва (станция TPNV). На рисунке 13 показаны общие огибающие S-коды записей местных землетрясений и химического взрыва. Станция расположена к югу от площадки 1, на расстоянии около 25 км от ее южной границы.

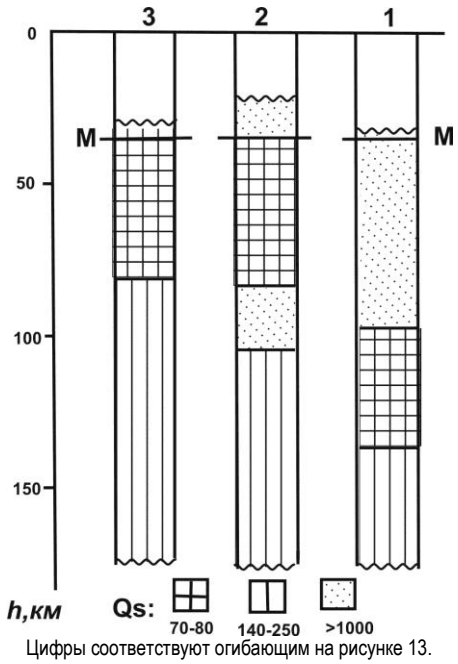


1 – эпицентры на площадке 1. 2, 3 – расстояния соответственно ~5 - 10 и ~ 50 - 55 км от южной границы площадки 1.
Пунктир – огибающая для самой южной области

Рисунок 13. Общие огибающие S-коды для землетрясений в районе НИЯП. Станция TPNV

Из рисунка 13 следует, что для эпицентров в области площадки 1 наблюдается отрезок очень слабого затухания амплитуд в коде при t=19 - 47 с, сопровождающийся участком достаточно быстрого затухания при t=47 - 64 с. Для эпицентров непосредственно к югу от площадки 1 на огибающих выделяется пологий участок при t=12 - 19 с, после которого амплитуды быстро затухают при t=19 - 43 с. Для еще более южных эпицентров (на расстояниях ~50 - 55 км от южной границы площадки 1 наблюдается отрезок быстрого затухания амплитуд при t=17 – 40 с. На рисунке 14 представлены разрезы поля поглощения для субмеридионального профиля. Точность определения глубин границ составляет ~5 км в нижней коре и ~10 км в верхах мантии. Видно, что для площадки 1 в верхах мантии, на глубинах ~35 - 100 км имеет место очень слабое поглощение (Qs>1000). В интервале глубин ~100 - 135 км добротность резко падает (Qs~70), еще глубже (h~135 - 180 км) поглощение снова уменьшается (Qs~200). К югу от площадки 1 наблюдается чрезвычайно слабое поглощение в нижней коре (h~20 - 35 км, Qs>2000) и относительно высокое – в верхах мантии (h~35 - 130 км, Qs=80). Глубже выделяется сравнительно тонкий слой (мощностью около 20 км) очень слабого поглощения (Qs>2000), под которым добротность снова резко падает (Qs~180).

Для эпицентров на расстояниях ~50 км к югу от границы площадки 1 на глубинах ~30 - 80 км наблюдается высокое поглощение (Qs~80), глубже добротность существенно возрастает (в диапазонах глубин ~80 - 115 и 115 - 180 км величины Qs равны соответственно 250 и 140).



Цифры соответствуют огибающим на рисунке 13.
Штриховка соответствует разным диапазонам вариаций параметра Qs

Рисунок 14. Разрезы поля поглощения S-волн в районе НИЯП

Из рисунка 14 следует, что в верхах мантии под площадкой 1 на глубинах до ~100 км поглощение S-волн гораздо слабее, чем к югу от нее.

Обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе НИЯП в период проведения ядерных испытаний наблюдались существенные временные вариации поля поглощения S-волн. Такие вариации могут быть связаны только с миграцией глубинных флюидов (подъем частично расплавленного материала, который также обеспечивает высокое поглощение S-волн, можно исключить из анализа, поскольку вязкость расплавов на много порядков больше вязкости флюидов).

Наиболее подходящая область для миграции глубинных флюидов – нижняя кора, которая в тектонически активных районах, как правило, характеризуется относительно высоким содержанием жидкой фазы, повышенной электропроводностью [18, 19] и сильным поглощением поперечных волн [20]. Кроме того, в таких районах выделяются и узкие зоны, насыщенные флюидами, которые могут рассекать практически всю литосферу (как правило, они связаны с глубинными разломами [20, 21]). По таким зонам флюиды могут подниматься в земную кору из верхов мантии [22 - 24].

Подъем флюидов в нижнюю кору и миграцию их в горизонтальном направлении можно объяснить длительным интенсивным техногенным воздействием на геологическую среду в результате не имеющей аналогов серии ПЯВ на полигоне. Вибрация приводит к увеличению проницаемости горных пород даже в модельных экспериментах [25]. Тем более этого можно ожидать на достаточно больших глубинах в земной коре и верхах мантии, где архимедова сила стремится выдавить флюиды к поверхности [26].

Проведем предварительную оценку величины сноса в нижней коре для лучей, по которым распространяются волны, формирующие группы Sn и Lg. Рассмотрим в первом приближении двухслойную модель среды с корой толщиной 35 км и средними скоростями S-волн в коре и верхах мантии соответственно 3.5 и 4.6 км/с. В этом случае критический угол падения $i_{пр}$ на границу M, который разграничивает трассы лучей, формирующих группы Sn и Lg, составляет ~49.5°. Для такого угла снос лучей в нижней коре, на глубинах 20 - 35 км составляет ~23 - 41 км. При меньшем сносе волны уходят в верхи мантии (формируется волна Sn), при большем – захватываются коровым волноводом (образуя группу волн Lg) [11, 13].

Из рисунков 4 - 6 следует, что наибольшие вариации параметра Sn/Pn соответствуют площадке 1, где было проведено 2/3 самых сильных взрывов (мощностью более 100 кт). Трассы от площадки 1 на станцию ANMO проходят через площадку 2, поэтому вариации данного параметра могут быть связаны с изменением структуры поля поглощения в областях обеих площадок. Резкий рост параметра Sn/Pn и более слабый для ПЯВ соответственно на площадках 1 и 2 в 1979 - 1982 гг. коррелируется с падением величин Lg/Pg для взрывов на площадке 1. Этот эффект можно объяснить подъемом флюидов из верхов мантии в нижнюю кору в областях обеих площадок, а также к востоку-юго-востоку от площадки 2. Такая интерпретация согласуется с очень слабым поглощением S-волн на глубинах 35 - 100 км в области площадки 1, выявленным по записям местных событий. Кроме того, об этом же свидетельствует и резкий рост параметра Sn/Pn по записям землетрясений в районе НИЯП для профиля, проходящего через полигон (станция TUC, рисунок 12). Характерно, что наиболее существенное изменение параметра Sn/Pn наблюдалось начиная с 1978 г., всего лишь через год после эпизода самого мощного энерговыделения на полигоне, приходящегося на 1975 - 1976 гг.

Постепенное падение величины параметра Sn/Pn для ПЯВ на площадках 1 и 2 после 1982 г., скорее всего, связано с новым эпизодом подъема флюидов в верхи мантии. Кроме того, рост средней величины Lg/Pg для ПЯВ на площадке 2 в 1979 - 1992 гг. может говорить о дополнительной миграции флюидов к этой площадке по нижней коре из области хр. Халфпинт, где волны, формирующие группу Lg, начинают проникать в нижнюю кору.

Для ПЯВ на площадке 3, где было проведено меньше всего наиболее мощных взрывов, величина параметра Sn/Pn за 17 лет практически не изменилась, а величина параметра Lg/Pg заметно упала только в 1987 - 1992 гг. Это может свидетельствовать о том, что флюиды не поднимались в нижнюю кору в области к востоку-юго-востоку от данной площадки, а миграция их по нижней коре в эту область началась сравнительно поздно – в конце 1980-х годов.

Анализ рисунков 10 и 11 показывает, что средние величины Sn/Pn и Lg/Pg для землетрясений за 1992 - 2011 гг. и ПЯВ за 1992 г. (по данным станции TUC) различаются гораздо меньше, чем для таких событий соответственно за 1976 и 1975 - 1978 гг. (по данным станции ANMO). Это может быть связано с продолжением подъема флюидов в верхи мантии и земную кору после прекращения длительной серии ПЯВ. Ранее аналогичный эффект был установлен для района полигона Лобнор [4].

Можно провести сопоставление общих характеристик поля поглощения в районах трех крупных ядерных полигонов. Ранее было показано, что в районе СИЯП, расположенном на тектонически стабильной Казахской платформе, сильное поглощение S-волн в начале 2000-х годов наблюдалось в земной коре и верхах мантии под площадкой Балапан, где проходят два крупных региональных разлома и где проводились наиболее сильные ПЯВ (мощностью до 165 кт [1]). ЛИЯП находится в сейсмически актив-

ном районе Восточного Тянь-Шаня, где известны землетрясения с M>7.0 [3]. Согласно нашим данным, за время ядерных испытаний с 1969 по 1996 гг. (всего было проведено 22 ПЯВ с максимальной мощностью 600 - 700 кт) здесь поглощение существенно выросло в верхах мантии, при этом осталось сравнительно слабым в земной коре [4, 27]. Наиболее естественное объяснение этих эффектов связано с различием проницаемости горных пород и общего энерговыделения в сериях ядерных испытаний в районах трех полигонов. В районе НИЯП, которому соответствует наиболее высокая проницаемость литосферы и самое большое энерговыделение, в конце 1970-х и начале 1980-х годов в значительной степени были осушены верхи мантии и в целом увеличилось содержание флюидов в земной коре. В районе СИЯП, где проницаемость литосферы наименьшая, но было проведено почти 350 ПЯВ, процессы миграции флюидов были достаточно интенсивными только в районе площадки Балапан, где они сконцентрировались в диапазоне глубин ~10 - 120 км [1]. В районе ЛИЯП, где проницаемость литосферы промежуточная, но общее энерговыделение было наименьшим, флюиды, по-видимому, сконцентрировались в верхах мантии и пока не поступили в значительных количествах в земную кору.

Полученные данные еще раз свидетельствуют о том, что длительное интенсивное техногенное воздействие вызывает нарушение равновесного состояния литосферы до достаточно больших глубин. Аналогичные эффекты подъема флюидов из верхней мантии наблюдаются после сильных тектонических землетрясений [22 - 24]. В обоих случаях эти процессы энергетически выгодны, поскольку в конечном счете приводят к уменьшению потенциальной энергии Земли.

Авторы выражают признательность IRIS DMC за предоставление цифровых сейсмических данных.

Литература

1. Копничев, Ю.Ф. Пространственно-временные вариации структуры поля поглощения поперечных волн в районе Семипалатинского полигона / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Физика Земли, 2001. – № 11. – С. 73 - 86.
2. Михайлов, В.Н. (ред.). Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР, 1949-1990 / В.Н. Михайлов // Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1996. – 68 с.
3. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных поперечных волн в литосфере Восточного Тянь-Шаня и их связь с сейсмичностью / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН, 2012. – Т. 442. № 6. – С. 821 - 824.
4. Копничев, Ю.Ф. Временные вариации поля поглощения S-волн в районах ядерных полигонов Лобнор и Новая Земля / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2012. – Вып.2. – С. 96 – 100.
5. Fisk, M. Accurate locations of nuclear explosions at the Lop Nor test site using alignment of seismograms and ICONOS satellite imagery / M. Fisk // Bull. Seismol. Soc. Amer, 2002. – V. 92. N 8. – P. 2911 - 2525.
6. United States Nuclear Tests: July 1945 through September 1992 // Department of Energy, Nevada Operations Office, Dec. 2000. U.S. DOE (Las Vegas, NV).
7. Адушкин, В.В. Подземные взрывы. / В.В. Адушкин, А.А. Спивак // М.: Наука, 2007. – 579 с.
8. Sinnock, S. Geology of the Nevada test site and nearby areas, southern Nevada. Sandia Report / S. Sinnock // SAND82-2207. 1982. – 59 p.
9. Kumar P. USArray receiver function images of the lithosphere-asthenosphere boundary / P. Kumar, R. Kind, X. Yuan, J. Mechie // Seismol. Res. Lett., 2012. – V. 83. N 3. – P. 486 - 491.
10. Грачев, А.Ф. Рифтовые зоны Земли / А.Ф. Грачев // Л.: Недра, 1977. – 247 с.
11. Копничев, Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля / Ю.Ф. Копничев // М.: Наука, 1985. – 176 с.
12. Molnar, P. Lateral variation of attenuation in the upper mantle and discontinuities in the lithosphere/ P. Molnar, J. Oliver // J. Geophys. Res., 1969. – V. 74 – P. 2648 - 2682.
13. Копничев, Ю.Ф. О природе короткопериодных сейсмических полей на расстояниях до 3000 км / Ю.Ф. Копничев, А.Р. Аракелян // Вулканология и сейсмология, 1988. – № 4. – С. 77 - 92.
14. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в литосфере Тянь-Шаня и Джунгарии и их связь с сейсмичностью / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН, 2010. – Т. 433., № 6. – С. 808 - 812.
15. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных поперечных волн в литосфере Центральной Азии и их связь с сейсмичностью / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН, 2011. – Т. 437, № 1. – С. 97 - 101.
16. Aptikaeva, O.I. Space-time variations of the coda wave envelopes of local earthquakes in the region of Central Asia / O.I. Aptikaeva, Yu.F. Kopnichev // J. Earthq. Predict. Res, 1993. – V. 2, N 4. – P. 497 - 514.
17. Адушкин, В.В. Изменения уровня подземных вод в результате проведения подземных ядерных взрывов / В.В. Адушкин, А.А. Спивак // Бюлл. ЦОИАЭ, 1993. – № 9. – С. 38 - 43.
18. Ваньян, Л.Л. О природе электропроводности консолидированной коры / Л.Л. Ваньян, Р.Д. Хайндман // Физика Земли, 1996. – № 4. – С. 5 - 11.
19. Bielinski,R. Lithospheric heterogeneity in the Kyrgyz Tien Shan imaged by magnitotelluric stidies / R. Bielinski [et al.] // Geophys. Res. Lett., 2003. – V. 30, N 15. doi: 10.1029/2003GL017455.
20. Бакиров, А.Б. (ред.). Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим, 2006. – С. 115.
21. Бердичевский, М.Н. Опыт интерпретации МТ-зондирований в горах Малого Кавказа / М.Н. Бердичевский, [и др.] // Физика Земли, 1996. – № 4. – С. 99 - 117.

22. Husen, S. Postseismic fluid flow after the large subduction earthquake of Antofagasta, Chile / S. Husen, E. Kissling // Geology, 2001. – V. 29. N 9. – P. 847 - 850.
23. Копничев, Ю.Ф. Пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Физика Земли, 2003. – № 7. – С. 25 - 34.
24. Копничев, Ю.Ф. Пространственно-временные вариации поля поглощения поперечных волн в верхней мантии сейсмически активных и слабосейсмичных районов / Ю.Ф. Копничев, Д.Д. Гордиенко, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология, 2009. – № 1. – С. 49 -64.
25. Барабанов, В.Л. О некоторых эффектах вибрационного сейсмического воздействия на водонасыщенную среду. Сопоставление их с эффектами удаленных сильных землетрясений / В.Л. Барабанов, А.О. Гриневский, И.Г. Киссин, А.В. Николаев // Докл. РАН, 1987. – Т. 297, № 1. – С. 53 - 56.
26. Gold, T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / T. Gold, S. Soter // Pure Appl. Geophys. 1984 / 1985. – V.122. – P. 492 - 530.
27. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в земной коре и верхах мантии в районе полигона Лобнор / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН, 2008. – Т. 420, № 2. – С. 239 - 242.

НЕВАДА ЯДРОЛЫҚ ПОЛИГОНЫ ЛИТОСФЕРАСЫНДА КӨЛДЕНЕҢ ТОЛҚЫНДАР ЖҰТЫЛУ ӨРІСІ ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ КЕҢІСТІК-УАҚЫТТЫҚ

[1)]Копничев Ю.Ф., [2)]Соколова И.Н., [3)]Соколов К.Н.

[1)]РҒА Жер физикасы мнституты, Ресей
[2)]Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан
[3)]Санкт-Петербур мемлекеттік технологиялықинституты, Ресей

Үш сейсмикалық станцияларымен 1975-2012 ж.ж. 1000 км. дейін эпиорталықтық қашықтықтарында алынған жерасты ядролық жарылыстар мен жерсілкінулердің жазбалары негізінде Невада сынау полигоны ауданында қысқа периодты көлденең толықндар жұтылу өрісінің сипаттамаларын талдау нәтижелері келтіріледі. Sn және Pn, Lg және Pg толқындардың амплитудаларының қатынастарын, сондай-ақ жақындағы оқиғалардың жазбаларының S-кода орайжанауыштарын талдауымен байланысты әдістер қолданылған. НСЯП ауданында ядролық жарылыстарды жүргізу кезеңінде жер қыртысы мен мантияның жоғарында жұтылу өрісі құрылымының едәуір уақыттық вариациялары байқалғаны көрсетіледі. Ең қатты вариациялары, ең қуатты жарылыстардың ~2/3 жүргізілген, Пахута Меса облысында болған. Алынған деректері, жұтылу өрісі құрылымының уақыттық өзгерістері тереңдегі флюидтер жылыстауымен байланысты болу туралы куәландырады. Үш ірі ядролық полигондардың аудандарында жұтылу өрісінің жалпы сипаттамалары салыстырылған.

SPATIO-TEMPORAL VARIATIONS OF SHEAR WAVE ATTENUATION FIELD IN THE LITHOSPHERE OF THE REGION OF NEVADA TEST SITE

[1)]Yu.F. Kopnichev, [2)]I.N. Sokolova, [3)]K.N. Sokolov

[1)]Institute of the Earth Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2)]Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan
[3)]Sankt-Petersburg's State Technology Institute, Russia

We have been studying characteristics of short-period shear wave attenuation field in the region of Nevada nuclear test site (NNTS). We considered recordings of underground nuclear explosions (UNEs) and earthquakes, obtained by three seismic stations in 1975 - 2012 at epicentral distances up to 1000 km. We used methods, based on an analysis of amplitude ratios of Sn and Pn, Lg and Pg waves and also S coda envelopes from recordings of local events. It was shown, that essential temporal variations of attenuation field structure in the earth's crust and uppermost mantle were observed in the region of NNTS during nuclear tests conducting. The strongest variations took place for the UNEs in the Pahute Mesa area, where about 2/3 of the most powerful explosions have been conducted. The data obtained testifies to deep fluid migration, which leads to temporal variations of the attenuation field. We compare common characteristics of the attenuation field in the regions of three large nuclear test sites.

УДК 550.8:621.039.9(24)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СИП ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКОВ БАЛАПАН И САРЫ-УЗЕНЬ)

Шайторов В.Н., Казакова Ю.И., Великанов А.Е., Жолдыбаев А.К.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Показана эффективность применения комплекса геолого-геофизических методов для картирования экологически значимых особенностей структурно-тектонической обстановки и поствзрывной нарушенности геологической среды под воздействием подземных ядерных взрывов (ПЯВ). С использованием результатов такого комплексного исследования построены схемы геоэкологического районирования для двух участках Семипалатинского испытательного полигона, которые являются первыми и основными для более целенаправленного изучения, оценки и прогноза экологических опасностей, связанных с проведенными ПЯВ.

ВВЕДЕНИЕ

Территория СИП является местом длительного техногенного воздействия подземных ядерных взрывов (ПЯВ) [1]. Потенциальную опасность для окружающей среды, согласно [2 - 7], представляют проявленность на этой территории современных геодинамических природно-техногенных процессов (обрушение полостей, повышение нарушенности среды, провалы, оседания территории и дифференцированные движения земной коры), неконтролируемое распространение радионуклидного загрязнения в недрах, а также выбросы токсичных газов в атмосферу в районах проведения ПЯВ.

Большинство результатов, характеризующих современную экологическую ситуацию в местах поведения ПЯВ, базируется на данных, относящихся к дневной поверхности и в основном состоянию почвы, воздушной среды, водных поверхностных источников. Для геолого-геофизической и геоэкологической оценки геологических разрезов до глубин проведения ПЯВ и ниже в течение нескольких лет проводились работы, результатом которых стали построенные схемы геоэкологического районирования двух испытательных участков на СИП – Балапан и Сары-Узень. Перед геоэкологическим районированием ставилась задача выявления и ранжирования экологически напряженных областей на основе комплексного геолого-геофизического изучения, рекомендуемых для детального изучения и мониторинга экологически значимых особенностей глубинного строения и поствзрывных геологических процессов.

МЕТОДИКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

В методическом плане процедура геоэкологического районирования территорий проведения ПЯВ включала:

– Подготовку электронной топографической карты масштаба 1:200 000 в качестве основы для составления схем и карт районирования.

– Построение структурно-тектонической схемы по результатам автоматизированного и визуального дешифрирования космоснимков, с использованием геологической карты масштаба 1:50000, данных дипольного электрического профилированию (ДЭП), а также сведений о техногенных проявлениях в районе скважин с ПЯВ.

– Построение серии покомпонентных (тематических) схем районирования участка по: 1) прочностным свойствам и эффективной пористости пород фундамента; 2) тектонической напряженности и обводненной трещиноватости фундамента; 3) степени неустойчивости геологической среды к техногенному воздействию ПЯВ; гидрогеологическим условиям; 4) площадному распределению ПЯВ и мощности ядерных зарядов (показатель внешнего деструктивного действия).

– Расчет количественного значения интегрального показателя поствзрывного влияния ПЯВ с привлечением метода формализованных оценок [10] и с использованием данных структурно-тектонической и покомпонентных схем районирования. нормированием измеренных физических величин и численных геологических характеристик на их максимальные значения.

– Выделение участков по трем градациям значений интегрального параметра: 0 - 0.4 (в интервале стандартных отклонений от среднего); (>0,4) – (>0,6); 0,6 – 1.0, – которым соответствуют области несущественной, повышенной и максимальной проявленности поствзрывного влияния ПЯВ на геологическую среду.

– Построение геоэкологических схем и разрезов интегральному показателю неустойчивости и внешнего воздействия (ПНВ).

– Выделение участков и площадок для первостепенного детального обследования.

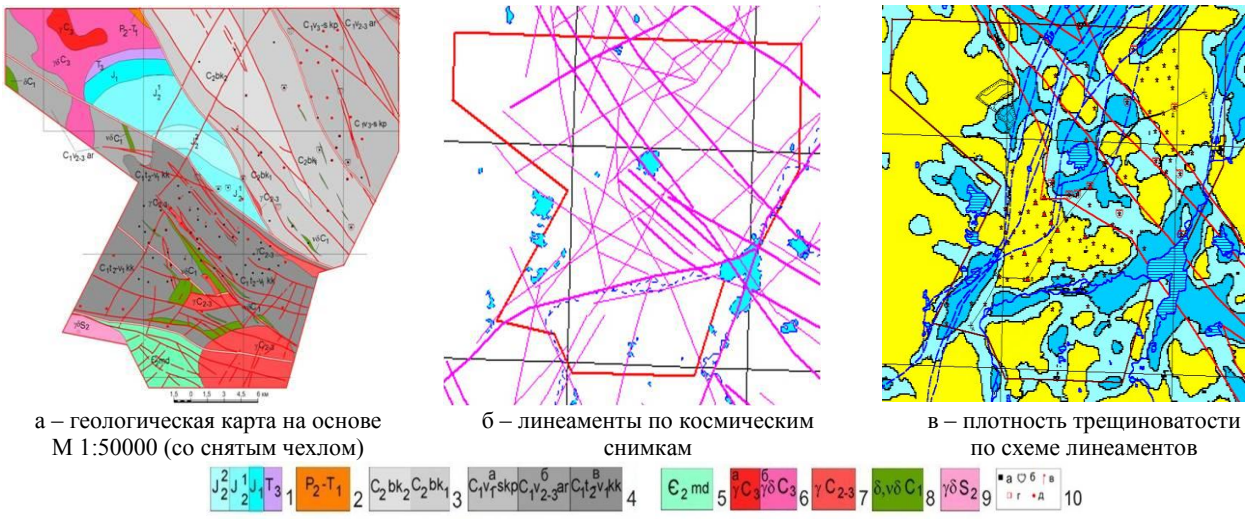
Участок Балапан

Согласно [1] за весь период проведения испытаний с 1965 по 1989 гг. на участке Балапан выполнено 112 подземных ядерных взрывов при глубине заложения ядерных зарядов от 178 до 642 м мощностью от 1 до 212 кт. Общая мощность всех взорванных зарядов составила 8254 кт. Ядерные взрывы выполнялись в осадочных, вулканоногенно-осадочных и интрузивных породах, перекрытых осадочным песчано-глинистым чехлом мощностью от первых метров до 70 - 80 м.

В 2004 – 2008 гг. примерно на 60% площади участка проведены полевые геофизические исследования. По 7 протяженным профилям протяженностью от 12 до 34 км, проложенным через наиболее напряженные части участка – центральную и северо-восточную, – изучен геологический разрез до глубины порядка 1000 м.

В геологическом отношении (рисунок 1-а) участок сложен нижне-каменноугольными осадочными и метаморфическими отложениями – глинами, песчаниками, алевролитами и кристаллическими сланцами. В центральной его части картируются выходы на поверхность интрузивных образований – средне-верхне-каменноугольных гранитов и диоритов. Породы разбиты на блоки региональными разломами преимущественно северо-западного простирания. На рисунке 1-б приведена схема линеаментов по результатам автоматизированного дешифрирования линеаментов на космоснимках высокого разрешения, а на рисунке 1-в – схема плотности линеаментов в градациях яркости. Плотность линеаментов рассчитана с использованием программы автоматизированного выделения непротяженных линеаментов и построена как отношение суммарной длины линеаментов к единице площади, равной 1 кв. км. Как видно из рисунков 2-б, в, в результате дешифрирования космоснимков диагностировано большое количество линеаментов, разного масштаба и различной ориентировки. Основная часть разрывных структур имеет северо-западное направление и совпадает с наиболее крупными тектоническими зонами общей шириной до 2 - 4 км. Практически все боевые скважины, имеющие приустьевые воронки, расположены в тектонически ослабленных зонах.

Важным для геоэкологического районирования является выявление протяженных линеаментов СВ простирания, отнесенных к разрывным структурам, которые могут определять пути стока подземных вод в северном и СВ направлениях. В пределах участка Балапан по космодешифрированию выявлены также палеорусла р. Шаган в виде зоны шириной 0,5 – 1 км.



а – геологическая карта на основе М 1:50000 (со снятым чехлом)

б – линеаменты по космическим снимкам

в – плотность трещиноватости по схеме линеаментов

Рисунок 1. Участок Балапан. К характеристике геологического строения и тектоники

Информационная геолого-геофизическая основа

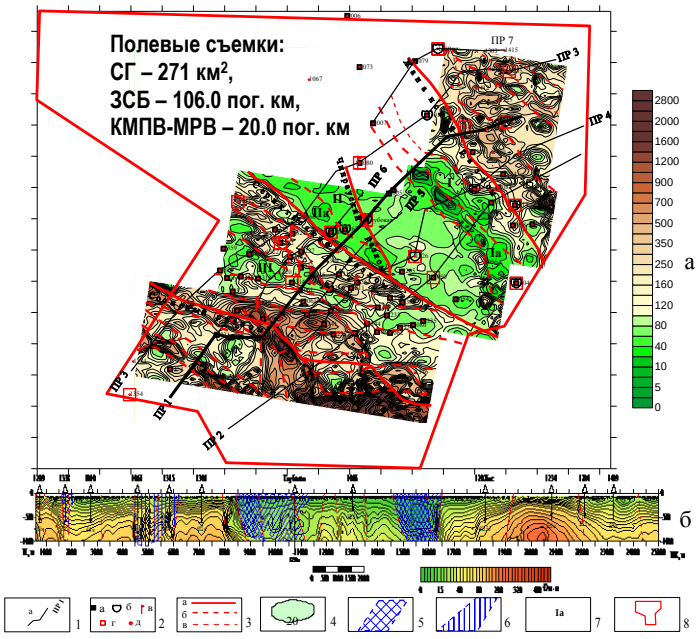
Основу структурно-тектонической схемы составили результаты автоматизированного и визуального дешифрирования космоснимков, геологическая карта масштаба 1:50000, данные по дипольному электрическому профилированию (ДЭП) и сведения о техногенных проявлениях в районе скважин ПЯВ. Геологическими факторами, дестабилизирующими геоэкологическую обстановку и усиливающими геоэкологические риски в связи с множеством ПЯВ являются:

– тектоническая трещиноватость, обуславливающая наличие ослабленных водопроницаемых участков разреза, представляющих собой потенциальные каналы миграции радионуклидов и усиливающая риски активизации деструктивных процессов (обрушение и разгерметизация полостей и повышение нарушенности среды);

– обводненность пород скального фундамента, усиливающая риски разрушения ядерных полостей и распространения радионуклидного загрязнения за пределы мест их образования в процессе ПЯВ;

– наличие углефицированных пород в районах гипоцентров ПЯВ обуславливающая возможность генерации горючих газов с последующим их выбросом в атмосферу.

Для повышения достоверности трассирования отдельных элементов тектонических структур, особенно в местах перекрытых осадочным чехлом, и оценки обводненности пород скального фундамента на территории участка выполнены площадные и профильные съемки методами электроразведки срединного градиента вызванной поляризации (СГ-ВП, 271 км^2), зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ, 106 пог. км) и сейсморазведки методом преломленных (рефрагированных) волн (КМПВ-МРВ, 20 пог. км). В результате этих съемок (рисунок 2) установлена существенная неоднородность скального фундамента по электрическому сопротивлению, изменяющегося в широких пределах – от единиц до нескольких тысяч Ом·м. На рисунке 2 приведены результаты трассирования основных тектонических структур, в том числе под осадочным чехлом, а также результаты оценки обводненности пород скального фундамента.



1 - геофизический профиль; 2 - боевая скважина: а - с гипоцентром ПЯВ в горных породах, содержащих углефицированные образования, б - с визуально наблюдаемой воронкой, в – с газовыделением, г – с радиоактивным загрязнением приустьевой площадки, д – без углистых пород и без аномальных явлений; 3 - разломы: а - региональный, б - по геофизическим данным, в - предполагаемый; 4 - изолинии электрического сопротивления (в Ом·м); 5 – зона аномально высокой электропроводности (водонасыщенности) по данным ЗСБ; 6 - контур аномалии фазового параметра поляризуемости и повышенной электропроводности 7 – зона высокой водонасыщенности по данным СГВП; 8 - контур участка Балапан

Рисунок 2. Участок Балапан. Структурно-тектоническая обстановка и обводненность пород фундамента по данным электро- и сейсморазведки

С учетом геологической ситуации и данных ЗСБ, высокоомные поля $\rho_К$ в южной и юго-восточной части участка пространственно связаны с выходами гранитов Жусалинского массива, а развитые в его обрамлении области относительно пониженных значений $\rho_К$ коррелируются с окремненными песчаниками и кислыми эффузивами коконьской свиты, прорванных дайками гранитов, диоритов, базальтовых порфиритов и отдельными телами гранитов. В северной части участка полоса повышенных значений $\rho_К$ увязывается с осадочно-вулканогенной толщей кокпетинской свиты, прорванной интрузиями и дайками гранитов, гранодиоритов и диоритовых порфиритов. Промежуточные значения электрического сопротивления характерны для эффузивно-осадочных пород, а минимальные – для разуплотненных и обводненных, а также углистых пород. Из приведенного анализа поля распределения электрического сопротивления по изученной площади следует, что параметр электрического сопротивления характеризует не столько вещественный состав пород, сколько их водопроницаемость. При этом высокоомные поля могут быть интерпретированы как обусловленные блоками горных пород, слабопроницаемыми и устойчивыми к деструктивному действию ПЯВ.

Характерной особенностью распределения поля $\rho_к$ является наличие областей с пониженными аномальными значениями в центральной части участка между Сериктасским и Жананским региональными разломами. В этой области минимальными значениями кажущегося электрического сопротивления характеризуются две группы зон: I, I-а, расположен-

ные между Чинрауским и Жананским разломами, включающие боевые скважины 1007, 1203, 1053, 1087, 1004, 1056 и II, II-а расположеные между Сериктасским и Чинрауским разломами. В контуры этих зон входят боевые скважины 1207, 1267, 1206, Глубокая (газовыделяющая),. Геологический разрез в этих зонах сходный и представлен осадочными образованиями, в которых кроме песчаников, конгломератов, алевролитов присутствуют углистые сланцы. Наличие таких пород, видимо, спровоцировало взрыв в скважине Глубокая и продолжающееся газовыделение в скважине 1080. В районе эпицентра скважины 1267 наблюдается проседание дневной поверхности с формированием провальной воронки. Таким образом, очевидно, что и эта группа скважин находится в условиях, благоприятных для развития потенциально опасных поствзрывных процессов, следствием которых может быть не только разрушение полостей, но и возгорание выделяющихся газов. Кроме того, в пределах тектонических структур, между Сосновым и Сериктасским разломами, установлена электропроводящая зона III. Особенностью большинства скважин, входящих в эту зону (1359, 1326, 1400, 1312, 120, 1314, 1061, 1328, 1315, 1233, 1086, 1335) является наличие углефицированных пород на глубинах проведения ПЯВ, а в некоторых (1328, 1315) – газовыделение.

В целом выполненные электроразведочные съемки позволили не только существенно уточнить тектоническую обстановку, но и повысить надежность трассирования отдельных элементов тектонических структур, особенно на участках, перекрытых осадочным чехлом. Кроме того, представилась возможность отранжировать территорию участка по поствзрывной водопроницаемости и углефицированности пород фундамента, в том числе блоков, где были проведены ПЯВ и, тем самым, определить области с повышенной вероятностью дестабилизации обстановки в недрах.

Разработка схемы геоэкологического районирования по отдельным компонентам (тектоно-вещественной, гидрогеологической и нешнего воздействия)

Учитывая множественность и разнородность факторов и показателей экологических рисков, для геоэкологического ранжирования среды привлечен метод формализованных оценок [8]. Суммарная оценка покомпонентного изменения геологической среды выполнена через площадную ожидаемую изменённость [9]. При этом использовались градации относительных параметров, рекомендованных для проведении экологических экспертиз [10]. Реализация такого подхода к оценке геоэкологических рисков по компонентам геологической среды участка включала преобразование графических и текстовых данных в числовую форму и относительные параметры. Такое преобразование обеспечивало возможность статистического сопоставления и совместного анализа возможно большего количества типов описательных характеристик и измеренных физических параметров, изменяющихся от первых единиц процентов (эффективная пористость в %) до $n\times10^5$ (предел прочности в МПа). В числовую форму преобразовывались описательные геологические данные, сведения по проявленности поствзрывных процессов и явлений, а также результаты дешифрирования (в виде линеаментов обводненных ослабленных структур) космических снимков. Относительные параметры рассчитывались путем нормирования измеренных физических величин и численных геологических характеристик на их максимальные значения. При этом распределение таких параметров изменялось по всей его площади в диапазоне от 0 до 1.

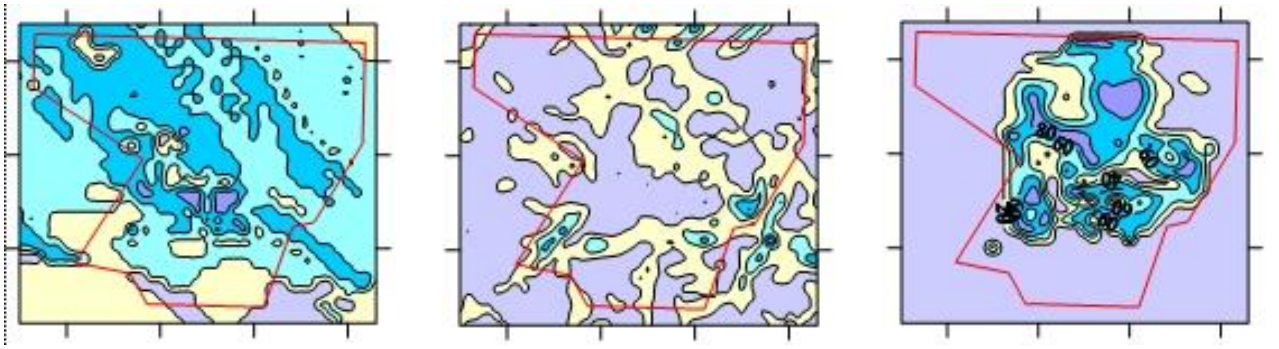
Ранжирование представляло собой процедуру определения уровня нормального поля и оконтуривание аномальных зон для каждого из мультипликативных параметров с учетом дисперсии их значений. При этом области, где значения параметров не превышали пределы стандартных отклонений $\pm\sigma$ (где σ – величина стандартного отклонения от среднего), принимались за относительно нормальные условия. Значения параметров в интервале $(1 – 2)\sigma$ характеризовали зоны с тенденций к дестабилизации геоэкологической обстановки, а значения параметров более 2σ оконтуривали зоны явного проявления дестабилизации геоэкологической обстановки в показателе соответствующего компонента. Были составлены схемы, характеризующие распределение в плане следующих параметров: прочностных свойств и эффективной пористости пород фундамента; тектонической напряженности и обводненной трещиноватости в фундаменте; степени неустойчивости геологической среды к техногенному воздействию ПЯВ; экологически значимым особенностям гидрогеологических условий; плотности распределения ПЯВ по площади и мощности ядерных зарядов (показатель внешнего деструктивного воздействия) и связанного с ними радионуклидного загрязнения недр; степени проявленности поствзрывных процессов, связанных с повышением техногенной нарушенности, радиоактивным загрязнением и общей нестабильностью блоков геологической среды, подвергавшейся механическому воздействию ПЯВ. На рисунке 3 приведены примеры некоторых покомпонентных схем районирования.

Анализ покомпонентных схем районирования показал существенную дифференциацию геологической среды по физическим и геологическим характеристикам. Эти же схемы иллюстрируют пространственную связь между проявлениями экологически опасных процессов в недрах и особенностями геологического строения, техногенной нарушенностью и общей нестабильностью блоков геологической среды, длительное время подвергавшейся механическому воздействию ПЯВ.

Показателями предрасположенности недр участка к негативным изменениям геоэкологической обстановки выступают наличие областей с пониженными значениями прочности горных пород и повышенной их пористостью, а также зональная тектоническая напряженности и обводненность пород фундамента. Из гидрогеологических показателей следует отметить наличие областей с водоупорными глинами, препятствующими загрязнению вод, а также областей разгрузки трещинно-поровых вод в трещинные воды. Оценить деструктивное действие ПЯВ на отдельные блоки геологической среды позволяет схема районирования по поглощенной энергии упругих деформаций.

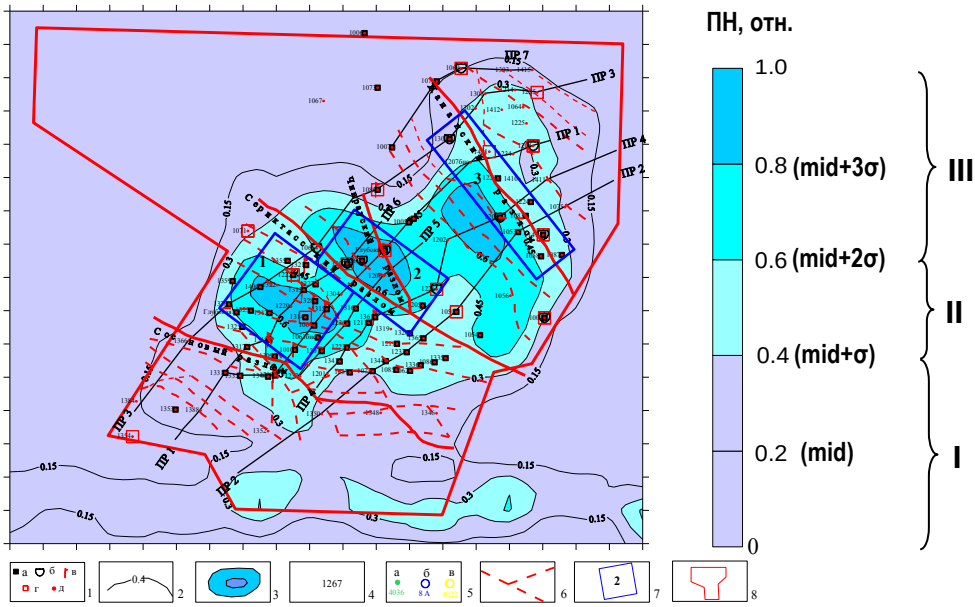
Схема геоэкологического районирования и ранжирование участков

На рисунке 4 приведена схема районирования, составленная по совокупности геолого-геофизических показателей, характеризующих дестабилизирующие факторы геологического строения, физические свойства пород, воздействие ПЯВ и поствзрывных процессов. Результаты районирования отражают распределение по площади поля суммарного относительного показателя неустойчивости геологической среды к воздействию ПЯВ (в тектоно-вещественных характеристиках) и совокупной проявленности факторов внешнего воздействия и поствзрывных процессов.



а – прочностные свойства б – обводненная трещиноватость в – углефицированность горных пород

Рисунок 3. Районирование участка Балапан по экологически значимым физико-механическим свойствам горных пород скального фундамента, особенностям геологического строения техногенному воздействию ПЯВ



mid – среднее значение (0.2); σ – стандартное отклонение от среднего (±0.2). 1 – боевая скважина: а - с гипоцентром ПЯВ в углефицированных горных породах; б - с визуально наблюдаемой воронкой; в – с газовыделением; г – с радиоактивным загрязнением приустьевой площадки; д – без углистых горных пород и без аномальных проявлений; 2 – изолинии (в у.е.) суммарного относительного показателя неустойчивости и внешнего воздействия (ПНВ); 3 – контур повышенных и максимальных значений ПНВ; 4 – номер боевой скважины; 6 – основные тектонические нарушения; 7 – площадка повышенной экологической напряженности, выделенная для детального обследования; 8 – контур участка Балапан. I, II, III - области с минимальным, повышенным и максимальным рисками активизации потенциально опасных поствзрывных процессов

Рисунок 4. Участок Балапан. Схема районирования по интегральному относительному показателю неустойчивости и внешнего воздействия (ПН) ПЯВ

При этом фоновые значения показателя от 0 до 0.4 (в интервале стандартных отклонений от среднего) интерпретировались относительно устойчивой к воздействию ПЯВ геологической средой с минимальной реакцией на такое воздействие. В контур с таким интервалом значений суммарного показателя входит всего лишь 12% провальных и газовыделяющих скважин.

По максимальным значениям показателя неустойчивости геологической среды к воздействию ПЯВ (0.6 - 1.0) выделены три области.

Центральная (2 на рисунке 4) – расположена в мульдовой структуре зоны сочленения Чинрауского и Сериктасского региональных разломов и охватывает скважины 1207, 1267 и Глубокая, где наиболее развиты провальные явления и радиоактивное загрязнение дневной поверхности. К этой же области отнесена группа компактно расположенных газовыделяющих скважин 1222, 1321, 1313, 1328, 1315, тяготеющих к региональному Сосновому разлому и тектонически напряженному узлу в Тюресорском грабене.

Вторая область (1 на рисунке 4) включает газовыделяющие скважины 1318, 1010, 1209, прилегающие к центральной области с юго-запада. Характерной особенностью боевых скважин, входящих в эти области, является присутствие углефицированных пород, а также расположение здесь 50% всех провальных и газовыделяющих скважин ПЯВ. Радионуклидное загрязнение подземных вод в этих областях оценивалось только в пространстве, прилегающем к скважинам 1314, 1315 и 1061-бис, где установлено наличие трития и стронция в количестве, не превышающем ПДК.

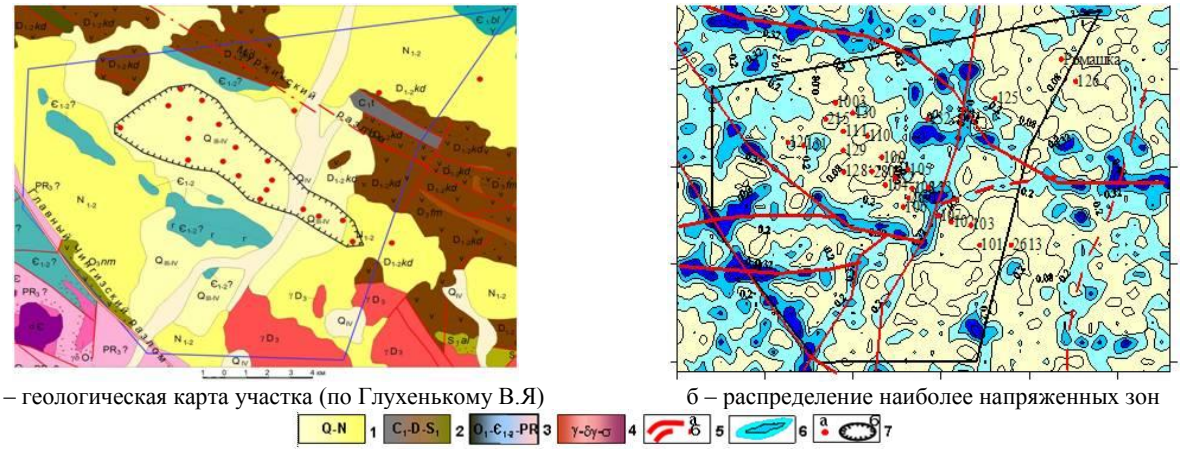
В третью область (3 на рисунке 4) входят скважины 1203, 1414, 1301 и 1069, расположенные на северо-восточном фланге участка, где ПЯВ проведены также в основном в углефицированных породах и где размещены 38% провальных и газовыделяющих площадок из общего их количества на участке. Характерной особенностью этой области является наличие радионуклидов в подземных трещинно-поровых водах в концентрациях намного превышающих ПДК. Существенно, что область радионуклидного загрязнения пространственно увязывается со створом скважин 1412, 1301,1203 и 1414, расположенных в зоне влияния Жананского разлома.

По распределению максимальных значений показателя неустойчивости и внешнего воздействия выделены следующие три области повышенных геоэкологических рисков, связанных: с газовыделением (центральная 1 – скважины 1315, 1328, 1313, 1222, 1321, юго-западная 2 - скважины 1318, 1010, 1209); с радионуклидным загрязнением недр (центральная 1 – скважины 1207, 1267, Глубокая, северо-восточная 3 – скважины 1203, 1414, 1301, 1069).

По совокупной проявленности природных и техногенных факторов, а также с учетом рекомендаций ПНАЭГ-05-035-94 на основе построенной схемы геоэкологического районирования составлен каталог площадок и скважин, рекомендуемых для детального изучения и их мониторинга.

УЧАСТОК САРЫ-УЗЕНЬ

Всего на участке Сары-Узень в 1965 – 1980 гг. ПЯВ проведены в 24-х вертикальных скважинах на глубинах 185 – 427 м при мощности взрывов до 20 кт (два взрыва – до 80 кт), а также осуществлен мирный ядерный взрыв с выбросом грунта на глубине 48 м мощностью 1,1 кт [1]. Скважины, в которых производились подземные ядерные взрывы, пробурены в девонских осадочных и вулканогенных породах, практически повсеместно перекрытых неогеновыми и четвертичными песчано-глинистыми отложениями (рисунок 5).



а – геологическая карта участка (по Глухенькому В.Я)

б – распределение наиболее напряженных зон

1 – песчано-глинистые отложения; 2 – известняки и песчаники C_1-D_3, лавы и туфы D_{1-2}, конгломераты, гравелиты и песчаники S_1; 3 – кремнистые и эффузивно-осадочные породы O_1-$Є_{1-2}$, зеленые сланцы и микрокварциты PR_3?; 4 – интрузивные породы D_3- $Є_{1-2}$ (граниты, граносиениты, гранодиориты, гипербазиты); 5 – тектонические нарушения по геолого-геофизическим данным и космодешифрированию: основные (а), предполагаемые (б); 6 – изолинии плотности тектонических нарушений по данным космодешифрирования; 7 – скважины ПЯВ (а) и контур их плотного расположения (б)

Рисунок 5. Участок Сары-Узень. К геологической и тектонической характеристике территории

Информационная геолого-геофизическая основа

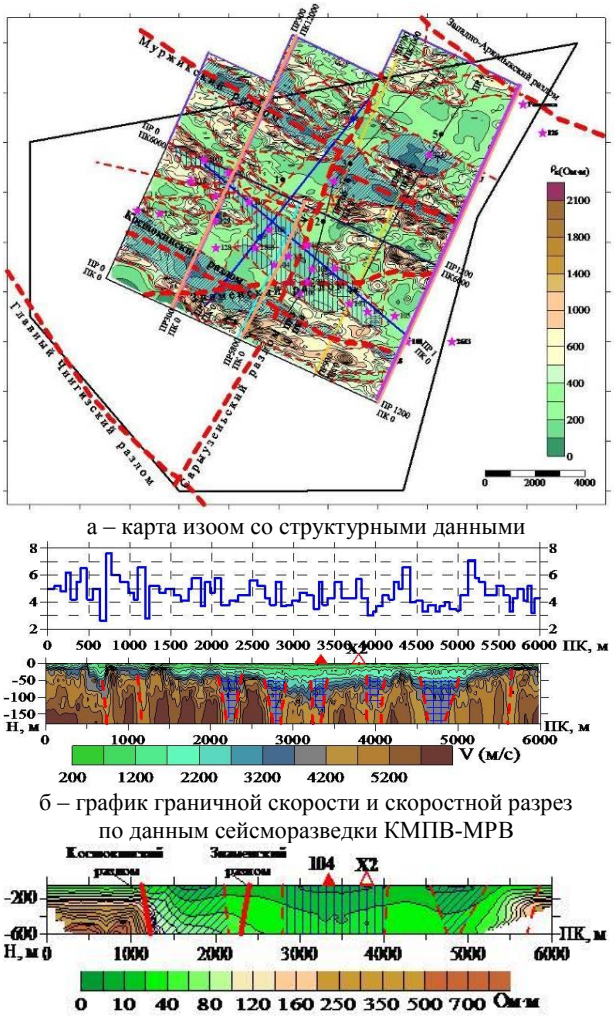
Геологические сведения по боевым скважинам отсутствовали, за исключением скважины 1003 глубиной 101 м, разрез которой слагают четвертичные аллювиально-пролювиальные супеси, суглинки, щебень, дресва (интервал 0 - 3,7 м), неогеновые глины с гипсом и гравием (3,7 - 21 м), мезозойская кора выветривания (21 - 25,5 м) и девонские песчаники с маломощными дайками диабазов (25,5 - 101 м). Имеются скважины с явными проявлениями приустьевых воронок (например, скважина 104). Радионуклидное загрязнение более 15 мкР/час установлено на площадках 16 скважи. Характерной особенностью территории участка является закрытость большей его части осадочным чехлом.

В качестве информационной основы для геоэкологического районирования использованы космические изображения участка (результаты дешифрирования и интерпретации данных); комплексные геофизические съемки (результаты уточнения тектонического строения участка в целом и особенностей деструктивного воздействия ПЯВ в отдельных блоках, вмещающих скважины ПЯВ).

По данным дешифрирования космоснимков (рисунок 5-б) выявлены и протрассированы ослабленные зоны развития тектонических зон. В 2009 – 2011 гг. примерно на 70% территории участка проведены полевые геофизические исследования по 5 протяженным профилям (протяженностью до 12 пог. км) с охватом северо-восточной и центральной частей, а также работы на отдельных площадках. Для уточнения структурно-тектонической обстановки участка выполнены площадные и профильные электроразведочные съемки методами электроразведки срединного градиента вызванной поляризации (СГ-ВП, 150 км^2), зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ, 46 пог. км) и сейсморазведки методом преломленных (рефрагированных) волн (КМПВ-МРВ, 61 пог. км).

На рисунке 6 приведены результаты изучения структурно-тектонической обстановки (под осадочным чехлом и при практическом отсутствии геологических данных по участку), а также результаты оценки обводненности пород скального фундамента на глубине до 500 м.

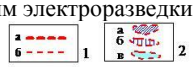
Из результатов электроразведки следует, что на участке Сары-Узень, также как на участке Балапан, параметр электрического сопротивления характеризует не только вещественный состав разреза, но и его водопроницаемость и обводнённость. Система обводнённых зон в породах скального фундамента, подтвержденная данными сейсморазведки и имеющая природно-техногенное происхождение, показана на рисунке 6-а. Обводненные зоны могут являться путями миграции радионуклидов, так как связаны между собой субмеридиональными разломами (Сарыузеньским и более мелкими), также проявленными в геофизических полях. Важным результатом съемки является выделение электропроводящей зоны в породах скального фундамента, протяженной в северо-западном направлении (в створе скважин 109 – 102). С учетом данных сейсморазведки КМПВ-МРВ эта электропроводящая зона проинтерпретирована как обводненная трещиноватая структура, а расположенные в ней блоки скважин ПЯВ определены как первоочередные для детального изучения.



а – карта изоом со структурными данными

б – график граничной скорости и скоростной разрез по данным сейсморазведки КМПВ-МРВ

в – разрез изоом с элементами тектонического строения по данным электроразведки СГ и ЗСБ



1 – разломы: а – региональные, б – по геолого-геофизическим данным; 2 – области распространения ослабленных обводнённых тектонических структур в скальном фундаменте: в зонах влияния разломов (а), пространственно увязываемые с положением скважин ПЯВ (б) по данным электроразведки, в – по понижению скорости упругих волн в фундаменте

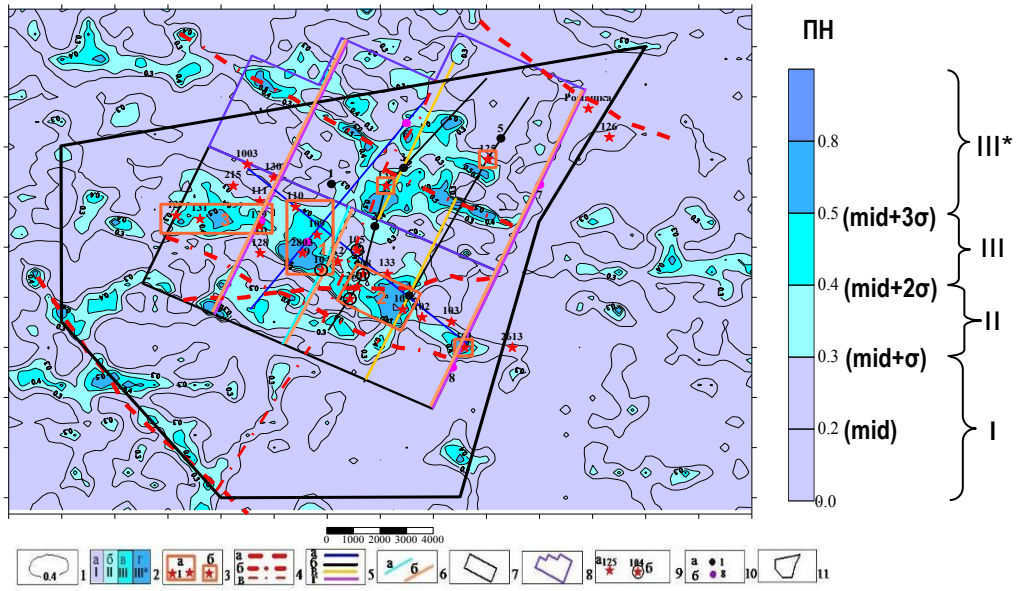
Рисунок 6. Участок Сары-Узень. Структурно-тектоническая обстановка и обводненность скального фундамента по геофизическим данным

В целом по тектонической обстановке на участке Сары-Узень необходимо отметить что обводнённость региональных тектонических структур и возможная гидравлическая их связь с подземными тре-

щинными водами в блоках проведения ПЯВ определяют предрасположенность геологической среды как к развитию деструктивных процессов в ядерных полостях, так и к миграции радионуклидов с трещинными водами. Полученные данные свидетельствуют о принципиальной возможности транспортирования радионуклидного загрязнения по обводнённым структурам региональных и второстепенных разломов.

Схема геоэкологического районирования

Основу для схемы геоэкологического районирования составили данные, отражающие природную и техногенную предрасположенность геологической среды на участке к экологическим рискам, связанным с деструктивным воздействием ПЯВ. Учитывались плотность (густота) линеаментов, геофизические данные об обводненности пород скального фундамента (через параметр электропроводности), пространственное распределение и мощность ПЯВ и др. Также как и на участке Балапан, рассчитан суммарный относительный показатель неустойчивости геологической среды (ПН) к воздействию ПЯВ. Схема геоэкологического районирования участка Сары-Узень по этому показателю приведена на рисунке 7.



ПН – комплексный показатель напряженности, характеризующий неустойчивость геологической среды к деструктивному воздействию ПЯВ и проявленность (установленную и предполагаемую) поствзрывных геодинамических процессов и радионуклидного загрязнения подземных вод и горных пород. 1 – изолиния показателя напряженности (ПН); 2 – район: I – устойчивый, II – слабо устойчивый, III и III* – неустойчивый относительно геоэкологических рисков из-за глубинных поствзрывных процессов; 3 – площадка группы (а) и отдельной скважины (б) с ПН=(0.4 - 0,8)

Рисунок 7. Участок Сары-Узень. Схема геоэкологического айонирования (по интегральному относительному показателю неустойчивости и внешнего воздействия (ПН)

С привлечением статистического анализа распределения значений ПН выделены области: I – устойчивые к термодинамическому воздействию ПЯВ (ПН не превышает стандартного отклонения σ от среднего значения), являющиеся наиболее благополучными в геоэкологическом плане; II – слабо устойчивые (ПНmid+2σ>ПН>ПНmid+σ) – с предпосылками усиления геоэкологических рисков в связи с ПЯВ; III и III* – неустойчивые (ПН>ПНmid+2-3σ) – наименее благоприятными в геоэкологическом плане.

По максимальным значениям показателя ПН (0.4 - 0.8) выделены три группы боевых скважин и две отдельные боевые скважины. Таковыми являются: в первой группе – скважины 110, 109, 2803 и 104, во второй – 107, 108, 2691 и 106, в третьей – 127, 131 и 129, а также три отдельные скважины: 101, 125 и 132.

Первая группа скважин сосредоточена в зоне повышенной обводненности пород скального фундамента, на одной из них (104) имеется воронка, на двух (104 и 110) – отмечены аномальные содержания трития в подземных водах. Принимая во внимание, что в блоке скважины 104 зона нарушенности, прилегающая к гипоцентру ПЯВ, как показали геофизические исследования в 2009 и 2010 гг., практически достигла кровли фундамента, можно предположить, что наличие трития в трещинно-поровых водах может быть связано с разгерметизацией и заводненностью ядерной полости. Сходный сценарий вполне вероятен и для остальных двух скважин в данной группе.

Скважины второй группы (106, 107, 108, 2691) расположены в той же зоне повышенной обводненности пород фундамента. Для скважин 106 и 108 по геофизическим данным 2010 г. в районе эпицентра ПЯВ установлено понижение скорости упругих

волн по кровле фундамента, зона трещиноватости, сопряженная с основной зоной дробления, зафиксирована в блоке скважины 106 практически на кровле фундамента, а в скважине 108 – вблизи кровли фундамента. Принимая во внимание обводненность этих блоков, а также сходные физико-геологические условия скважин 107 и 2691, можно предположить активизацию или усиление деструктивных процессов с последующим разрушением ядерных полостей.

В блоках скважин третьей группы (127, 131 и 129) и одиночных скважин 125 и 132 возможное ухудшение геоэкологической обстановки обуславливается расположением их в зонах влияния обводненных Косшокинского и Муржикского региональных разломов, а также наличием радионуклидного загрязнения в подземных водах (скважина 125). Ухудшение геоэкологической обстновки в районе скважины 101 возможно в связи с расположением в зоне влияния обводненного Косшокинского разлома и наличием радионуклидного загрязнения подземных вод и дневной поверхности.

Таким образом, построенная схема геоэкологического районирования иллюстрирует наличие установленных и предполагаемых проблемных площадок в связи с пространственной приуроченностью их к обводненным тектоническим структурам, наличием техногенных изменений на поверхности и на глубине, а также с выявленным радионуклидным загрязнением. Схема ориентирует на выбор первоочередных площадок для детального изучения и оценки, а также прогнозирования поствзрывной геоэкологической обстановки, связанной с воздействием ПЯВ.

Выводы

1. Показана эффективность комплекса геолого-геофизических методов, включающего дешифрирование космоснимков, электроразведку, сейсморазведку, как при картировании экологически значимых особенностей структурно-тектонической обстановки и обводненных зон трещинного типа в фундаменте, так и поствзрывной нарушенности и обводненности геологической среды в блоках ПЯВ. Показана также необходимо повышать геоэкологическую изученность территории участков и отдельных блоков ПЯВ.

2. Выделенные по данным районирования площадки групп и отдельных боевых скважин в качестве объектов первоочередного детального изучения и мониторинга, позволят в будущем более обоснованно ориентировать объемы и виды детализационных исследований по оценке и прогнозированию поствзрывной геоэкологической обстановки в связи с последствиями ПЯВ.

3. В условиях слабой геологической изученности участка Сары-Узень комплексом геолого-геофизических методов получены с относительно минимальными затратами (в сравнении с бурением), данные по экологически значимым особенностям геологического строения участка в целом (тектонической обстановке и трещинной обводненности пород), необходимые для районирования. Этими, не разрушающими геологическую среду, методами получены также важные сведения о глубинной поствзрывной тектонической нарушенности и обводненности отдельных блоков ПЯВ и их очаговых зон для составления их геоэкологических моделей.

4. Геоэкологическое районирование является неотъемлемой составляющей исследований по оценке и прогнозу экологических опасностей в связи с последствиями ПЯВ. Построенные схемы районирования являются первым и единственным картографическим материалом по участкам Балапан и Сары-Узень для изучения и мониторинга геоэкологических рисков в связи с возможной активизацией глубинных поствзрывных процессов и распространением радионуклидного загрязнения недр.

Литература

1. Mikhailov, V.N. USSR Nuclear Weapons Tests and Peaceful Nuclear explosions1949 through 1990 / V.N. Mikhailov(editor) , and 14 co-authors.- Sarov: RFNC - VNIIEF, 1996. - 96 p.
2. Спивак, А.А. Изменение структуры и проницаемости геологической среды при подземном ядерном взрыве / А.А. Спивак // Геоэкология, 1997. - № 3. - С. 41 - 49.
3. Мясников, К.В. Анализ причин сокращения объемов подземных емкостей, созданных ядерными взрывами в массиве каменной соли на Астраханском газоконденсатном месторождении / К.В. Мясников, В.Н. Родионов [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 1998. - № 5. - С. 16 - 29.
4. Голубов, Б.Н. Последствия техногенной дестабилизации недр Астраханского газоконденсатного месторождения в зоне подземных ядерных взрывов / Б.Н. Голубов // Геоэкология, 1994. - № 4.
5. Геворкян, С.Г. О деформациях полостей подземных ядерных взрывов в районе Астраханского газоконденсатного месторождения / С.Г. Геворкян, Б.Н. Голубов // Геоэкология, 1998. - № 22. - С.17 - 37.
6. Мироненко, В.А. Динамика подземных вод / В.А. Мироненко // М.: Недра, 1983.
7. Мироненко, В.А. Опытно-миграционные работы в водоносных пластах / В.А. Мироненко, В.Г. Румынин // М.: Недра, 1986.
8. Егоренков, Л.И. Геоэкология / Л.И. Егоренков, Б.И. Кочуров. - М.: Изд. Финансы и статистика, 2005. - 318 с.
9. Гацков, В.Г. К методике геоэкологических исследований нефтегазоносных районов / В.Г. Гацков // Вести Воронежского ун-та. Геология, 2004. - № 1.
10. Букс, И.И. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) / И.И Букс. , С.А. Фомин. - М.: Изд. МНЭПУ, 1998.

ГЕОЛОГИЯ-ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ССП АУМАҚТАРЫН ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ АУДАНДАУ (БАЛАПАН ЖӘНЕ САРЫӨЗЕН УЧАСКЕЛЕРІ ҮЛГІСІНДЕ)

Шайторов В.Н., Казакова Ю.И., Великанов А.Е., Жолдыбаев А.К.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан

Құрылымды-тектоникалық жағдайдың және жерасты ядролық жарылыстардың (ЖЯЖ) әсерінде жарылыстан кейінгі геологиялық ортаның бұзылудың экологиялық маңызды ерекшеліктерін карталау үшін геология-геофизикалық кешенін қолдану тиімділігі көрсетілген. Осындай кешенді зерттеудің нәтижелерін пайдаланып Семей сынау полигонының екі учаскесі үшін, ЖЯЖ жүргізілуіне байланысты экологиялық қауіптерді одан артық мақсатты зерделеу, бағалау және болжау үшін бірінші болып табылатын геоэкологиялық аудандау сұлбалары жасалған

GEOECOLOGICAL ZONING OF THE STS TERRITORIES ACCORDING TO GEOLOGIC AND GEOPHYSICAL DATA (THE CASE OF BALAPAN SITE AND SARY-UZEN)

V.N. Shaytorov, Yu.I. Kazakova, A.E. Velikanov, A.K. Zholdybayev

RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Effectiveness of application of a complex of geologic-geophysical techniques to facilitate mapping of ecologically significant features of a structural and tectonic situation and a post-explosion deformation of the geological environment after underground nuclear explosions (UNE) is shown. Schemes of geoecological zoning were built base on the results obtained from this complex of researches for two sites of the Semipalatinsk Test Site which are the first and the main for more targeted studying, assessment and prediction of ecological risks related to conduct of underground nuclear explosions.

УДК 550.34:621.039.9(25)

ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЛОКА ЗЕМНОЙ КОРЫ УЧАСТКА БАЛАПАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА УГОЛЬНОМ КАРЬЕРЕ КАРАЖЫРА

Беляшов А.В., Шайторов В.Н., Русинова Л.А., Ларина Т.Г., Шелехова О.Х.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Приведены результаты изучения скоростных характеристик земной коры в районе участка Балапан Семипалатинского испытательного полигона с использованием двух промышленных взрывов на угольном разрезе Каражыра мощностью 13.32 т и 14.06 т. Проведена регистрации сейсмических волновых полей станциями, установленными на расстоянии от 200 м до 24 км по профилю, пересекающему геологическую среду, испытавшую воздействие подземных ядерных взрывов. Получены данные о скоростных характеристиках геологического разреза участка Балапан на глубину 2.0 - 2.5 км.

Введение

Для оценки и прогнозирования геоэкологической обстановки на участке Балапан Семипалатинского испытательного полигона (СИП), где на относительно небольшой площади проведено свыше 100 подземных ядерных взрывов (ПЯВ), важное значение имеет информация об интегральном деструктивном воздействии подземных ядерных взрывов, в конечном счете определяющим наиболее вероятные сценарии поствзрывных геодинамических процессов (в том числе в очаговых зонах ПЯВ), газопроявлений и миграции радионуклидов.

Первые экспериментальные данные об особенностях глубинного деструктивного воздействия множества ПЯВ получены в 1999 г. по данным сейсмических исследований [1]. Показано, что поствзрывное глубинное и латеральное распределение скоростных параметров определяется главным образом влиянием деструктивного действия ПЯВ. Модель характеризует поствзрывную нарушенность лишь небольшого (в масштабах участка) блока геологической среды и распространение ее на весь участок, имеющий мозаичное строение, становится проблематичным. В [2] приведены результаты решения этой задачи на основании теоретических расчетов, в которых за основу принимались мощность, глубина взрывов и данные по физико-механическим свойствам вмещающих горных пород. Построены объемные модели, отображающие сумму естественной и наведенной взрывами трещиноватости горных пород. Такие модели, в силу идеализации геологической среды и деструктивных эффектов ПЯВ, дают лишь общее представление о возможных размерах области поствзрывной нарушенности участка. Вопрос об оценке интегрального деструктивного воздействия подземных ядерных взрывов на геологическую среду участка Балапан продолжает оставаться актуальным. В данной статье рассмотрены предварительные результаты решения этого вопроса на основе сейсмических записей промышленных взрывов на угольном месторождении Каражыра, расположенном в пределах участка Балапан.

Сейсмические наблюдения проведены здесь во время двух промышленных взрывов мощностью 13.32 и 14.06 т в октябре 2011. Цель работ состояла в изучении скоростных параметров блока земной коры, подверженного многократному длительному воздействию ПЯВ.

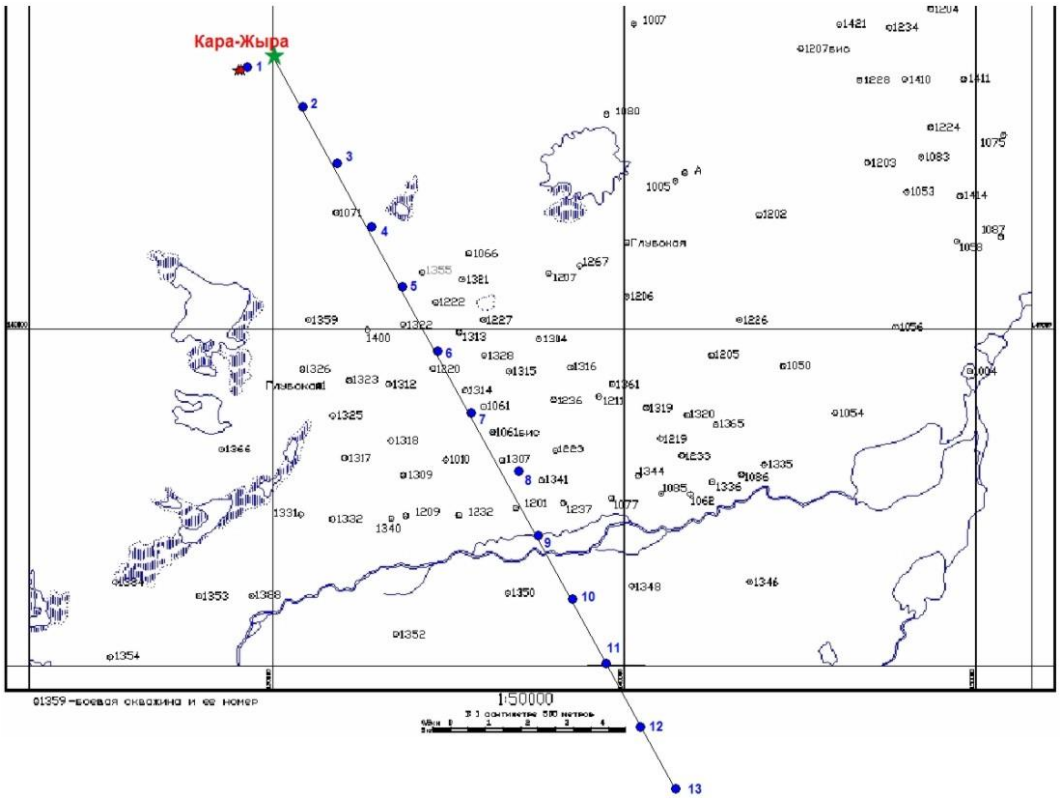
Полевые наблюдения на участке Балапан

Сейсмические наблюдения методом первых вступлений осуществлялись по линии опорного профиля, пересекающего основную группу боевых скважин на участке Балапан. Длина профиля была определена так, чтобы его центральная часть (проекция наиболее глубокой точки проникания сейсмических лучей) совпала с центральной частью основной группы боевых скважин [3]. Исходя из этого, общая длина профиля составила порядка 24 км. Шаг наблюдений определялся в соответствии с имевшимся у исполнителей количеством сейсмических станций и составил 2 км. На рисунке 1 приведена схема участка Балапан с расположением боевых скважин, эпицентров взрывов и профиля сейсмических наблюдений.

В ходе регистрации регистрации промышленных взрывов использованы автономные сейсмические комплексы, состоящие из дигитайзеров DAS6102 и 6501 (PMD, США), трехкомпонентных сейсмометров СК-1П (Казгеофизприбор, СССР) и CMG-40T (Guralp, Англия). Для отметки момента использовался датчик сильных движений (акселерометр), расположенный в максимальной близости (до 150 м) к эпицентрам взрыва.

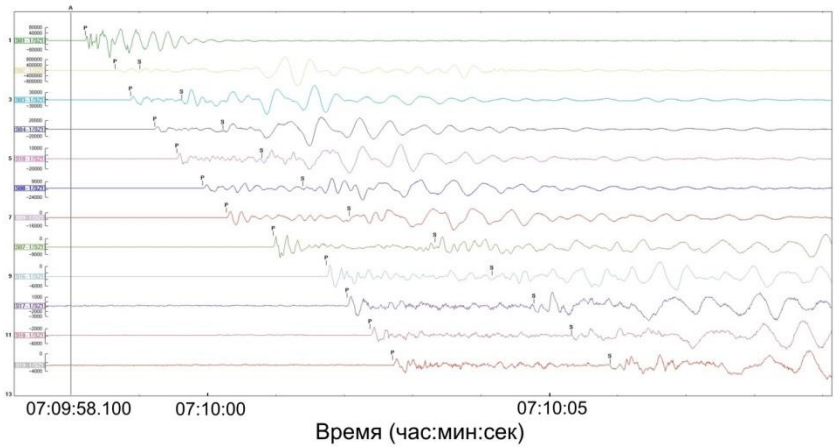
Камеральная обработка сейсмических данных

Полученные сейсмические записи промышленных взрывов обработаны с помощью программного пакета Geotool. На сейсмограммах определялись времена вступлений основных фаз – продольной и поперечной (рисунок 2).



○ – боевая скважина; –●– – основной профиль с пунктами наблюдения;
★ – эпицентр промышленного взрыва; ★ – искусственный ПВ, вынесенный на линию профиля

Рисунок 1. Схема изучаемого участка Балапан



На записи отмечены вступления продольных и поперечных фаз

Рисунок 2. Пример сейсмограммы с записью одного из промышленных взрывов на карьере Каржыра.

В полученные времена вносились необходимые поправки. Поскольку реальные эпицентры взрывов располагались на некотором удалении относительно линии профиля (рисунок 1), в первую очередь была определена поправка за пункт взрыва (ПВ) – реальные эпицентры были смещены на линию профиля по нормали с определением «нулевого» времени с учётом скорости сейсмических волн на данном участке [4, 5]. Далее были вычислены поправки за рельеф [3, 6] – определены высотные отметки вдоль линии профиля (рисунок 3), выбрана линия приведения с абсолютной высотой 320 м, рассчитаны приращения времени, исходя из времён пробега лучей от линии приведения то точки наблюдения с учётом скорости на конкретном участке. Установленные приращения времени вносились в наблюденные времена в качестве поправок. На рисунке 3 представлены годографы продольных и поперечных волн в окончательном виде.

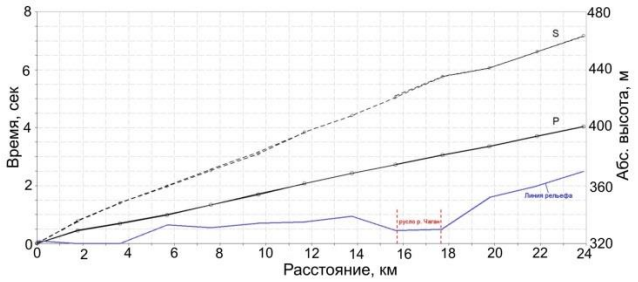
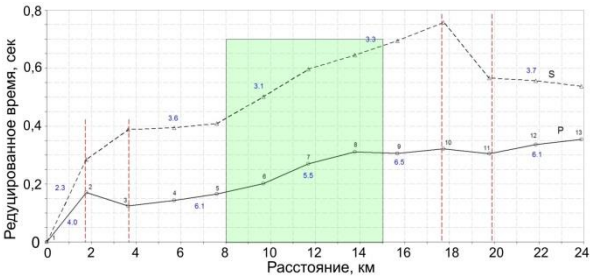


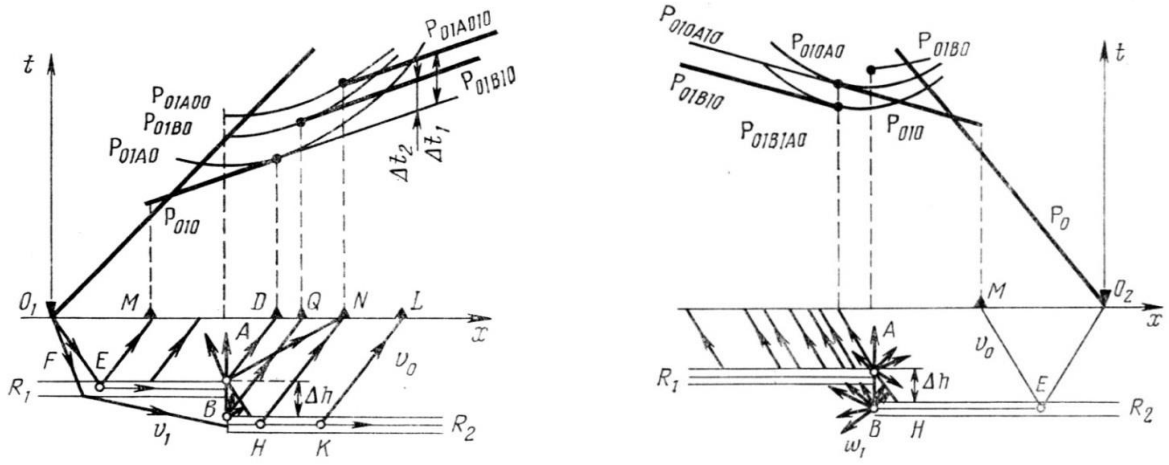
Рисунок 3. Годограф продольных и поперечных волнам на участке Балапан с линией рельефа вдоль профиля



Синим шрифтом указаны значения скоростей P- и S-волн на разных участках профиля; красными контурами обозначены петли на годографах; зелёным цветом отмечен участок профиля, проходящий через группу боевых скважин

Рисунок 4. Годографы в редуцированном масштабе (скорость редукции: 6.5 км/с для P-волн и 3.6 км/с для S-волн)

На рисунке 4 представлены сглаженные, осреднённые для двух взрывов годографы по продольным и поперечным волнам в редуцированном масштабе. Зелёным цветом отмечен участок профиля, проходящий через группу боевых скважин. Данная часть годографов, относящаяся к кровле ненарушенного фундамента, отличается пониженными значениями кажущихся продольных и поперечных скоростей (5.5 км/с относительно 6.2 - 6.4 км/с для продольных и 3.1 км/с относительно 3.6 - 3.7 км/с для поперечных волн), что свидетельствует о деструктивном воздействии ПЯВ на вмещающую геологическую среду. В годографах, приведенных на рисунке 4, отмечаются так называемые “петли” (обозначены интервалами, ограниченными красными пунктирами). Согласно [7, 8] такие “петли” характерны для преломленно-дифрагированных волн, которые в большинстве случаев генерируются линейными дифрагирующими объектами, такими, как ребра дизъюнктивных нарушений и линии контактов разнородных по физическим свойствам пород. Пример годографов преломленно-дифрагированных волн в случае вертикального сброса, заимствованного из [8], приведен на рисунке 5, в котором правая часть с распространением волны в сторону взброса аналогична картине, наблюдаемой в полученных годографах (рисунки 3, 4).



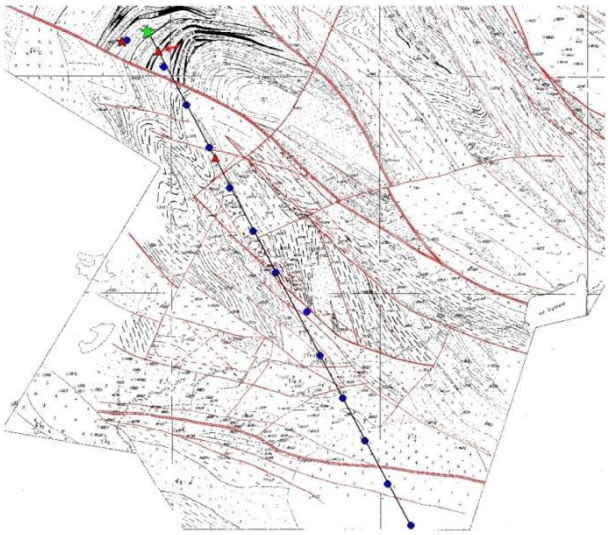
а – источник со стороны поднятого крыла

б – источник со стороны опущенного крыла

Рисунок 5. Пример годографов преломленно-дифрагированных волн (из [8])

На изучаемом профиле (рисунок 6) участок проявления на годографе первой от ПВ “петли” (в районе 2 км), совпадает с региональным разломом взбросового характера, отделяющим юрские угленосные отложения от пород каменноугольного возраста. Вторая “петля”, проявленная на годографе на удалении 19 км от ПВ, совпадает с зоной контакта эффузивно-осадочных отложений и интрузивного образования в юго-восточной части участка Балапан.

Для уточнения скоростной ситуации в пределах одного (северного) из отмеченных участков выполнены детальные сейсмические наблюдения по линии профиля длиной 5.0 км с шагом наблюдений 10 м при расстоянии между пунктами возбуждения 100 м. Расположение детального профиля на основном показано на рисунке 6. По результатам наблюдений с использованием программного пакета X-Tomo (РФ) построен скоростной разрез (рисунок 7), на котором отчётливо проявлена область контакта двух разных геологических формаций: относительно молодой низкоскоростной юрской и более древней консолидированной каменноугольной.



▲ – местоположение детального профиля на основном (красной стрелкой отмечено начало профиля)

Рисунок 6. Геолого-тектоническая схема участка Балапан с профилем наблюдения

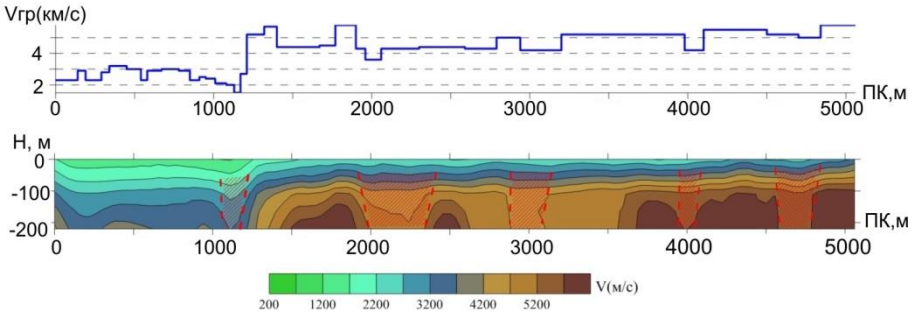


Рисунок 7. Скоростной разрез по детальному профилю с графиком граничных скоростей по кровле фундамента и элементами интерпретации

МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ SEISWIDE

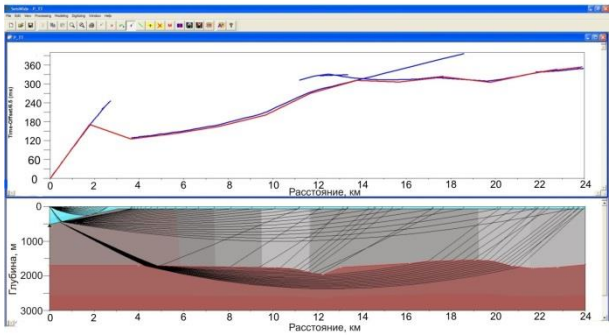
Следующим этапом обработки сейсмических данных по профилю на участке Балапан было лучевое трассирование и моделирование скоростного разреза с помощью программы SeisWide. Годограф был условно разбит на три части, отвечающие слоям:

– первый – зона малых скоростей (ЗМС), включающая юрские отложения в начале профиля;

– второй – породы фундамента со средней скоростью порядка 5.8 км/с, прослеживаемые на годографе до 14 км;

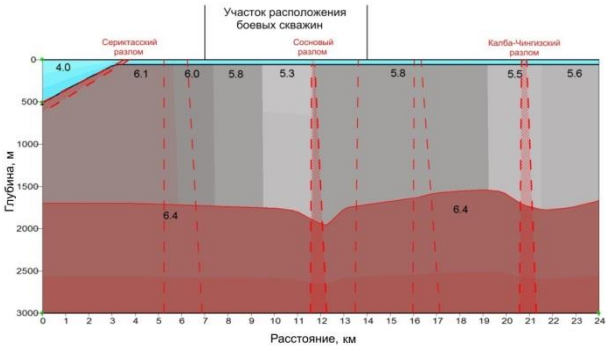
– третий – кровля подстилающего полупространства со средней скоростью 6.3 км/с, преломленная волна от которой выходит в первые вступления на точке излома в районе 14 км (рисунок 4).

Таким образом, для лучевого трассирования с использованием программы SeisWide была использована трёхслойная модель. При этом подбор теоретических годографов осуществлялся за счёт комбинации изменения латеральной скорости во втором слое и рельефа кровли в третьем. На рисунке 8 приведена предварительная модель скоростного разреза в окне программы SeisWide после подбора теоретических годографов. В верхней части рисунка приведены годографы – наблюдённый (красный график) и подобранный теоретический (синий график). Подбор теоретического годографа осуществлен с учётом значения максимальной временной невязки, определенной в 30 мс (треть фазы опорного сигнала с периодом 0.1 с). В нижней части рисунка приведена модель скоростного разреза с лучевой схемой.



графики: —— – наблюдённый, —— – теоретический годографы

Рисунок 8. Предварительная модель скоростного разреза с годографами и лучевой схемой



Цифры – скорость в км/с;
красные линии – тектонические структуры (разломы)

Рисунок 9. Предварительная модель скоростного разреза, построенная путём лучевого трассирования

На рисунке 9 представлена предварительная модель (без лучевой схемы) с вынесенными значениями скорости на разных участках и проекциями тектонических структур (красные контурные линии) с элементами интерпретации.

Представленная модель отражает следующие основные особенности распределения скоростных характеристик разреза по латерали и на глубину:

1. Выявленное понижение скорости во втором слое в интервале 7 - 14 км однозначно увязывается с областью максимальной плотности расположения боевых скважин. Этот факт подтверждает предположение об интегральном деструктивном воздействии подземных ядерных взрывов на блок земной коры относительно больших размеров.

2. Тектонические структуры, отмеченные на геологической карте и сгенерировавшие аномалии скорости на годографе, в основном нашли своё отображение в модели в виде резких изломов, прослеженных по кровле третьего слоя. При этом, тектоническим объектом, сформировавшим вторую “петлю” на годографе, оказался не контакт осадочно-эффузивных пород с интрузивным образованием, как предполагалось ранее (без учёта сейсмического сноса), а серия локальных разломов во главе с Сосновым разломом, расположенных в центральной части участка Балапан.

Выводы

Проведённые на участке Балапан сейсмические наблюдения по профилю длиной 24 км с использованием промышленных взрывов на угледобывающем карьере Каражыра позволили решить следующие задачи:

– инструментально показать, что интегральное деструктивное воздействие ПЯВ проявляется в существенном понижении скорости упругих волн (до 0.7 км/с) относительно неизмененных горных пород на глубинах вплоть до 1500 м;

– подтвердить местоположение основных тектонических структур на участке Балапан.

В дальнейшем при камеральной обработке имеющегося полевого материала планируется провести лучевое трассирование и моделирование в программе SeisWide не только по продольным, но и поперечным волнам с целью повышения достоверности скоростного разреза участка Балапан.

Для уточнения строения верхней части разреза (включая кровлю ненарушенного фундамента) для участков резкого изменения кажущейся скорости на годографах предусматриваются детальные сейсмические наблюдения по всей длине профиля.

Полученный после окончательной обработки результат в виде двухмерного скоростного разреза участка Балапан может быть использован в будущих геофизических исследованиях в качестве опорной модели.

Литература

1. Моделирование миграции загрязняющих веществ в подземных водах в районе Семипалатинского полигона: технический отчёт по проекту МНТЦ К-056-96 (окончат.) / Институт геофизических исследований НЯЦ РК; рук. Беляшов Д.Н. - фонды ИГИ НЯЦ РК, 1999. - 373 с.
2. Мурзадилов, Т.Д. Теоретическая оценка деструкции горных пород под воздействием серии подземных ядерных взрывов на участке Балапан [Текст] / Т.Д. Мурзадилов, Д.Н. Беляшов, В.Н. Глущенко, О.В. Логвинов, В.С. Моренко, В.М. Стромов, Г.М. Глущенко // Вестник НЯЦ РК. Геофизика и проблемы нераспространения, 2000. – № 2. – С. 105 - 118.
3. Гурвич, И. И. Сейсмическая разведка [Текст] / И. И. Гурвич, Г. Н. Боганик. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Недра, 1980. – 551 с.
4. Патент на изобретение №2181493/G01V1/28. Сейсмические процессы разведки с использованием отражённых поперечных волн [Текст] / Мюллер М.С., Томсен Л., Цванкин И. : заявитель Corporation North America Inc., US, 2002.
5. Тайлаков, О.В. Применение малоглубинной сейсморазведки для уточнения условий залегания угольных пластов и локализации изменений их газоносности [Текст] / О.В. Тайдаков, В.И. Овчинников, С.В. Соколов // Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов. – 2010. – № 88. – С. 22 - 26.
6. Шерифф, Р. Сейсморазведка. Том 1: история, теория и получение данных [Текст] / Р. Шерифф, Л. Гелдарт ; перевод с англ. Е. А. Ефимовой : [под ред. А. В. Калинина]. – М. : Мир, 1987. – 447 с.
7. Епинатьева, А.М. Метод преломленных волн [Текст] / А.М. Епинатьева, Г.М. Голошубин, А.Л. Литвин, А.Д. Павленкин, Г.И. Петрашень, А.Е. Старобинец, М.Б. Шнеерсон // М. : Недра, 1990. – 297 с. – ISBN 5-247-00914-2.
8. Гурвич, И. И. Сейсморазведка. Справочник геофизика [Текст] / И.И. Гурвич, В.П. Номоконов // М. : Недра, 1981. – 464 с.

ҚАРАЖЫРА КӨМІР КАРЬЕРІНДЕГІ ӨНЕРКӘСІПТІК ЖАРЫЛЫСТАРДЫ ПАЙДАЛАНЫП БАЛАПАН УЧАСКЕСІНДЕГІ ЖЕР ҚЫРТЫСЫ БЛОГЫНЫҢ ЖЫЛДАМДЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРДЕЛЕУУ

Беляшов А.В., Шайторов В.Н., Русинова Л.А., Ларина Т.Г., Шелехова О.Х.

Геофизиклық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Қаражыра көмір карьеріндегі қауты 13,32 және 14,06 т. екі өнеркәсіптік жарылыстарды пайдаланып, Семей сынау полигонының Балапан учаскесі ауданында жер қыртысының жылдамдық сипаттамаларын зерделеу нәтижелері келтірілген. Жерасты ядролық жарылыстардың ықпалын көрген геологиялық ортаны қиып өтетін кескін бойы 0,2 - 24 км қашықтықтарда орнатылған станциялармен сейсмикалық толқындық өрістерді тіркеуі жүргізілген. Балапан учаскенің 2,0 - 2,5 км терендігіне геологиялық қиманың жылдамдық сипаттамасы туралы деректері алынған.

STUDY OF CRUSTAL BLOCK VELOCITY PROPERTIES AT THE BALAPAN SITE USING INDUSTRIAL EXPLOSIONS IN THE KARA-ZHIRA COAL OPENCAST

A.V. Belyashov, V.N. Shaitorov, L.A. Rusinova, T.G. Larina, O.H. Shelehova

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The report describes the velocity properties of the Balapan crustal block of Semipalatinsk Test Site defined by the recording results of two industrial explosions in the Karazhyrau coal mine. The seismic wave field recording was conducted by the stations deployed in the distance varied from 200 m to 24 km. Reconstructed one-dimensional velocity models for P- and S-waves are planned to be used as a starting models in constructing of two-and three-dimensional velocity profiles.

УДК 550. 8:621.039.9(24)

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЧАГОВЫХ ЗОН ПЯВ ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Шайторов В.Н., Беляшов А.В., Казакова Ю.И., Ефремов М.В., Жолдыбаев А.К., Ларина Т.Г., Утегенова М.А.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Описаны комплексные геодинамические и геоэкологические модели очаговых зон двух подземных ядерных взрывов на СИП по результатам геолого-геофизических и атмогеохимических исследований, проведенных в 2009 – 2011 гг. Разработанные модели могут быть использованы как для оценки современного состояния очаговых зон, так и для проведения периодического мониторинга геофизических полей, физических и атмогеохимических характеристик по единой сети пунктов регистрации.

ВВЕДЕНИЕ

В результате многочисленных подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на СИП места их проведения в полной мере могут быть отнесены к подземным ядерно- и радиационно опасным объектам-хранилищам. Кроме неконтролируемого распространения радионуклидного загрязнения из очаговых зон, потенциальную опасность для окружающей среды представляют выходы токсичных и горючих газов в атмосферу, являющиеся следствием современных геодинамических природно-техногенных процессов (изменение нарушенности среды, обрушение полостей, оседание территории, провалы). Приуроченность полостей ПЯВ к углефицированным породам (порядка 50 таких полостей на участке Балапан) усиливает реальную угрозу газовыделения, которое, к настоящему времени, установлено на 11 скважинах ПЯВ участка Балапан. Недостаточная изученность экологической обстановки в местах расположения подземных ядерно- и радиационно опасных объектов ПЯВ на СИП определила необходимость проведения геоэкологического районирования территорий [1]. На основе комплексного изучения экологически значимых особенностей глубинного строения и поствзрывных геологических процессов с использованием геолого-геофизических методов на участках Балапан и Сары-Узень определены отдельные экологически напряженные площадки, подлежащие детальной оценке и прогнозированию поствзрывной геоэкологической обстановки в очаговых зонах ПЯВ. Как показывает опыт [1, 2], решение подобных задач может быть наиболее эффективно на основе использования геоэкологических моделей, которые изучаются и совершенствуются в процессе постоянных наблюдений с ориентировкой на требования к решению задач прогноза и управления. При этом формирование постоянно действующих моделей (ПДМ) рассматривается в качестве основной задачи системно-информационного построения геофизическо-экологических исследований [3, 4]. Как показано в [5, 6], неотъемлемой частью геоэкологических оценок техногенного воздействия на геологическую среду является геодинамическое моделирование, позволяющее анализировать механические процессы, протекавшие в недрах. Это особенно актуально для выявления и прогнозирования тенденций поствзрывных геодинамических процессов в очаговых зонах и прилегающему к ним пространству.

Целевое назначение исследований на СИП, результаты которых отражены в настоящей статье, состояло:

– в получении современных данных об особенностях геодинамического строения очаговых зон подземных ядерных взрывов по результатам геолого-геофизического изучения природной и техногенной нарушенности и проницаемости геологических пород, влияющих на развитие опасных техногенных процессов;

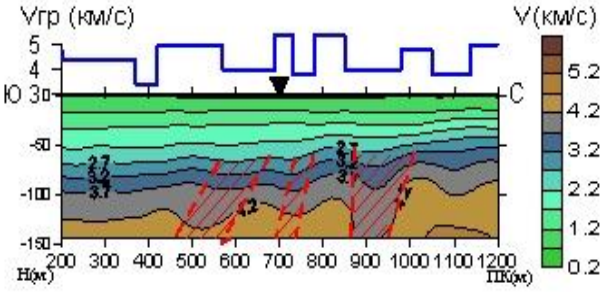
– в оценке информативности полученных данных для геолого-геофизического мониторинга и прогнозирования опасных природно-техногенных процессов.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТИВНЫЕ ПОСТРОЕНИЯ

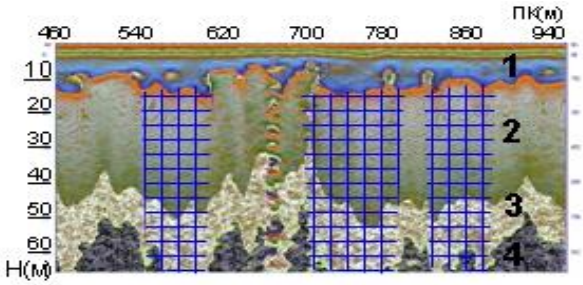
В качестве исходных данных использованы результаты полевых съемок на СИП в районах скважин 1010 (участок Балапан) и 104 (участок Сары-Узень). Здесь были проведены площадные и профильные геофизические и атмогеохимические работы комплексом методов с картированием геодинамически активных трещинных структур по различным физическим параметрам. На этой основе построены геодинамические и геоэкологические модели. Геодинамические модели представлены в виде вертикальных разрезов, отражающих пространственное распределение поствзрывных трещинных структур в блоке горных пород, включающем так называемую «боевую скважину», непосредственно очаговую и приочаговую зоны подземного ядерного взрыва. Геоэкологические модели построены для тех же блоков горных пород в параметре интегрального показателя напряженности (ПН), рассчитанного с привлечением метода формализованных оценок [6 - 10] и с использованием комплексаполученных данных (прочностные свойства и эффективная пористость пород; тектоническая нарушенность, обводненная трещиноватость, экологически значимые особенности гидрогеологических условий и др.).

Участок Балапан. Скважина 1010

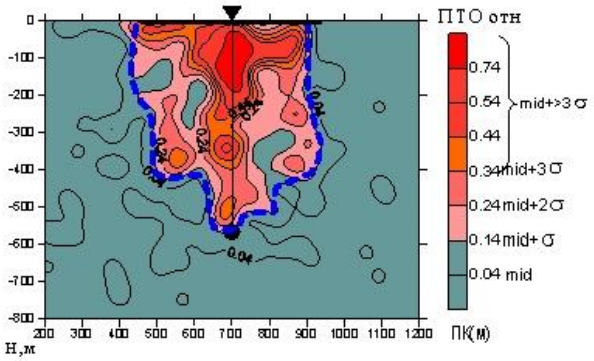
Скважина 1010 расположена к юго-западу от центральной части участка Балапан. ПЯВ произведен в ней 11.06.1978 г. Заряд мощностью 68 кт был заложен на глубине 556 м в рассланцованной толще переслаивающихся песчаников и углистых алевролитов. Скважина выбрана для моделирования очаговой зоны в связи с тем, что режим взрыва был нештатным (с неполным камуфлетом); отмечено поствзрывное выделение метана на устье скважины. По скважине полностью отсутствуют архивные данные о глубинной геологической и геоэкологической обстановке. На рисунке 1 приведен а часть полевых *данных и геодинамическая модель* блока в районе скважины 1010, построенная по комплексу примененных методов – сейсморазведки корреляционным методом преломленных волн (КМПВ), рефрагированных волн (МРВ), обменных волн землетрясений (МОВЗ), дифрагированно-рассеянных волн (МДРВ); георадиолокации, атмогеохимической съемки по содержанию CO_2.



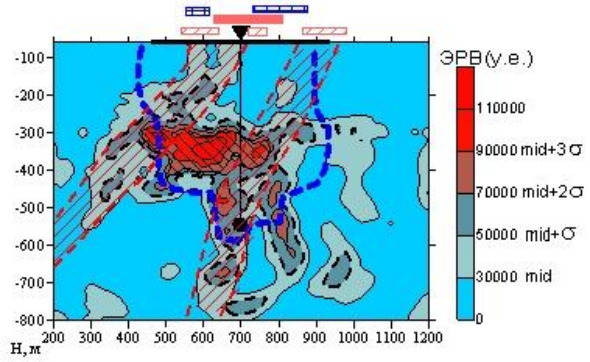
а – проницаемые геодинамически активные зоны в кровле фундамента по данным сейсморазведки КМПВ-МРВ



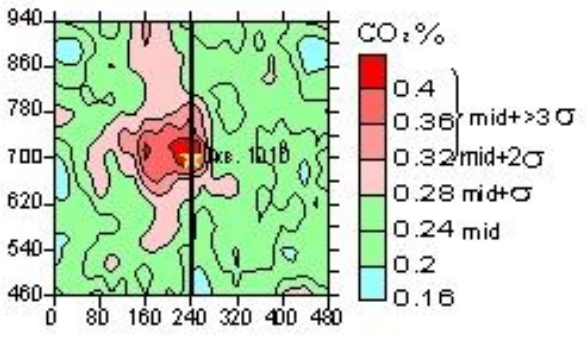
б –- проницаемые геодинамически активные зоны в покровных отложениях по данным георадарной съемки



в – поствзрывная геодинамически активная структура по плотности точек обмена МОВЗ

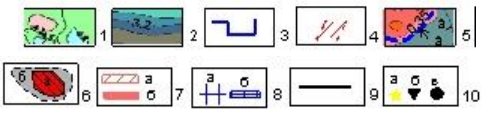


г – поствзрывная геодинамически активная структура по комплексу геофизических и атмогеохимических методов



д – содержание CO_2 в почве по атмогеохимической съемке

mid – средние значения содержания CO_2 в почвенном воздухе, энергии рассеянных волн и относительной плотности точек обмена;
σ – стандартное отклонение от среднего



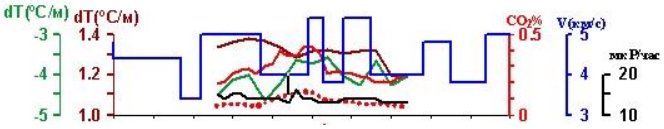
1 – изолинии концентрации CO_2 в почвенном воздухе; 2 – изолинии скорости продольных волн; 3 – график граничной скорости; 4 – зоны трещиноватости, проявленные понижением скорости и повышенным рассеянием упругих волн; 5 – изолинии относительной плотности точек обмена и области фоновой (а) и повышенной (б) относительной плотности точек обмена в плоскости разреза; 6 – зона максимальной трещиноватости и дробления (а) и повышенной трещиноватости (б) в районе гипоцентра ПЯВ по данным сейсморазведки МДРВ; 7 – проекция на профиль Ю-С геодинамически активных зон, выделенных по аномально пониженным значениям скорости упругих волн (а), по повышенным концентрациям CO_2 в почвенном воздухе (б); 8 – ослабленная проницаемая зона (а) в песчано-глинистой толще и в кровле фундамента по данным георадилокации и проекция этих зон (б) на профиль 240; 9 – положение профиля 240 (Ю-С); 9 – скважина 1010 в плане (а), в сечении Ю-С (б), гипоцентр ПЯВ (в)

Рисунок 1. Участок Балапан. Скважина 1010. Профиль Ю – С. Комплекс геофизических и атмогеохимических данных, использованных для построения геодинамической и геоэкологической моделей

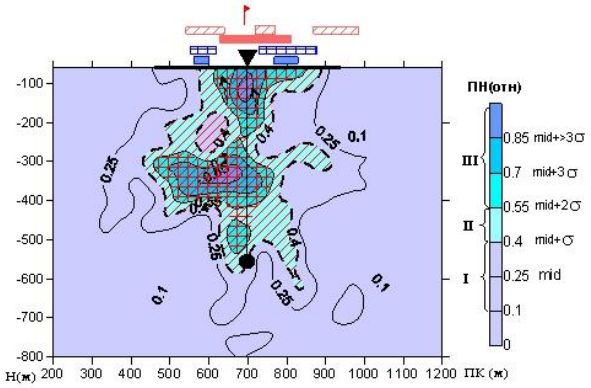
По данным сейсморазведки МРВ, как следует из рисунка 1-а, скальный фундамент имеет блоковую структуру, в которой межблочное пространство представляют ослабленные зоны, проявившиеся локальными понижениями скорости упругих волн в интервалах ПК550 - 600, 680 - 770 и 860 - 980. Практически к этим же пикетам профиля, в соответствии с рисунком 1-б, приурочены зоны разуплотнения в песчано-глинистой толще и в кровле фундамента, выделенные по данным георадарной съемки. Пространственно с ними увязываются на дневной поверхности локальные газовые потоки (рисунок 1-д). Распределение поствзрывной нарушенности блока скважины 1010 по глубине в целом отражает конфигурация области, выделенная по повышенной и максимальной относительной плотности точек обмена по данным МОВЗ, охватывающая интервал глубин от дневной поверхности до 550 м. По данным сейсморазведки МДРВ (рисунок 1-г) наиболее нарушенной представляется горизонтально вытянутая область в интервале глубин 290 - 420 м. Значительный отрыв этой области от гипоцентра ПЯВ, видимо, является следствием формирования столба обрушения. Характерной особенностью поствзрывной нарушенности изучаемого блока является наличие двух субпараллельных крутопадающих ослабленных структур, сопряжённых с областью максимальной трещиноватости пород северная и южная. Одна из них (северная) сопряжена с гипоцентральной зоной и имеет выход в кровлю фундамента в районе ПК900, вторая (южная) – в интервале ПК 660 - 710. Как следует из приведенных данных, обе эти зоны, в совокупности с современной зоной интенсивной трещиноватости, создают ослабленный флюидопроницаемый блок с благоприятными условиями для поствзрывных деструктивных процессов.

Геоэкологическая модель блока со скважиной 1010 представлена на рисунке 2.

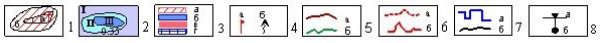
Как следует из этого рисунка, область, характеризующаяся высокими значениями интегрального показателя напряжённости (природно-техногенной нарушенности) в сечении профиля Ю-С установлена по совокупности данных сейсморазведки МДРВ и МОВЗ в интервале ПК 450 – 940 и распространяется на глубину до 600 - 650 м. Наибольшая вероятность усиления геоэкологических рисков, связанных с глубинными поствзрывными деструктивными процессами ПЯВ, возможна в современной зоне интенсивной трещиноватости с горизонтальной мощностью порядка 300 м (ПК450 - 750) на глубине 290 - 400 м. Повышенной вероятностью геоэкологических рисков характеризуются также район в эпицентре ПЯВ с радиусом порядка 100 - 150 м, в интервале глубин от 60 (кровля фундамента) до 200 м. Особенностью пространственного положения двух выявленных областей является их сближенность по глубине и переход одной из них в другую в интервале глубин 200 - 260 м практически вдоль оси боевой скважины.



а – графики наблюденных физических и атмогеохимических характеристик



б – характеристика поствзрыввной нарушенности и теплогазовыделения в меридиональном сечении



1 – зоны: максимальной (а) и повышенной (б) трещиноватости по данным МДРВ и МОВЗ; 2 – I, II, III – области несущественной (I), повышенной (II), и максимальной (III) природной и техногенной нарушенности пород в изолиниях относительного интегрального параметра ПН; 3 - проекция геодинамической активной зоны в параметрах: скорости упругих волн (а), локального теплового (б) и газового (в) потоков, диэлектрической проницаемости (г); 4 - признак поствзрывного газовыделения (а), локального теплового потока (б). Графики: 5 – вертикального градиента температуры по данным 2009 (а) и 2011 гг. (б); 6 – содержания CO_2 в почвенном воздухе по данным 2009 (а) и 2011 гг. (б); 7 – граничной скорости по кровле фундамента (а) и МЭД (б) на дневной поверхности; 8 - устье скважины 1010 на профиле (а) и гипоцентр ПЯВ (б)

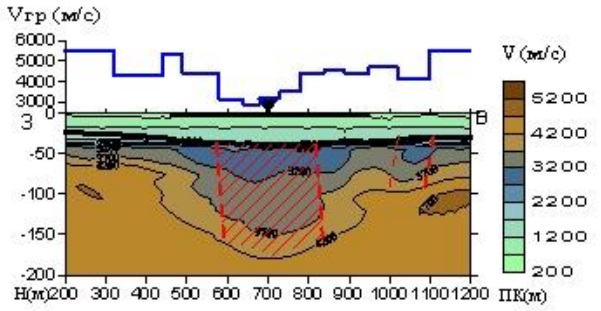
Газовыделение на устье скважины:
CH_4 =17% (2009 г.), CH_4=19% (2010 г.), CH_4=30% (2011 г.).
CO_2=50% (2010 г.), CO_2 =60% (2011г.), CO=>0.05% (2011 г.)

Рисунок 2. Участок Балапан. Скважина 1010. Профиль Ю – С. Геоэкологическая модель очага ПЯВ по геолого-геофизическим данным

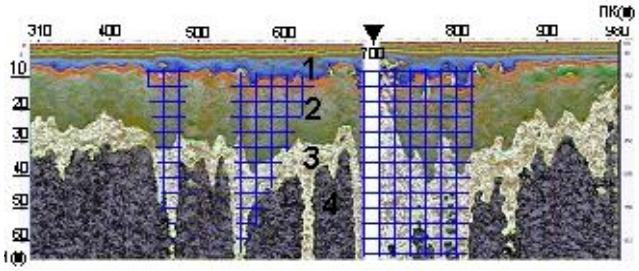
УЧАСТОК САРЫ-УЗЕНЬ. СКВАЖИНА 104

Скважина 104 расположена в центральной части участка Сары-Узень. ПЯВ в скважине произведен 21.07.1970 г. Заряд мощностью до 20 кт был заложен на глубине 225 м в песчаниках осадочно-вулканогенной толщи.

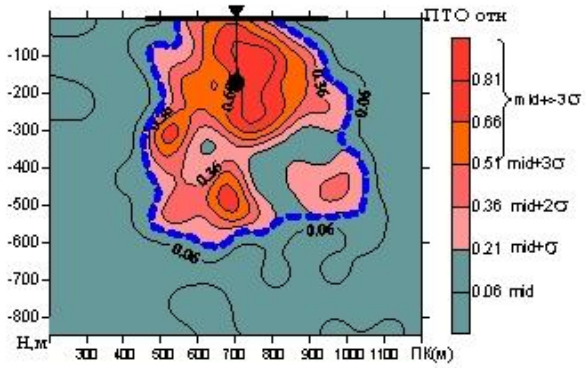
Геодинамическая модель блока скважины 104 по геофизическим данным приведена на рисунке 3.



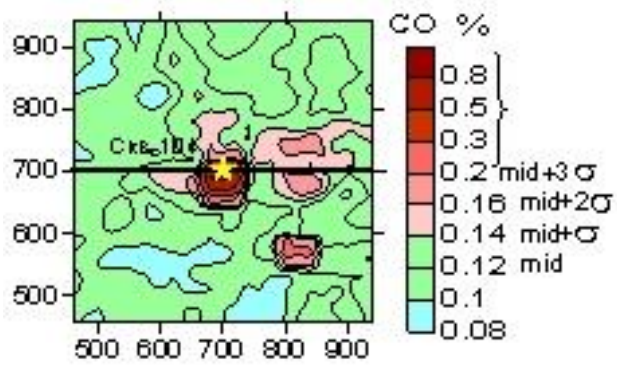
а – проницаемые геодинамически активные зоны в кровле фундамента по данным сейсморазведки КМПВ-МРВ



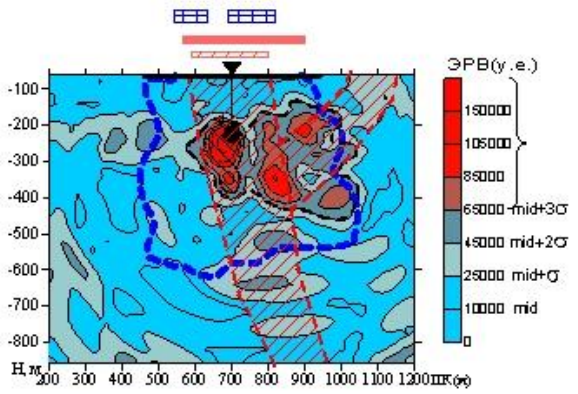
б – проницаемые геодинамически активные зоны в покровных отложениях по данным георадарной съемки (1 – пески; 2 – глина; 3 – глина с гравием и песком; 4 – песчаники эффузивно-осадочного фундамента)



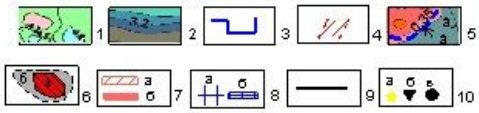
в – объемное картирование поствзрывных трещинных геодинамически активных структур по плотности точек обмена



г – содержание CO_2 в почве по атмогеохимической съемке



д – поствзрывные геодинамически активные структуры по комплексу геофизических и атмогеохимических методов



(1 – 2) - изолинии: 1 – концентрации CO_2 в почвенном воздухе; 2 – скорости продольных волн; 3 – график граничной скорости; 4– зона трещиноватости с пониженной скоростью и повышенным рассеянием упругих волн; 5 - изолинии относительной плотности точек обмена и области фоновой (а) и повышенной (б) относительной плотности точек обмена 6 - зоны максимальной трещиноватости и дробления в районе гипоцентра ПЯВ (а) и повышенной трещиноватости (б) по данным сейсморазведки МДРВ; 7 – проекции на линию профиля геодинамически активных зон, выделенных по аномально пониженным значениям скорости упругих волн (а), повышенным концентрациям CO_2 в почвенном воздухе (б); 8 - ослабленные проницаемые зоны (а) в песчано-глинистой толще и в кровле фундамента, проявленные по георадиолокации на линию профиля; 9 – положение профиля М700 (З-В); 9 - скважина 104 в плане (а), в сечении профиля З-В (б) и гипоцентр ПЯВ (в).

Рисунок 3. Участок Сары-Узень. Скважина 104. Профиль З – В. Комплекс геофизических и атмогеохимических данных, использованных для построения геодинамической и геоэкологической моделей

В радиусе 200 - 250 м от ствола скважины по пониженной скорости сейсмических волн выявлена обширная зона техногенной трещиноватости в фундаменте (рисунок 3-а), которая прослеживается от его кровли до глубины порядка 550 м. Неоднородность этой зоны установлена также по данным георадарной съемки (рисунок 3-б), что очевидно обусловила струйную газопроницаемость пород изученного блока по субвертикальным ослабленным структурам и образование на приустьевой площадке аномалий повышенных концентраций CO_2 в почвенном воздухе (рисунок 3-г), а также вертикального градиента температуры. Характерной особенностью выявленных аномальных зон является ограниченная область их распространения в радиусе не более 200 - 300 м. Пространственная связь области наиболее плотного расположения точек обмена волн (рисунок 3-в) с ослабленными структурами как вблизи кровли фундамента, так и на глубине в районе гипоцентра ПЯВ, однозначно свидетельствует о единой природе наблюдённых эффектов – деструктивном действии ПЯВ. При этом очевидно, что сейсмические данные характеризуют пространство, прилегающее к эпицентру ПЯВ как геодинамически активную зону,

сложенную трещиноватыми породами, а атмогеохимические и тепловые аномалии указывают на местоположение в плане выходов на дневную поверхность наиболее проницаемых её образований.

В целом из полученных данных следует, что геодинамическая модель блока скважины 104 представляет узел пересечения крутопадающих трещинных структур, имеющих природно-техногенное происхождение. Результаты моделирования свидетельствуют, что наиболее геодинамически активной является область, прилегающая к гипоцентру ПЯВ, благодаря которой отмечены аномальные проявления в тепловых и газовых полях.

Модель геоэкологического сосотяния блока скважины 104 представлена на рисунке 4.

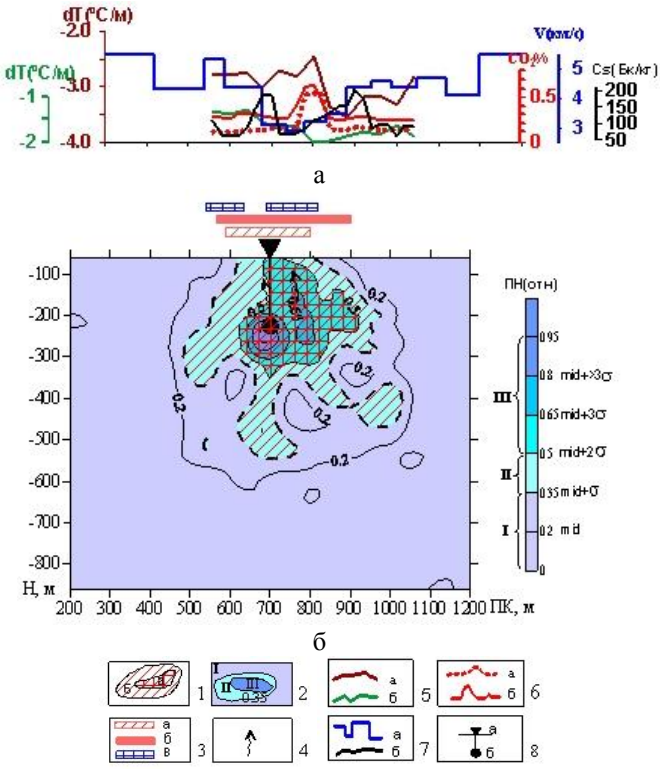


Рисунок 4. Участок Сары-Узень. Скважина 104. Профиль 3 – В. Геоэкологическая модель очага ПЯВ по геолого-геофизическим данным

По значениям интегрального показателя напряжённости, рассчитанным по совокупности данных сейсморазведки МДРВ и МОВЗ, область в сечении З - В, в которой возможно усиление геоэкологических рисков, охватывает пространство в радиусе порядка 250 м от эпицентра ПЯВ и распространяется от кровли фундамента до глубины порядка 500 м. Наибольшей вероятностью усиления геоэкологических рисков при активизации поствзрывных деструктивных процессов характеризуются пространство, прилегающее к очаговой зоне в интервале ПК700 - 900 от кровли фундамента до глубины порядка 340 м. Такая вероятность подтверждается значительной динамикой локальных тепловых и газовых потоков, выявленных в период 2009 - 2011 гг.

Заключение

На примере скважин 1010 (участок Балапан) и 104 (участок Сары-Узень) показана эффективность комплекса использованных методов, а также состава геофизических и атмогеохимических показателей для характеристики пространственных изменений поствзрывных техногенных и природных геодинамическки активных ослабленных структур, проявлений этих изменений в покровных отложениях в виде локальных флюидопроницаемых зон. Основу для изучения глубинных ослабленных структур составляют сейсмические данные о скорости распространения упругих волн, о рассеивающих и обменообразующих свойствах.

Построенные комплексные геодинамические и геоэкологические модели могут считаться моделями состояния исследованных блоков, которые могут быть приняты за основу для мониторинга при периодических наблюдениях по единой системе пунктов измерений физических и атмогеохимических характеристик и регистрации волновых полей. При этом наиболее перспективным показателем для оценки геодинамической активности недр на глубине представляются изменения в конфигурации пространственного положения точек обмена волн. В покровных отложениях индикаторами такой активности могут выступать изменения в плановом положении и интенсивности аномальных газовых и тепловых потоков. Для повышения достоверности их интерпретации очевидна необходимость привлечения показателей, характеризующих глубинные структурные изменения в геологической среде.

Геоэкологические модели, разработанные по результатам районирования, являются основой экологического контроля. Система постоянно действующих геоэкологических моделей в процессе их мониторинга обеспечит непрерывную геоэкологическую оценку очаговых зон.

Литература

1. Королев, В.А. Мониторинг геологической среды: под редакцией В.Т. Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С. 141 - 156.
2. Трофимов, В.Т. Экологическая геология / В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг - М.: ЗАО Теоинформмарк", 2002. - С. 415.
3. Шестаков, В.М. Принципы геофизико-экологического мониторинга // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология, 1999. - № 4. - С. 362 - 365.
4. Гацков, В.Г. К методике геоэкологических исследований нефтегазоносных районов / В.Г. Гацков // Вести Воронежского ун-та. Геология, 2004. - № 1.

5. Шабаров, А.Н. Геодинамическое моделирование рудного месторождения / А.Н. Шабаров, В.В Зубков, Н.И. Мишин В.В. Аршавский, Б.П. Бадтиев // Горный журнал, 2004. - № 12. - С. 32 - 36.
6. Козырев, А.А. Методика регионального прогноза удароопасности и состояния массива пород по обеспечению безопасности и эффективности горных работ / А.А. Козырев, А.Н. Енютин, В.А. Мальцев, И.Э. Семенова. - Горный институт КНЦ РАН.
7. Егоренков, Л.И. Геоэкология / Л.И. Егоренков, Б.И. Кочуров - М.: Изд. Финансы и статистика, 2005. - 318 с.
8. Гацков, В.Г. К методике геоэкологических исследований нефтегазоносных районов / В.Г. Гацков // Вести Воронежского ун-та. Геология, 2004. - № 1.
9. Букс, И.И. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) / И.И. Букс, С.А. Фомин. - М.: Изд. МНЭПУ, 1998.
10. Шайторов, В.Н. Геоэкологическое районирование территории СИП по геолого-геофизическим данным (на примере участков Балапан и Сары-Узень) / В.Н. Шайторов, Ю.И. Казакова, А.Е. Великанов, А.К. Жолдыбаев // VII Международная конференция «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий» 06 - 10 августа 2012 г, Курчатов, Казахстан, Тезисы докладов. – Курчатов: НЯЦ РК, 2012. – С. 75 – 81.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ОШАҚ ЗОНАЛАРЫНЫҢ ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІ

Шайторов В. Н., Беляшов А.В., Казакова Ю.И., Ефремов М.В., Жолдыбаев А.К., Ларина Т.Г., Утегенова М.А.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан

2009 - 2011 ж.ж. жүргізілген геология-геофизикалық және атмогеохимиялық зерттеулердің нәтижелері бойынша ССП екі ұңғыманың жерасты ядролық жарылыстардың ошақ зоналарының кешенді геодинамикалық және геоэкологиялық модельдері сипатталған. Әзірленген модельдерді ошақ зоналардың қазіргі күйін бағалау мен қатар геофизикалық өрістерін, физикалық және атмогеохимиялық сипаттарын тіркеу пункттілердің бірыңғай жүйесі бойынша кезеңділік мониторингі үшін пайдалануға болады.

GEOECOLOGICAL MODELS OF FOCAL ZONES OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS CONDUCTED IN THE SEMIPALATINSK TEST SITE

V.N. Shaytorov, A.V. Belyashov, Yu.I. Kazakova, M.V. Efremov, A.K. Zholdybayev, T.G. Larina, M.A. Utegenova

RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Set of geodynamic and geoecological models of focal zones in two boreholes in the STS are described based on findings from geologic-geophysical and atmogeochemical surveys conducted in 2009 - 2011. The developed models can be used both in assessment of the current state of focal zones and in periodic monitoring of geophysical fields their physical and atmogeochemical properties.

УДК 550.34+624.131

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ СЕТИ МОНИТОРИНГА ИС НАН КР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОПОЛЗНЕЙ

[1)]Кальметьева З.А., [2)]Берёзина А.В., [2)]Молдобекова С.К., [3)]Торгоев И.А.

[1)]Центрально-Азиатский Институт прикладных Исследований Земли (ЦАИИЗ), Бишкек, Кыргызстан
[2)]Институт Сейсмологии Национальной Академии Наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР), Бишкек, Кыргызстан
[3)]Научно-Инженерный Центр «ГЕОПРИБОР» НАН КР, Бишкек, Кыргызстан

На основе сопоставления сейсмологических данных (пространственно-временное распределение очагов землетрясений, их механизмы, а также микротолчки) с результатами инструментальных наблюдений за движениями оползней в районе Майлисуу подтверждается вывод, сделанный ранее по территории Северного Тянь-Шаня о том, что существенным фактором активизации оползней является резкое отклонение оси сжатия земной коры от горизонтального направления.

Изучение оползневой активности имеет большое значение для Кыргызстана, на территории которого третья часть всех ежегодного объема материального ущерба и человеческих потерь приходится на оползни. Трудность изучения этого явления объясняется сложным взаимодействием причин, вызывающих оползневую активность. В [1] даже приведено логическое дерево, изображающее возможное развитие процесса в зависимости от крутизны склона, механических свойств оползневой толщи и ее влагонасыщенности. Очевидно, что в сейсмоактивных районах в число основных причин, вызывающих оползни, входят и землетрясения. В подавляющем большинстве работ, исследователи пишут о триггерном воздействии землетрясений. В случаях сильных землетрясений это не вызывает сомнений. Однако практически не встречается работ, посвященных анализу фоновой сейсмичности в связи с оползневой деятельностью.

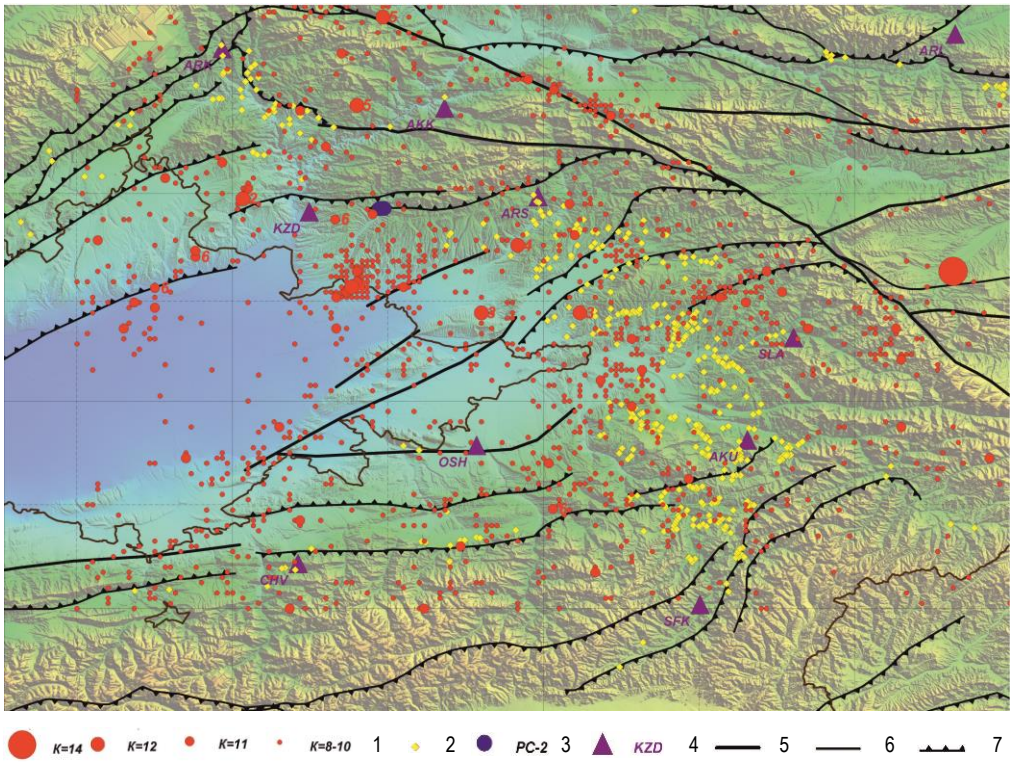
Исследование пространственно-временного распределения гипоцентров землетрясений во всем регистрируемом диапазоне энергий и механизмов их очагов в сопоставлении с оползневой деятельностью, а также метеорологическими данными были начаты нами для территории Северного Тянь-Шаня. Использованы данные кыргызской сейсмологической сети KNET, являющейся частью сети IRIS [2, 3]. По результатам исследований было высказано предположение, что на данной территории оползни являются самостоятельным деформационным процессом определенного масштабного уровня, происходящим в краевых частях структур современных поднятий. Так же как и землетрясения, они связаны с геодинамической обстановкой, с полем напряжений земной коры. Их активизация происходит тогда, когда после некоторой стабилизации горизонтального сжатия, происходит резкое изменение направления сжатия, а именно, направление его действия отклоняется от горизонтального положения. Оползневая активизация усиливается, если на вышеописанные условия напряженного состояния накладываются атмосферные осадки (особенно снежного покрова), уровень которых превышает долговременные средние значения. Наблюдается тенденция синхронного проявления увеличения активности оползневых явлений и увеличения уровня фоновой сейсмичности.

Еще более высокий уровень опасности имеют оползни юго-западной части территории Кыргызстана. Эта часть территории Тянь-Шаня отличается от территории Северного Тянь-Шаня по многим параметрам. Уровень сейсмической активности здесь примерно в три раза выше; хотя таких сильных землетрясений, как на Северном Тянь-Шане, здесь не происходило за историческое время. Отличаются территории и историей развития. Если Западный Тянь-Шань находится в сфере влияния Памиро-Гималайской коллизии и его структура обусловлена вращением Ферганского блока, то горная система Центрального Тянь-Шаня является относительной автономией и развивается в обстановке транспрессии [4]. Существенные различия наблюдаются и в глубинной структуре [5, 6]. Если на Северном Тянь-Шане (Чуйская впадина) отчетливо проявляется мозаика разноскоростных блоков в мантии и не наблюдается гетерогенности структуры земной коры, то глубинная структура к западу от Таласо-Ферганского разлома, напротив, характеризуется спокойной мантией с постепенным увеличением скорости с глубиной, а неоднородности отмечаются в пределах земной коры.

Таким образом, территория Ферганской впадины и ее горного обрамления (северо-восточная часть) имеет свои особенности развития и структуры. По этой причине выводы, полученные для территории Северного Тянь-Шаня, автоматически не могут быть перенесены на этот регион и для юго-западной части территории Кыргызстана необходимо провести комплекс сопоставительного анализа. Толчком к проведению таких исследований послужило Соглашение между GFZ (Центр исследований Земли, ФРГ), ЦАИИЗ (Центрально-Азиатский Институт

прикладных исследований Земли, Кыргызстан) и МЧС Кыргызстана, по которому на территории горного обрамления Ферганской впадины в сентябре 2009 г. была установлена временная сеть цифровых сейсмических станций (21 станция) сроком на один год (рисунок 1). Площадь исследования ограничена координатами 40 - 42° по широте и 71.5 - 74.5° по долготе. Именно в пределах этой территории с 1996 г. Научно-инженерный центр «Геоприбор» проводил стационарные наблюдения на оползневых участках в районе населенного пункта Майлисай. В настоящей работе обсуждаются результаты сопоставительного анализа подвижек тела оползней и микротолчков с целью выяснения закономерных связей сейсмических и оползневых процессов [7].

При исследованиях использованы данные наблюдений с радиосигнализаторами (экстензометрами), установленными на оползневых склонах Майли-Сая в четырех пунктах (РС-1, РС-2, РС-3 и РС-4, рисунок 2) Научно-инженерным центром «Геоприбор», а также данные о микротолчках, зарегистрированных национальной мониторинговой сетью Института сейсмологии НАН КР (ИС). Кроме того, были использованы каталоги землетрясений и механизмов их очагов по территории Кыргызстана [8]. На рисунке 2 показаны пункт РС-3 на правом берегу реки Майлы-Суу, пункты РС-1, РС-2 и РС-4 - на левом берегу, более детально показаны эпицентры землетрясений, которые произошли за время инструментальных наблюдений на оползнях Майли-Сая, а также сошедшие оползни, зарегистрированные МЧС КР. Из рисунка 1 можно видеть, что, как и для территории Северного Тянь-Шаня, места скопления эпицентров землетрясений и оползней не совпадают, а местоположение большого количества оползней контролируется линиями активных разломов. Однако, в отличие от Северного Тянь-Шаня, значительное количество оползней наблюдается также на удалении от линий разломов.



1 – эпицентр землетрясения (с указанием балльности К по шкале интенсивности), 2 – оползень, 3 – населенный пункт Майлису, 4 – сейсмическая станция. Активные разломы по данным Миколайчука А.В [4]: 5 – вертикальные основные, 6 – второстепенные, 7 – надвиги

Рисунок 1. Карта района исследований с эпицентрами землетрясений и оползней за период 1996 - 2005 гг.

По уровню величин подвижки оползней пункты сильно различаются, однако наблюдается их удивительная синхронность, особенно отчетливо проявленная в 1998, 1999 и 2003 гг. На рисунке 3 показаны абсолютные величины подвижек (в мм) на четырех пунктах наблюдений (РС-1, РС-2, РС-3 и РС-4).

Всего за время инструментальных наблюдений было зафиксировано семь заметных подвижек оползней – в начале января 1997, в апреле-мае 1998, в апреле-мае 1999, в январе 2000, в 2002, в апреле 2003, с февраля по июнь 2004 гг. Очевидно, что движения происходили в основном в весенний период во время активного таяния снежного покрова. Поскольку движения оползней, зарегистрированные на всех пунктах инструментальных наблюдений, синхронны, анализ данных проведен по пункту РС-4 (рисунок 4).

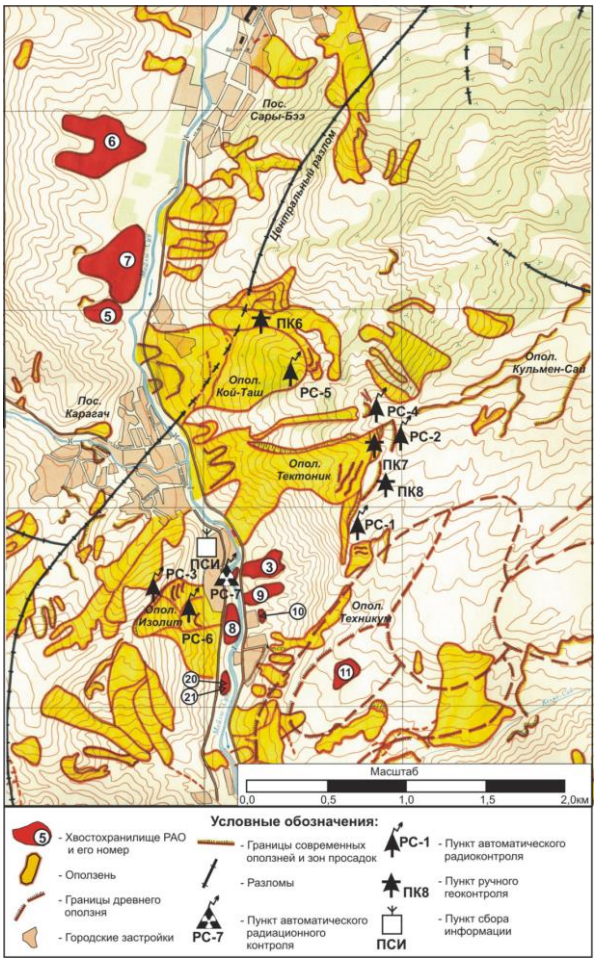


Рисунок 2. Западный Тянь-Шань. Схема пунктов инструментального мониторинга оползней Майли-Сая

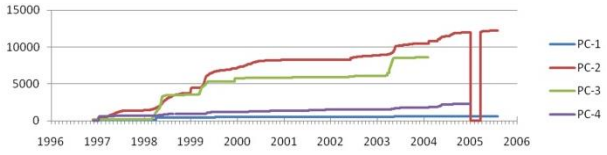


Рисунок 3. Перемещение оползней в Майлисуу в четырех пунктах наблюдений с 1997г. по 2006 г.

Из рисунка 4 видно, что в 1998, 1999 и 2005 гг. движение оползня на пункте РС-4 совпадает с увеличением количества осадков. Также видно, что в 1998 г. и 2005 г. движение оползня начиналось несколько раньше обильных осадков. Вместе с тем, в 2002 г. значительное увеличение (более чем в два раза) количества осадков привело к незначительным подвижкам оползня, тогда как в [9] отмечается, что активизация оползней наблюдается при 40 – 50% увеличении количества осадков по сравнению со среднегодовыми. В 2001 г. и 2003 г. движение оползня происходило при обычных средних значениях количества осадков. Не видно однозначной связи активизации оползня с началом землетрясения. Наиболее сильное землетрясение (К=14.6) здесь произошло за линией простирания Таласо-Ферганского разлома (рисунок 1) и в соответствии с корреляционными соотношениями [1, 2] не должно было повлиять на активизацию оползня из-за большого удаления, однако на рисунке 4 отчетливо видно совпадение во времени этого события с заметной подвижкой оползня. Эпицентры землетрясений умеренной силы (с К=12) расположены от пункта инструментальных наблюдений на удалениях, превышающих 40 км и также не должны влиять на поведение оползня. Из рисунка 4 можно видеть, что землетрясения 1998 г. и 2001 г. действительно произошли в период времени, когда состояние оползня оставалось стабильным, а заметные подвижки оползня произошли на несколько месяцев раньше этих землетрясений. Следует отметить, что заметной активизации оползня в 2004 г. не соответствовало ни возникновение землетрясения, ни увеличение количества осадков. Однако каждый раз, когда начинались смещения оползня, угол погружения оси сжатия увеличивался, т.е. направление сжатия отклонялось от горизонта. В 2003 г. смещение оползня совпало по времени и с увеличением угла погружения оси сжатия и с землетрясением. Обычно в случае совпадения по времени движения оползня и землетрясения говорят о триггерном воздействии. Этот случай рассмотрен подробнее.



Рисунок 4. Наблюдательный пункт РС-4. Изменение во времени угла погружения оси сжатия (верхний график), количества осадков (нижний график) и смещения оползня (зеленый график)

Из рисунка 3 видно, что небольшие подвижки оползня в пунктах РС-2 и РС-3 начались к лету 2002 г., когда выпало значительное количество осадков. Движение оползня стало более активным в начале 2003 г. Можно видеть (рисунок 4), что именно с этого времени начинается увеличение угла погружения оси сжатия. Одновременно с землетрясениями происходят значительные подвижки оползней на всех четырех пунктах (на РС-1 и РС-4 – меньше, на пунктах РС-2 и РС-3 – больше). Затем на пункте РС-3 движение оползня прекращается и, к сожалению, поступление данных – тоже. А на пунктах РС-2 и РС-4 движение оползней продолжается. Причем в январе 2004 г. величины смещений возрастают, и опять же, синхронно с увеличением угла оси сжатия с горизонтом.

На рисунке 5 показаны эпицентры землетрясений с K≥11.6, времена возникновения которых отмечены на рисунке 4 (розовые столбики). Землетрясения 2003 г. на рисунке 5 отмечены номерами 5 и 6, а землетрясения 2005 г. – номерами 7 и 8.

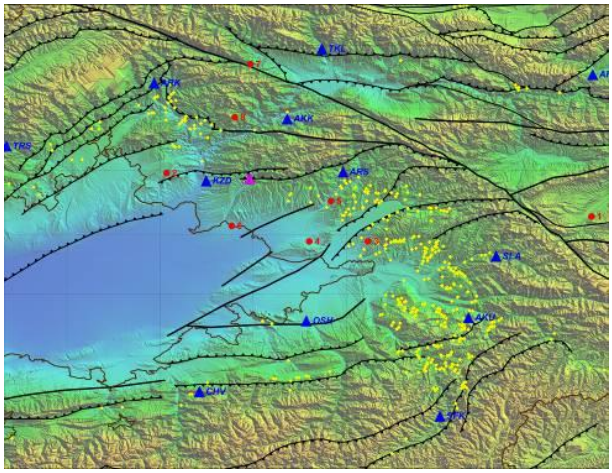
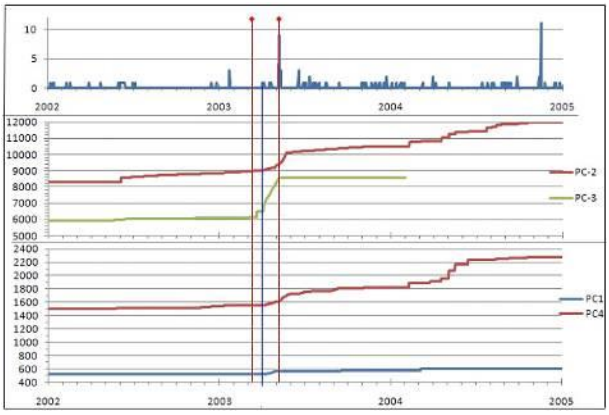


Рисунок 5. Западный Тянь-Шань. Эпицентры землетрясений с K≥11.6 за период 1996 - 2005 гг.

Ближе всех к оползням Майли-Сая расположена станция Кызыл-Джар (KZD). На рисунке 6 показаны микротолчки, зарегистрированные этой станцией, и подвижки оползня. Подвижки в пунктах PC-2 и PC-3 показаны в виде отдельного графика.



красная вертикальная линия – начало землетрясений 9 марта и 5 мая 2003; синяя линия – начало регистрации микротолчка на станции KZD

Рисунок 6. Временной ход величин смещений оползней и количества микротолчков, зарегистрированных сейсмической станцией KZD

Как уже было сказано выше, к лету 2003 г. после обильных осадков на всех пунктах (кроме PC-1) начались незначительные подвижки, которые к концу года прекратились. Первое землетрясение, которое произошло 9 марта 2003 г. к востоку от Майлисая и станции KZD на расстояниях 50 и 75 км, соответственно, не повлияло на поведение оползней. Ситуация изменилась 4 апреля 2003 г. На всех четырех пунктах активизация оползней началась одновременно с регистрацией микротолчков станцией KZD. Через месяц, 5-го мая 2003 г., происходит землетрясение такой же энергии, как предыдущее, но его эпицентр расположен к югу от Майлисая и KZD, примерно на одинаковом расстоянии (30 км). На пунктах PC-1 и PC-3 движения прекратились, а на пунктах PC-2 и PC-4, напротив, возрасли. В сейсмологии известны факты, когда одни землетрясения предваряются микротолчками (наиболее информативный прогностический признак), а другие - нет. В [10, 11] показано, что землетрясения умеренной силы не предваряются предвестниками и не сопровождаются афтершоками, если они происходят в условиях горизонтального сжатия. Землетрясение 9 марта 2003 г. по данным о механизме его очага произошло при горизонтальном меридиональном сжатии и горизонтальном широтном растяжении, а землетрясение 5 мая 2003 г. – при угле погружения оси сжатия, равном 40° и азимуте 330°. Для оси растяжения – это 40° и 100°, соответственно. Рассмотренный случай убедительно показывает, что отклонение направления сжимающих усилий от горизонта играет существенную роль в оползневой активности. Из приведенного примера видно, что движение оползней начинается одновременно с микротолчками, т.е. сейсмический и оползневой процессы начинаются синхронно, независимо друг от друга, а затем произошедшее землетрясение может оказывать дополнительное воздействие на тело оползня.

На двух других сейсмических станциях – Арсланбоб (ARS) и Ала-Арча (AKK), ближайших к Майли-Саю, поведение микротолчков (рисунок 7) различно.

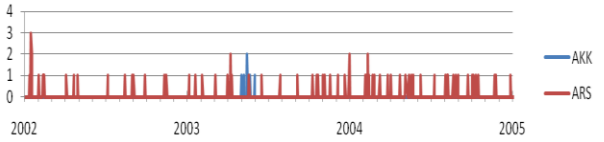


Рисунок 7. Количество микротолчков, зарегистрированных станциями AKK и ARS

На станции AKK микротолчки наблюдались только в апреле - мае 2003 г., т.е. одновременно с микротолчками землетрясения 5 мая 2003 г, которые были зарегистрированы на станции KZD. На станции ARS тоже несколько увеличивается количество микротолчков в апреле, но однозначно говорить об их приуроченности к этому землетрясению нельзя.

Таким образом, также как по территории Северного Тянь-Шаня, на исследованной территории прослеживается связь оползневых процессов с геодинамической обстановкой, с полем напряжений земной коры. Главным выводом настоящей статьи является то, что начало активизации оползней в виде малых подвижек (2-3 см в сутки) происходит синхронно с возникновением микротолчков, регистрируемых сейсмической станцией. Иными словами, начало активизации оползня и начало сейсмической активизации на микроуровне – это два независимых процес-

са, вызванных одной и той же причиной, а именно резким отклонением сил сжатия от горизонтального положения.

Огромное влияние атмосферных осадков на устойчивость склонов очевидно, однако называть их главной причиной оползневых процессов нельзя в силу полученных результатов. Это вопрос самостоятельного исследования.

Литература

1. Keefer, D.K. The susceptibility of rock slopes to earthquake induced failure / D.K. Keefer // Association of Engineerin Geologists Bulletin, 1993. – v. 30 – pp. 353 - 361.
2. Кальметьева, З.А. О взаимосвязи оползней и землетрясений / З.А. Кальметьева [и др.] // Изв. НАН КР, 2010. – № 4 – С. 19 - 27.
3. Kalmeteva, Z Towards on principal reasons of landslides occurrence in seismic active environment / Z Kalmeteva, B. Moldobekov // Geophysical Research Abstracts, 2011. – Vol. 13 – EGU2011-323-1.
4. Кальметьева, З.А. Атлас землетрясений Кыргызстана / З.А. Кальметьева [и др.] // Бишкек: ЦАИИЗ ISBN 978-9967-25-829-7, 2009. – www.caiag.kg.
5. Бакиров, А.Б.(Отв. ред.) Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью / А.Б. Бакиров / Бишкек: Илим, 2006. – 115 с.
6. Сабитова, Т.М. Скоростные неоднородности литосферы Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Материалы четвертого международного симпозиума 15-20 июня 2008 года / Т.М. Сабитова, Н.Х. Багманова, Е.Л. Миркин / Москва-Бишкек, 2009 – С. 406 - 415.
7. Кальметьева, З.А. Оползневые процессы и поле напряжений земной коры по данным о механизмах очагов землетрясений (на примере Тянь-Шаня) / З.А Кальметьева [и др.] / Материалы Третьей тектонофизической конференции в ИФЗ РАН «Тектоника и актуальные вопросы наук о Земле». 8 - 12 октября 2012, Москва, Россия.
8. Сборники «Землетрясения Северной Евразии» Геофизическая служба РАН, Обнинск, Россия. – Режим доступа: (http://www.ceme.gsras.ru), свободный.
9. Meleshko, A.V. Modern Landlides of Kyrgyzstan: retrospective analysis of their development at representative sites / A.V. Meleshko, Sh.E Usupaev, I.A. Torgoev / Abstacts Volume “Maasive Rock Slope Failure: New Models for Hazard Assesssment” // NATO Advanced Research Workshop. Celano, Abruzzo Italy, June 16-21, 2002. – p. 97.
10. Кальметьева, З.А. Сейсмичность: пространственно-временное распределение, механизмы очагов и природа землетрясений. В кн. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). (Отв. Редактор - В.И. Макаров) / З.А. Кальметьева // М.: Научный мир. 2005. – С. 135 -1 56.
11. Кальметьева, З.А. Вариации поля напряжений Тянь-Шаня по данным о механизмах очагов землетрясений / З.А. Кальметьева, Б.И. Ильясов, Р.А. Чеховская // Материалы Второго Международного симпозиума «Активный геофизический мониторинг литосферы Земли» 12-16 сентября 2005, Новосибирск.

ЖЫЛЖЫМАЛАРДЫ ЗЕРДЕЛЕУ ҮШІН ҚЫРҒЫСТАН ҰЛТТЫҚ АКАБЕМИЯСЫНЫҢ СЕЙСМОЛОГИЯ ИНСТИТУТЫНЫҢ ҰЛТТЫҚ МОНИТОРИНГ ЖЕЛІСІН ПАЙДАЛАНУ

[1)]Кальметьева З.А., [2)]Берёзина А.В., [2)]Молдобекова С.К., [3)]Торгоев И.А.

[1)]Жерді қолданбалы зерттеу Орта-Азиялық институты, Бишкек, Қырғызстан
[2)]Қырғыз Республикасы Ұлттық Ғылымдар академиясының Сейсмология институты, Бишкек, Қырғызстан
[3)]Қырғыз Республикасы Ұлттық Ғылымдар академиясының «Геоприбор» ғылыми-инженерлік отралығы

Сейсмологиялық деректерді (жерсілкінулердің ошақтары кеңістік-уақыттық таралу, олардың механизмдері, сондай-ақ микросоққылары) Майлисуу ауданында жылжымалар қозғалуына инструменталдық байқаулар нәтижелерімен салыстыру негізінде Солтүстік Тянь-Шань аумағы үшін жер қыртысының қысылу осі горизонталь бағытынан кенет ауытқуы жылжымалар белсенудің елеулі факторы болып табылатыны туралы бұрын жасалған қорытындысы расталады.

DATA OF THE NATIONAL MONITORING NET OF IS NAS KR FOR LANDSLIDES STUDYING

[1)]Z.A. Kalmetieva, [2)]A.V. Berezina, [2)]S.K. Moldobekova, [3)]I.A. Torgoev

[1)]Central Asian Institute for Applied Geosciences (CAIAG), Bishkek, Kyrgyzstan
[2)]Institute of Seismology of National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic (IS NAS KR), Bishkek, Kyrgyzstan
[3)]Scientific-Engineering Center “GEOPRIBOR”, NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan

On the basis of comparison of seismological data (the earthquake sources space-time distribution, their mechanisms, and also microshocks) with results of landslide movements instrumental observations in Majlisuu area they prove to be true the conclusion made earlier on territory Northern Tien-Shan that the essential factor of landslide activization is the sharp the compression axis deviation from a horizontal direction.

УДК [550.83:681.3]:621.039

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ ПРИЕМНИКИ И ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Мариненко В.А., Максимов Е.М., Шевченко В.П.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Представлена новая электроразведочная аппаратура, параметры которой позволяют использовать ее для отслеживания малых вариаций сопротивления и вызванной поляризации. Аппаратура создана для выполнения мониторинга глубинных геофизических процессов, в частности, для ее применения на объектах атомной энергетики и в местах ранее проведенных подземных ядерных взрывов.

Анализ предшествующих геофизических наблюдений, выполненных на объектах атомной энергетики, показал, что точности и стабильности аппаратуры, используемой при поисках и разведке полезных ископаемых, как правило, недостаточно для ведения мониторинга геологических, гидрогеологических и технологических процессов. В [1] показано, что для оценки динамики суточных вариаций электрических полей необходимо, чтобы нестабильность измерительной системы за время измерений была не более 0,1%. В таблице 1 приведены погрешности известных многоканальных приемников, показывающие, что эти приемники не пригодны для контроля малоамплитудных изменений сигналов.

Для обеспечения мониторинга недр на испытательных полигонах на начальном этапе (2000 – 2008 гг.) разработаны одноканальный приемник ВПФ-210 (рисунок 1), а также генераторы мощностью 2 и 5 кВт.



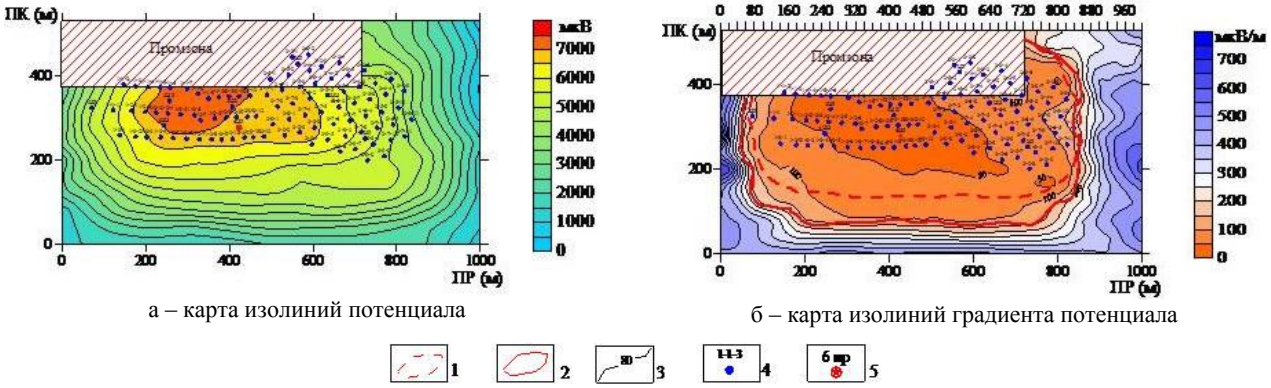
Рисунок 1. Приемник ВПФ – 210

В этих приборах сохранены достоинства аппаратуры, предназначенной для поиска и разведки полезных ископаемых (ВП-Ф, ЭВА-203, ЭВП-203, ЭИН-204, ЭИН-209, ГЭР-208, ЭИН-2000), разработанной ранее авторами статьи. Эта аппаратура до сих пор используется в Казахстане, России, Украине, Кыргызстане, Китае. В приемнике ВПФ – 210 и в генераторах использованы современная (на время окончания разработки) элементная база и новые технические решения, что позволило улучшить ряд параметров аппаратуры, в том числе точность и стабильность, и расширить ее функции. Основное отличие приемника ВПФ-210 от приборов аналогичного назначения: большой динамический диапазон, обусловленный использованием 24-разрядного АЦП, высокая помехоустойчивость, определяемая применением аналоговых и цифровых фильтров, а также статистической обработкой сигнала и точность до 0,2 %, что в пять раз лучше, чем у известных авторам аналогов. Приборы успешно используются в условиях Семипалатинского испытательного полигона при режимных наблюдениях за изменениями геофизических полей – электрического сопротивления, вызванной поляризации, – а также при проведении инженерных изысканий, в том числе под строительство объектов ядерной энергетики.

Достигнутый технический уровень аппаратуры позволил при ее эксплуатации провести исследовательские работы по совершенствованию методик измерений, что позволило создать методики мониторинга гидродинамических процессов и контроля за растеканием рабочих растворов при подземном скважинном выщелачивании (ПСВ) урана с применением геофизических методов. Выполнены четырехлетние исследования растекания раствора при добыче урана методом подземного выщелачивания, результаты которых подтверждают возможность контроля миграции выщелачивающего раствора (рисунок 2).

Таблица 1. Многоканальные приемники

Наименование показателей	GDP-16 Zonge США	ИМВП ООО Северо-Запад Россия	Supersting R8/IP Advanced Geosciences, Inc. США	Скала-64М Институт нефтегазовой геологии и геофизики Россия
Диапазон измеряемых напряжений, мВ	0,001-10000	0,002-2500	10000	0,1-250000
Погрешность измерения амплитуды, %	1	–	1	1



а – карта изолиний потенциала

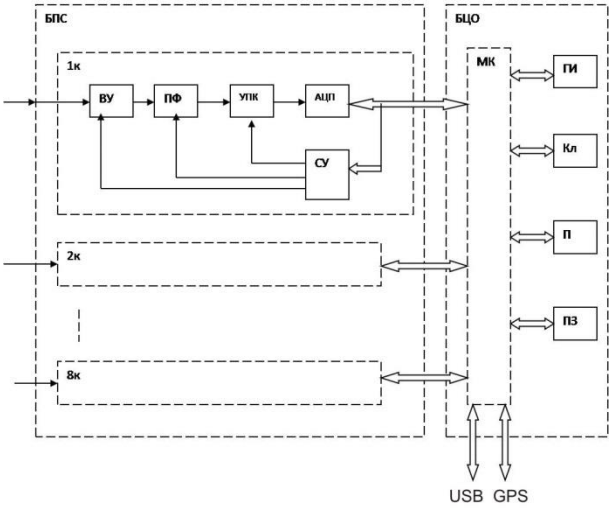
б – карта изолиний градиента потенциала

1 - граница области закисления пород продуктивного горизонта по данным 2003 г.; 2 – то же по данным 2006 г.;
3- изолинии потенциала и его градиента; 4 - технологическая скважина и ее номер; 5- зарядная скважина

Рисунок 2. Пример данных электроразведки по контролю за растеканием выщелачивающего раствора на одном из месторождений урана



Рисунок 3. Восьмиканальный приемник ВПФ-8К



БПС – блок преобразования сигналов; 1к ÷ 8к – усилительно-преобразовательные каналы; ВУ – входное устройство; ПФ – программируемые фильтры; УПК – усилители с программируемым коэффициентом; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; СУ – схема управления; БЦО – блок цифровой обработки и управления; МК – микроконтроллер; ГИ – графический индикатор; Кл – клавиатура; П – память; ПЗ - пьезозвонок

Рисунок 4. Структурная схема приемника

Получены хорошие отзывы о применении аппаратуры при поисках и разведке руд цветных металлов в АО «Казцинк». Для проверки соответствия параметров разработанной аппаратуры заданным техническим требованиям созданы методики калибровки, базирующиеся на использовании как стандартных средств измерений, так и на специализированных приборах, разработанных ранее авторами, изготовленных в Казахстане и внесенных в государственные реестры средств измерений Казахстана и России [2, 3].

Разработки, выполненные в последнее годы, были направлены, прежде всего, на снижение уровня измеряемых сигналов и погрешностей измерения, а также на увеличение устойчивости к промышленным и естественным помехам, увеличение количества каналов и снижение энергопотребления приемника. Новый многоканальный приемник по нижнему уровню измеряемых сигналов превосходит известные аналоги, что, при прочих равных условиях, позволяет использовать генераторы меньшей мощности. Восьмиканальный приемник ВПФ-8К (рисунок 3) разработан для мониторинга геологических и технологических процессов, а также для поиска и разведки полезных ископаемых, проведения инженерных и гидрогеологических изысканий.

Приемник (рисунок 4) содержит два основных блока: БПС – блок преобразования сигналов; БЦО – блок цифровой обработки и управления (блок питания на схеме не показан).

Усилительно-преобразовательные каналы 1к ÷ 8к содержат входное устройство (ВУ), выполняющее

следующие функции: подавление синфазных сигналов и радиопомех; компенсация постоянной составляющей сигнала; усиления сигнала; контроль выходного сопротивления приемных линий. Программируемые фильтры (ПФ) предназначены для подавления помех. Усилители с программируемым коэффициентом (УПК) усиления предназначены для уменьшения влияния шумов АЦП.

АЦП предназначены для дискретизации, преобразования в цифровой код и предварительной цифровой фильтрации сигналов. Схема управления предназначена для управления ВУ, ПФ и УПК.

Блок цифровой обработки и управления (БЦО) предназначен для: обеспечения диалога оператора и системы при помощи графического индикатора (ГИ) и клавиатуры (Кл): задание режимов работы, рабочих частот, измеряемых параметров, ввод служебной информации, визуализация сигналов и данных, вывод сообщений и звуковых сигналов; приема и обработки данных, поступающих из БПС, в том числе линейная и нелинейная фильтрация, вычисление коэффициентов разложения Фурье и целевых параметров и их статистическая обработка; формирования сигналов управления для БПС; синхронизации работы нескольких систем GPS; передачи данных в компьютер по шине USB.

Датчиками сигналов, поступающих на входы каналов, обычно служат заземленные приемные линии, поэтому вместе с полезным сигналом приходят помехи естественного и индустриального происхождения, причем спектр помех может быть от постоянной составляющей до радиочастот, а их амплитуда может превосходить полезный сигнал в тысячи раз. Для обеспечения возможности преобразования сигнала с необходимой точностью выполняется фильтрация помех и компенсация постоянной составляющей, которая производится специальными малошумящими устройствами. ПФ и УПК предназначены для ослабления помех и усиления сигнала с целью обеспечения на входе АЦП наибольшего соотношения сигнал/шум. С выхода АЦП (31 бит) оцифрованный сигнал поступает в микроконтроллер, где происходит дальнейшая обработка и вычисление параметров. Для определения постоянной составляющей вычисляется сумма дискретных выборок за период рабочей частоты.

В процессе обработки сигнал в цифровом виде пропускается через гребенчатый фильтр, который имеет коэффициенты передачи, равные единице на частотах, совпадающих с нечетными гармониками сигнала и равные нулю в узлах, соответствующих четным гармоникам, в том числе – нулевой. Такие цифровые фильтры не искажают полезный сигнал, но при этом позволяют эффективно подавлять низкочастотные помехи, к которым относятся, в основном, теллурические сигналы и шумы приемных электродов, и ту часть спектра помех, которая не лежит в окрестностях нечетных гармоник полезного сигнала. В частности, этим фильтром дополнительно эффективно подавляется промышленная помеха 50 Гц. Отфильтрованные дискретные значения сигнала используются для вычисления целевых параметров, которые различаются в зависимости от заданного оператором режима.

Прибор может работать в следующих режимах: измерений, диалога с оператором, вывода данных в компьютер и измерения сопротивления приемной линии. В режиме измерений прибор может работать во временной области (дискретные измерения) и в частотной области (гармонический анализ). При работе в частотной области определяются:

– постоянная составляющая сигнала;
– коэффициенты разложения Фурье;
– амплитуды первой, третьей, пятой, седьмой и девятой гармонических составляющих сигнала;
– до четырех двухчастотных фазовых параметров вызванной поляризации, вычисляемых по значениям фаз пар гармоник сигнала: первой-третьей, третьей-девятой, пятой-пятнадцатой и седьмой - двадцать первой.

Фазовые параметры при двухчастотных измерениях определяются формулой [4]

$$\varphi_{m,n} = \frac{n \cdot \varphi_m - m \cdot \varphi_n}{n - m}, \qquad (1)$$

где: m и n – номера гармоник сигнала, φ_m и φ_n – их фазы.

Амплитуда измеряется в милливольтах, фазовые параметры – в градусах или миллирадианах. Необходимо отметить два важных свойства двухчастотных фазовых измерений, основанных на измерениях параметров гармонических составляющих сигнала:

1. Для определения двухчастотного фазового параметра не требуется синхронизации, т.к. $\varphi_{m,n}$ не изменяется от выбора опорной точки для отсчета φ_m и φ_n.

2. Использование алгоритма, определяемого формулой (1), позволяет исключить из величины двухчастотного параметра слагаемое, которое связано с влиянием индукции, если оно линейно зависит от частоты, что облегчает выделение поляризационных эффектов на фоне индукционных. А снижение рабочей частоты является эффективными средством определения истинного фазового параметра, так как влияние индукции снижается, а эффект ВП сохраняется.

При работе в частотной области возможно определение знака амплитуды сигнала относительно знака тока в питающей линии, что необходимо при работах методом заряд-градиент и при поисках повреждений гидроизоляции подземных металлических сооружений.

При дискретных измерениях вызванной поляризации в заданном канале (лучше выбирать канал с максимальным соотношением сигнал / помеха) оты-

скивается фронт сигнала, остальные каналы синхронизируются по этому фронту. Фронтом считается момент максимального значения его первой производной. Относительно фронта задаются временные интервалы (стробы), в которых измеряются значения напряжений сигнала. Положение этих интервалов задается в долях полупериода установленной частоты сигнала. Напряжение в первом из стробов (200/256) - он находится в конце полупериода, - используется для вывода на индикатор и для записи в память в качестве “напряжения пропускания”. Остальные стробы находятся в первой четверти полупериода, по напряжениям в них определяются относительные параметры сигнала, характеризующие степень его отличия от прямоугольной формы, которое возникает вследствие действия процессов ВП и электродинамических эффектов.

Для работы в условиях воздействия сильных помех предусматриваются следующие способы статистической обработки:

– “без обработки” – на дисплей выводятся необработанные значения целевых параметров, этот метод может быть использован для оценки уровня помех;

– “среднее” – выводится оценка по алгоритму выборочного среднего;

– “медиана” – оценка, устойчивая к воздействию редких импульсных помех.

Статистическая обработка данных в сочетании с аналоговой фильтрацией (фильтры 4 порядка), цифровой фильтрацией и 31-битным аналого-цифровым преобразователем обеспечивают уверенный прием зашумленных сигналов амплитудой до 10^{-7} В, порог чувствительности приемника при работе в частотной области не превышает 10^{-8} В.

К основным достоинствам нового приемника относятся:

– высокая помехоустойчивость за счет применения аналоговой и цифровой фильтрации, а также статистической обработки оценок сигнала;

– широкий динамический диапазон, определяемый применением АЦП с разрешением 31 бит;

– возможность работы в частотном и импульсном режимах;

– способность определения знака сигнала для работ методом «заряд – градиент»;

– одновременное измерение по каждому из каналов до двадцати параметров сигнала при импульсных измерениях и до девяти – при частотных;

– удобный диалог, вывод параметров и сигнала на графический дисплей (160×128);

– автоматическая компенсация и установка коэффициента усиления;

– возможность регистрации непрерывных сигналов.

В таблице 2 приведены основные параметра приемника ВПФ-8К.

Таблица 2. Основные параметры приемника ВПФ-8К

Диапазон рабочих частот, Гц	0,019 - 4,88
Диапазон измеряемых напряжений, мВ	0,0005 - 4500
Погрешность измерения напряжения, % по специальным требованиям	0,5 0,2
Погрешность измерения фазовых параметров, градус	0,02
Входное сопротивление, МОм	10
Подавление помех частотой 50 Гц не менее, дБ	100
Объем встроенной памяти, Г байт	4
Средняя потребляемая мощность, Вт	3,6
Масса приемника с батареей питания, кг	3,6

Для реализации достигнутых в новом приемнике возможностей необходимо, чтобы зондирующий ток (разнополярные импульсы) был стабильным во времени, не изменялся при изменении переходного сопротивления питающих электродов и напряжения на выходе автономного бензоэлектрического агрегата.

Таблица 3 показывает, что точность задания тока в современных электроразведочных генераторах не соответствует достигнутой в приемниках ВПФ-210 и ВПФ-8К, поэтому для использования этих генераторов при проведении наблюдений с высокой точностью необходимо выполнять контроль тока в питающей линии синхронно с измерениями на приемных электродах, что приводит к дополнительным погрешностям и увеличивает затраты.

Оценка технического уровня генераторов возможна лишь на основе определенных критериев, которые выбраны, исходя из изложенных далее предпосылок. Основная функция генератора – возбуждение электромагнитного поля в среде путем пропускания тока через заземляющие электроды линии АВ. Источником информации является сигнал, снимаемый с приемных электродов линии MN. Чем больше этот сигнал, тем точнее измеряются искомые параметры, тем более качественные данные получают при съемке. Уровень сигнала прямо пропорционален току в питающей линии АВ. Поэтому выходной ток генератора является одним из наиболее важных параметров, характеризующих технический уровень генератора.

Таблица 3. Генераторы зондирующих воздействий. Сравнительные характеристики

Наименование п оказателей	ГЭР-2 НЯЦ РК 2003 г.	TSQ-2E/750 Scintrex Ltd, Канада	GGT-6 Zonge Engine-ring, США	T-3 Phoenix Geophy-sics, Канада	ГЭР-ЭВП-203 Казгео-физприбор	ГЭР-208 Казгео-физприбор	Астра ООО Се-веро-Запад Россия	TLT-2000W Теллур Россия
Диапазон нагрузок, Ом	8-5000	5-10000	-	-	-	5÷10000	5-250000	50-3000
Максимальная выходная мощность, Вт	2000	750	6250	250-3000	6000	1000	100	2000
Диапазон выходных токов, А	0,2-15	0,1-5	0,2-20	0,03-10	1÷15	0,05÷10	0,001-1	0,3-5
Рабочие частоты, Гц	0,005-312,5	0,1-3	0,001-1000	-	$312,5/2^n$ n=0…12	$312,5/2^n$ n=0…17	0,076-2500	0,038-4,88
Нестабильность выходного тока, %	0,1	0,1	0,1	-	0,5	0,3	0,1	3
Нестабильность частоты выходного тока, %	0,001	0,01	-	-	0,003	0,003	10^{-5}	$3 \cdot 10^{-8}$
Погрешность задания/измерения выходного тока, %	1	0,5	1	-	2	1	1	3
Первичный источник	Авто-номный источник 220 В, 50 Гц	Спец-источник 126 В, 400 Гц	Спец-источник 126 В, 400 Гц	-	Спец-электро-станция 220 В, 400 Гц, ≥ 8 кВт	любая электро-станция ≥1,5 кВт	12 В пост. тока	Авто-номный источник 220В, 50 Гц
Выходное напряжение, В	1000	-	-	100-1200	950	1000	250	950
Реализуемые методы	ВП, ЭС (частотный вариант)	-	-	ВП, МПП	ВП, ЭС (частотный вариант)	ВП, ЭС (частотный вариант)	Частотный	ВП, ЭС временной и частотн. вариант

Вторым важным параметром является выходная мощность, которая, при прочих равных условиях, способствует увеличению тока. Однако, увеличение сигнала путем увеличения выходной мощности менее эффективно, так как для удвоения сигнала мощность необходимо увеличить в четыре раза. В условиях, когда сложно получить хорошие заземления и на участках с высоким удельным сопротивлением среды, третьим фактором, позволяющим увеличить ток и сигнал, является уровень максимального выходного напряжения.

Перечисленные параметры характеризуют энерговооруженность генератора, которая очень важна сама по себе, но не менее важно и качество реализуемой энергии. Как было отмечено ранее, увеличение принимаемого сигнала за счет увеличения выходного тока генератора позволяет более точно и быстрее измерять нужные параметры на фоне собственных шумов приемных электродов и измерителя, а также различного рода помех промышленного характера и вариаций поля Земли. Но все это справедливо лишь в том случае, если генерируемый ток стабилен во времени и в нем отсутствуют пульсации, частота которых попадает в полосу принимаемого сигнала. В этой связи понятна важность таких параметров, как нестабильность выходного тока и погрешность задания выходного тока, которые нормируют эти показатели. От этих параметров в большой степени зависит достоверность полученной информации и во многом определяется время измерения на точке, т.е. производительность труда. Снижение этих погрешностей особенно актуально при мониторинге геофизических процессов. В новом генераторе ГЭР-5М (рисунок 5) удалось для широкого диапазона значений сопротивления нагрузки добиться высокой стабильности выходного тока и снижения погрешностей задания тока до 0,2%, т.е. соответствия погрешностей, достигнутых в приемниках ВПФ-210 и ВПФ-8К.

Генератор на частотах до 4,88 Гц поддерживает заданный ток при изменении сопротивления питающей линии R_{AB} на ± 30% (например, при подсыхании питающих электродов) с точностью не хуже 0,1% и, что очень важно, значение двухчастотного фазового параметра при этом не превышает 0,02 градуса. В таблице 4 приведены основные параметры генератора. В генераторе предусмотрены защиты от короткого замыкания и разрыва в цепи нагрузки, защиты от превышения выходных тока и напряжения, контроль температурного режима.

Таблица 4. Основные параметры генератора ГЭР – 5М

Максимальная выходная мощность, Вт – при питании от трехфазной электростанции – от однофазной	 5000 2000
Максимальное выходное напряжение, В	1000
Диапазон генерируемых токов, А	0,3-25
Диапазон сопротивлений нагрузки при постоянной времени не более 1 мс, Ом	3 - 3300
Диапазон рабочих частот, Гц	$625 / 2^n$, где n=0,1…15
Нестабильность частоты выходного тока, %	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Нестабильность выходного тока при изменении сопротивления нагрузки или входного напряжения на ± 20%,%, не более	0,05
Основная относительная погрешность установки выходного тока, %, не более по специальному требованию	0,5 0,2
Защита от разрыва и короткого замыкания нагрузки, а также от превышения максимальной выходной мощности	есть
Рабочий диапазон температур окружающего воздуха, ° С	−10…+50
Масса, кг, не более	32
Габаритные размеры, мм	635×275×390



Рисунок 5. Генератор ГЭР-5М



Рисунок 6. Генератор ГЭР-65W-500V

Применение «Генератора зондирующих импульсов тока мощностью 5 кВт» совместно с ранее разработанным приемником ВПФ-210 и новым приемником ВПФ-8К позволяет вести геофизический мониторинг методами сопротивления и вызванной поляризации с ранее недостижимой высокой разрешающей способностью и достоверностью.

Для решения широкого круга задач необходимо располагать генераторами различной мощности, при инженерных и гидрогеологических исследованиях удобно пользоваться легкими генераторами с питанием от аккумуляторных батарей. Мобильный электроразведочный генератор, отличающийся высокой точностью и стабильностью генерируемого тока, показан на рисунке 6. Параметры мобильного генератора приведены в таблице 5.

В мобильном генераторе, как и в мощном, есть система измерения основных параметров (выходные ток и напряжение, сопротивление нагрузки и выходная мощность), предусмотрены защита от разрыва питающей линии и короткого замыкания, сообщения оператору о неправильном задании режима.

Таблица 5. Параметры мобильного генератора

Максимальная выходная мощность, Вт	65
Максимальное выходное напряжение, В	500
Диапазон нагрузок при постоянной времени не более 0,5 мс, Ом	1-50000
Диапазон генерируемых токов, А	0,01-1,5
Основная относительная погрешность установки выходного тока, %	≤ ± 0,5
Нестабильность выходного тока при изменении входного напряжения или сопротивления нагрузки на ±10%, %	≤ 0,1
Диапазон частот, Гц	312,5 / 2^n-312,5, где n=1…15
Предел допускаемого относительного отклонения частоты от номинального значения, %	≤ 0,001
Диапазон входного постоянного напряжения, В	10-15
Температурный диапазон, ºС	−10…+50
Масса, кг	≤ 2,4 кг

Анализ параметров приемника ВПФ-8К, а также генераторов ГЭР-5М и ГЭР-65Вт-500В дает основание для вывода о том, что достигнутые в новой аппаратуре параметры позволяют использовать ее не только для поиска и разведки полезных ископаемых, но и для слежения за «тонкими» геодинамическими процессами, происходящими в геологической среде под воздействием естественных и техногенных факторов.

Литература

1. Максимов, Е.М. Электроразведочная аппаратура для мониторинга геодинамических и гидродинамических процессов / Е.М. Максимов, В.А. Мариненко, В.М. Стромов, В.П. Шевченко // Международная конференция EAGO «Saint Petersburg 2006» «Науки о Земле – Найти и извлечь», 16-19 октября 2006 г., Ленэкспо, Санкт Петербург, Россия. Тезисы доклада.
2. А.с.1076842 СССР, МКИ3 G 01 R 25/04. Фазозадающее устройство для геоэлектроразведки / В.А. Мариненко [и др.] (СССР). - № 3466722/ 18-21; заявл. 07.07.82 ; опубл. 28.02.84, Бюл. № 8. – 5 с.
3. Формирователь сигналов поверки измерителей ВП-Ф и ЭВП-203/ В.А. Мариненко [и др.] // Геофизическая аппаратура, 1998. - № 89. – С. 23 - 27.
4. Методические рекомендации по применению аппаратуры для низкочастотной фазовой электроразведки / А.В. Куликов [и др.] // М. – 1985 – 167 с.

ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕССТЕРДІҢ МОНИТОРИНГІ ҮШІН ЭЛЕКТРБАРЛАУ ҚАБЫЛДАҒЫШТАРЫ МЕН ГЕНРАТОРЛАРЫ

Мариненко В.А., Максимов Е.М., Шевченко В.П.

Геофизиклық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Параметрлері кедергі мен жасанды поляризацияның шағын вариацияларын бақылап қарау үшін мүмкіндік беретін жаңа электрбарлау аппаратурасы көрсетілген. Аппаратура тереңдегі геофизикалық процесстердің мониторингісін орындау үшін жасалаған, атап айтқанда оны атом энергетикасы объектілері мен бұрын жүргізілген жерасты ядролық жарылстыр жерлерде қолдану үшін.

ELECTROPROSPECTING RECEIVERS AND GENERATORS FOR MONITORING OF GEOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

V.A. Marinenko, E.M. Maksimov, V.P. Shevchenko

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The new electromagnetic survey equipment has been presented parameters of which allow to use it for tracking of small resistance variations and induced polarization. The equipment was made to implement monitoring of deep geophysical processes, in particular, to be applied in the facilities of nuclear power and in places of earlier conducted underground nuclear explosions.

УДК:621.039.9(25)

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ МЕСТ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Яковенко А.М.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Описано применение современных технологий, основанных на использовании сигналов от специальных искусственных спутников Земли, позволяющих определять положение точки на земной поверхности с повышенной точностью при проведении геоэкологичесских работ по изучению мест проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП).

Спутниковые технологии при изучении мест проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на СИП применяются для решения таких задач, как развитие съемочного обоснования; проведение топографической съемки; привязка точек геолого-геофизических наблюдений.

Для съемочного обоснования, являющегося основой выполнения топографических съемок, наиболее эффективным является использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Основные этапы работ при развитии съемочного обоснования с использованием ГНСС технологий включают в себя: выбор места и закрепление точек съемочного обоснования, полевые работы по сбору данных со спутников, обработка полученных данных и получение координат точек. Сбор данных спутниковых измерений велся двумя двухсистемными (GPS+ГЛОНАСС) двухчастотными (L1+L2) приемниками Spectra Precision EPOCH 35 [1]. Приемник Spectra Precision EPOCH 35 представляет собой моноблочный прочный корпус, в котором совмещены приемник, антенна, аккумуляторная батарея. Использование двухчастотных приемников (L1+L2) обеспечивал учет влияния ионосферы на результаты измерений расстояний [2, 3]. Применение двухсистемных приемников позволяло уменьшить затраты времени на накопление спутниковых данных при одновременном использовании сигналов от большего количества спутников. Накопление данных со спутников велся статическим методом [4], время накопления спутниковых данных для каждой базовой линии составляло 1 час, при интервале регистрации данных 5 сек. Обработка данных спутниковых наблюдений выполнялась программным пакетом Spectra Precision Survey Office v 2.70. В 2011 г. съемочное обоснование с использованием ГНСС создано на скважинах Глубокая, 1203, 1226, 1235, участка Балапан и на скважине 101 участка Сары-Узень (рисунок 1).

Точки съемочного обоснования на объектах закреплены деревянными маркерами высотой 0,5 м. В таблице приведен каталог использованных пунктов Государственной геодезической сети (ГГС) и точек съемочного обоснования на скважине 101. Точность в плане и по высоте дана по результатам обработки в ПО Spectra Precision Survey Office v 2.70.



а – пункт ГГС Косшокы-западный



б – пункт на скважине 101 участка Сары-Узень

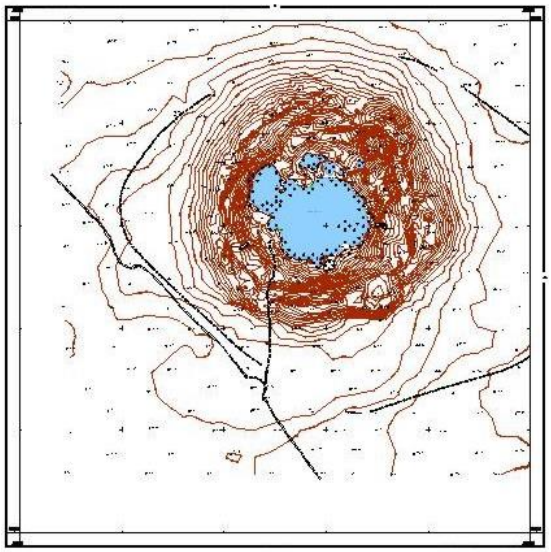
Рисунок 1. К развитию съемочного обоснования

Таблица. Каталог пунктов ГГС и точек съемочного обоснования на скважине 101, участка Сары-Узень (система координат МСК-1965, БСВ)

№ п/п	Название пункта	Класс сети	X	Y	H абс. м	Точность в плане, м	Точность по высоте, м
1	ТРП Косшокы-зап.	2	137605.58	54005.51	548.40		
2	ТРП Сары-Узень	2	145554.58	54603.84	487.30		
3	Скв.101 СТ-1		137050.63	59220.16	475.38	0.011	0.013
4	Скв. 101 СТ-2		137446.66	59194.31	471.61	0.006	0.010



а – полевые работы



б – топографический план для скважины 101

Рисунок 2. Примеры топографической съемки на участке Сары-Узень

Применение ГНСС оборудования при выполнении работ по развитию планово-высотного обоснования уменьшает зависимость проведения полевых работ от природно-климатических условий (дождь, снег, туман, атмосферная рефракция, различные природные катаклизмы), сокращая временные затраты на их выполнение, снижает зависимость от уровня профессиональных навыков исполнителя работ.

Топографическая съемка с применением ГНСС оборудования в местах проведения ПЯВ (рисунок 2) выполнялась на приустьевых площадках размерами 1х1 км в масштабе 1:2000, с сечением горизонталей 0,5 м. Вполнялась съемка линейных контуров и точечных объектов: дорог, ограждений, скважи, набора контрольных пикетов и др. Основные этапы при проведении топографической съемки составляли сбор данных со спутников на пунктах и точках, обработка накопленных данных и получение координат точек. Сбор данных спутниковых измерений выполнялся двумя двухсистемными (GPS+ГЛОНАСС) двухчастотными (L1+L2) приемниками Spectra Precision EPOCH 35 [1]. При накоплении данных применялся кинематический метод [4], время накопления спутниковых данных для точки составляло 15 сек, при интервале регистрации данных 1 сек, при выполнении съемки велось кодирование точек в зависимости от типа и принадлежности контурам и объектам. Обработка данных спутниковых наблюдений и получение данных о пространственном положении точек выполнялось в ПО Spectra Precision Survey Office v 2.70. На рисунке 2 показан пример выполнения топографической съемки наземным спутниковым методом и полученный в результате камеральной обработки данных топографический план объекта скважина 101, участка Сары-Узень.

В 2011 г. с применением ГНСС оборудования выполнены съемки на скважинах Глубокая, 1203, 1226,1235, участка Балапан и скважине 101 участка Сары-Узень.

Привязка объектов с применением GNSS оборудования при изучении мест проведения ПЯВ (рисунок 3) выполнялась, на участках Балапан, Сары-Узень. Основные этапы при проведении планово-высотной привязки точек геолого-геофизических наблюдений: сбор данных со спутников на точках, обработка накопленных данных и получение координат точек. Для выполнения работ использовалось то же оборудование и методика что и для выполнения топографической съемки: ГНСС приемники Spectra Precision EPOCH 35 [1] и кинематический метод [4] накопления спутниковых данных. В результате выполнения работ по привязке получены каталоги координат и высот точек наблюдательных сетей. Данные каталоги использовались для создания карт и

схем, а так же для обработки данных полученных различными геофизическими методами.



Рисунок 3. Планово-высотная привязка точек геолого-геофизических наблюдений

Основные этапы при проведении планово-высотной привязки точек геолого-геофизических наблюдений включали сбор данных со спутников на точках, обработку накопленных данных и получение координат точек. Для выполнения работ использовалось то же оборудование, что и для выполнения топографической съемки: ГНСС приемники Spectra Precision EPOCH 35 [1] и кинематический метод [4] накопления спутниковых данных. В результате выполнения работ по привязке получены каталоги координат и высот точек наблюдательных сетей, которые использовались для создания карт и схем, а так же для обработки данных полученных различными геофизическими методами.

Таким образом, в 2011 г. при изучении мест проведения подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне были применены современные спутниковые технологии и показана перспективность их применения для выполнения топографо-геодезических работ на участках Балапан и Сары-Узень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт компании Spectra Precision [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.spectraprecision.com, свободный. – Загл. с экрана.
2. Войтенко, А.В.. Применение калибровочных районов при топографо-геодезических работах со спутниковыми приемниками GPS / А.В. Войтенко // Геопрофи. – 2006. – №1. – С. 25-27.
3. Кошелев, А.В. Влияние ионосферы на результаты GPS-измерений / А.В. Кошелев // Геодезия и картография. – 2010. – №7. – С. 2 – 5.
4. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02 издание официальное. Москва, ЦНИИГАиК, 2002.

СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНДА ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР ЖҮРГІЗІЛГЕН ЖЕРЛЕРДІ ЗЕРДЕЛЕУІНДЕ ҚАЗІРГІ КЕЗДЕГІ ЖЕРСЕРІКТІК ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ

Яковенко А.М.

ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Семей сынау полигонында (ССП) жерасты ядролық жарылыстар (ЖЯЖ) жүргізілген жерлерді зерделеу бойынша геоэкологиялық жұмыстарды жүргізуінде жоғары дәлдігімен жер бетінде нүктелерді анықтауына мүмкіншілік беретін Жердің арнайы жасанды серіктердің сигналдарын пайдалануында негізделген қазіргі кездегі технологиялар сипатталған.

APPLICATION OF ADVANCED SATELLITE TECHNOLOGIES WHEN STUDYING ZONES OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS IN SEMIPALATINSK TEST SITE

A.M. Yakovenko

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Application of state-of-art technologies based on use of signals from specific artificial satellites of the Earth, allowing to define location of a point on the terrestrial surface with the high accuracy when carrying out geoecological operations in studying zones of underground nuclear explosions (UNE) in the Semipalatinsk Test Site (STS) has been described.

УДК 550.34

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР СЕЙСМИЧНОСТИ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ НА ПЕРИФЕРИИ ТИХОГО ОКЕАНА

[1)]Копничев Ю.Ф., [2)]Соколова И.Н.

[1)]Институт физики Земли РАН, Москва, Россия
[2)]Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Рассматриваются характеристики сейсмичности перед сильными и сильнейшими землетрясениями на периферии Тихого океана. Показано, что перед событиями с M=7.0 - 9.0, произошедшими в 1986 - 2011 гг., сформировались кольцевые структуры сейсмичности в двух диапазонах глубин: 0 - 33 и 34 - 70 км. Получены корреляционные зависимости размеров “мелких“ (L) и “глубоких“ (l) колец сейсмичности, пороговых значений магнитуд (соответственно Мп1 и Мп2), а также времени их формирования (T1 и T2) от магнитуды Mw главных событий. Показано, что размеры кольцевых структур (для данной Mw) существенно меньше для землетрясений на северо-западе Тихого океана, чем на востоке. Вместе с тем, величины Мп1 и Мп2 близки для двух рассматриваемых регионов. Параметры T1 и T2 существенно варьируются для разных событий, в среднем они равны ~26 - 27 годам. Обсуждаются причины формирования кольцевых структур, а также различий их характеристик для северо-западной и восточной окраин Тихого океана.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы получены многочисленные данные, свидетельствующие о формировании кольцевых структур сейсмичности перед сильными и сильнейшими землетрясениями в различных зонах субдукции [1-5]. Анализ характеристик таких структур позволил, в частности, осуществить успешный прогноз места катастрофического землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. в районе северо-восточной Японии [4]. Для повышения точности прогнозов места и магнитуды сильных землетрясений необходимо выявлять региональные особенности кольцевых структур. В настоящей работе с этой целью рассматриваются характеристики кольцевых структур на северо-западе и востоке Тихого океана.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

Северо-запад Тихого океана. Здесь мы рассматривали регион, включающий северо-восточную Японию, Курилы, Камчатку и западные Алеуты (к западу от 180° E). В этом регионе начиная с 1900 г. произошло 15 землетрясений с Mw≥8.0 [6] (таблица 1). Сильнейшими среди них были Великое Камчатское землетрясение 04.11.1952 г. (Mw=9.0) и катастрофическое землетрясение Тохоку в районе о. Хонсю 11.03.2011 г. (Mw=9.0). Оба этих события генерировали мощные цунами, распространившиеся по всему Тихому океану. Землетрясение Тохоку явилось полной неожиданностью для японских сейсмологов, которые, исходя из исторических и некоторых геофизических данных, не предполагали, что здесь может произойти событие такой силы. После пересмотра имеющейся информации был сделан вывод, что период повторяемости для подобных землетрясений составляет ~800-1200 лет [7].

Таблица 1. Сильные землетрясения на северо-западе Тихого океана

Дата	φ°	λ°	H, км	Mw
03.02.1923	53.85	160.76	35	8.5
02.03.1933	39.22	144.62	35	8.4
04.03.1952	42.5	143.0	43	8.1
04.11.1952	52.75	159.50	-	9.0
06.11.1958	44.31	148.65		8.4
04.05.1959	53.37	159.66	35	8.0
13.10.1963	44.76	149.80	26	8.6
04.02.1965	51.21	178.50	29	8.7
16.05.1968	40.90	143.35	26	8.3
11.08.1969	43.48	147.82	46	8.2
04.10.1994	43.83	147.33	33	8.3
29.09.2003	41.82	143.91	13	8.3
15.11.2006	46.59	153.27	10	8.3
13.01.2007	46.24	154.52	10	8.1
11.03.2011	38.32	142.37	32	9.0

Восток Тихого океана. В этом обширном регионе мы анализировали характеристики сейсмичности в районах восточных Алеут, Аляски и Южной Америки. Здесь начиная с 1900 г. произошло 18 сейсмических событий с Mw≥8.0 (таблица 2), в том числе Великое Чилийское землетрясение 22.05.1960 г. (Mw=9.6) и Великое Аляскинское землетрясение 28.03.1964 г. (Mw=9.2) – сильнейшие, из инструментально зарегистрированных, на земном шаре [6]. Оба этих события также сопровождались грандиозными цунами, которые, однако, не привели к такому количеству жертв, как землетрясение Тохоку 11.03.2011 г. Отсюда следует, что наибольшие магнитуды известных землетрясений на востоке Тихого океана значительно выше, чем на северо-западе.

Таблица 2. Сильные землетрясения на востоке Тихого океана

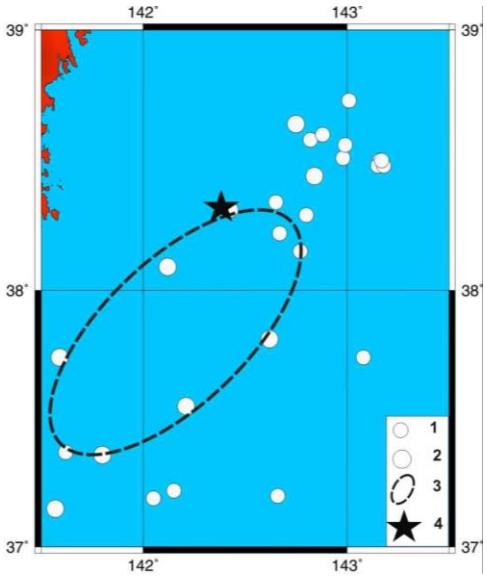
Дата	φ°	λ°	H, км	Mw
31.01.1906	1.0	-81.5		8.6
17.08.1906	-33.0	-70.0		8.5
11.11.1922	28.55	-70.75	35	8.7
10.11.1938	55.33	-158.37	35	8.0
06.04.1943	-30.75	-72.00		8.2
01.04.1946	52.75	-162.50	-	8.0
09.03.1957	51.59	-175.42	35	8.6
21.05.1960	-37.85	-73.38	12	8.2
22.05.1960	-38.29	-73.05	35	9.6
28.03.1964	61.02	-147.63	23	9.2
17.10.1966	-10.80	-78.68	34	8.2
12.12.1979	1.60	-79.36	24	8.1
03.03.1985	-33.14	-71.76	35	8.0
07.05.1986	51.50	-174.80	20	8.0
30.07.1995	-23.34	-70.26	35	8.0
23.06.2001	-16.26	-73.64	33	8.4
15.08.2007	-13.36	-73.64	39	8.0
27.02.2010	-35.91	-72.73	35	8.8

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

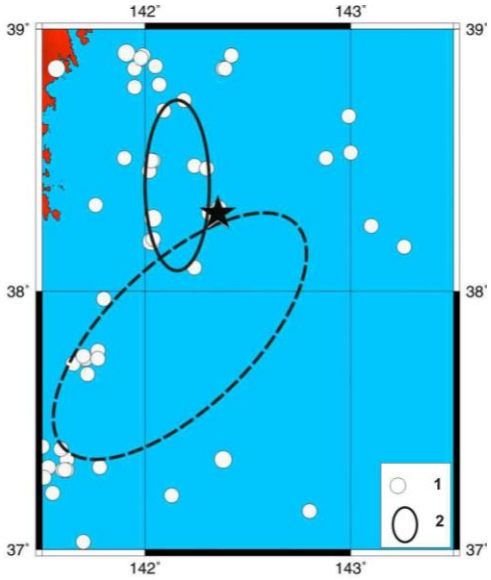
По аналогии с [1 - 5] рассмотрены характеристики сейсмичности исследуемого района, включающего очаговую зону данного сильного землетрясения. Построены карты эпицентров землетрясений для двух диапазонов глубин: 0 - 33 и 34 - 70 км, – в основном, начиная с 1964 г., когда координаты событий начали определяться с относительно высокой точностью благодаря появлению мировой сети станций WWSSN [8]. Проанализированы данные сейсмических каталогов NEIC (National Event Information Centre) с 1973 г. и ISC (International Seismological Centre) за 1964 - 1972 гг. (за исключением Великого Аляскинского землетрясения, для которого рассмотрены данные за 1938 - 1964 гг.). Для каждого диапазона отбирались события, магнитуды которых были не меньше пороговой (Мп1 и Мп2, соответственно, для рассматриваемых диапазонов глубин), причем эти величины были обычно на 2 - 3 единицы меньше, чем магнитуда главного землетрясения. Кольца сейсмичности построены таким образом, чтобы по обе стороны контуров колец находилось примерно одинаковое количество относительно слабых событий. В подавляющем большинстве ранее рассмотренных случаев контуры колец по форме были близки к эллипсам [1 - 5]. Мелкие и глубокие кольцевые структуры характеризовались также длиной больших осей (соответственно L и l) и временем формирования (соответственно T1 и T2). Следует отметить, что кольцевые структуры “размываются”, если выбираются очень низкие величины Мп1 и Мп2. С другой стороны, они не прорисовываются, если выбираются завышенные значения пороговых магнитуд.

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Северо-запад Тихого океана. На рисунке 1-а, б представлены данные о сейсмичности перед землетрясением Тохоку 11.03.2011 г. в северо-восточной Японии. Из рисунков следует, что перед этим событием сформировались кольцевые структуры с относительно высокими пороговыми величинами магнитуд: мелкая (Мп1=5.9, L~140 км), ориентированная в северо-восточном направлении, и глубокая (Мп2=5.4, l~75 км), вытянутая вдоль меридиана 142°E. Времена образования структур составляли соответственно T1=30 и T2=35 лет. Наибольшие магнитуды Mw событий в областях этих структур были равны соответственно 7.0 (19.07.2008 г.) и 7.7 (12.06.1978 г.). Важно отметить, что эпицентр землетрясения Тохоку находится в восточной области пересечения колец сейсмичности.

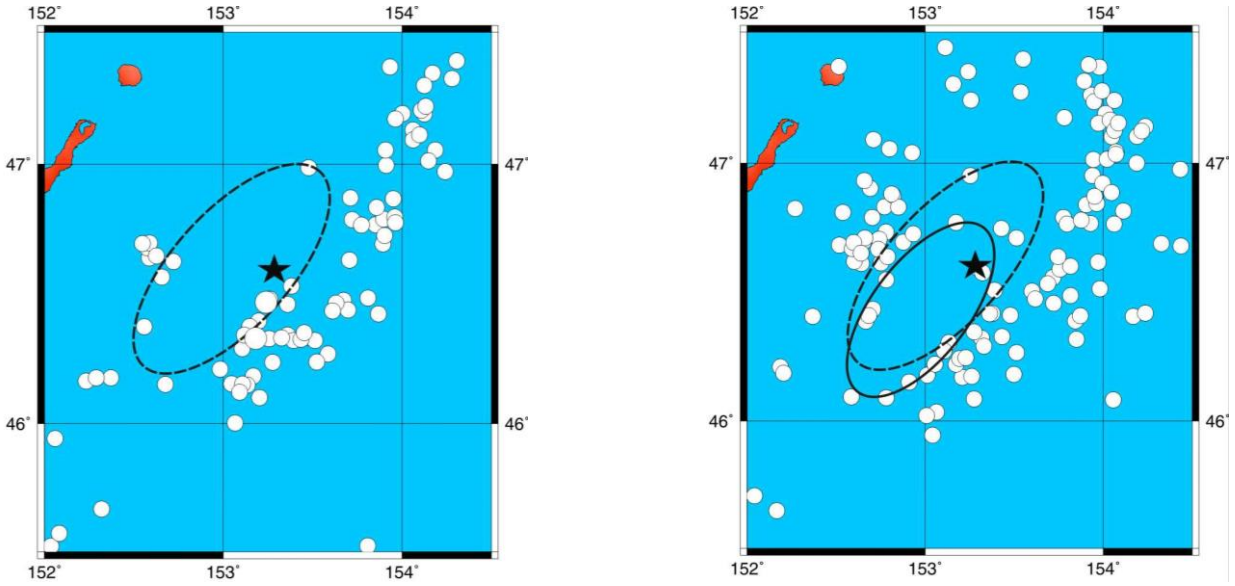


Эпицентры землетрясений: 1 – 5.9≤ M<6.5; 2 - M≥6.5.
3 – мелкое кольцо, 4 – эпицентр главного события (Mw=9.0).
а – глубины гипоцентров – 0 - 33 км



1 – 5.4≤ M<6.5; 2 – глубокое кольцо.
Остальные обозначения – на рисунке 1-а.
б – глубины гипоцентров – 34 -70 км

Рисунок 1. Северо-запад Тихого океана. Характеристики сейсмичности перед землетрясением Тохоку 11.03.2011 г.



а – глубины гипоцентров – 0 - 33 км

б – глубины гипоцентров – 34 -70 км

Остальные обозначения – на рисунке 1

Рисунок 2. Характеристики сейсмичности перед Средне-Курильским землетрясением 15.11.2006 г.

Таблица 3. Северо-запад Тихого океана. Характеристики кольцевых структур, сформировавшихся перед сильными землетрясениями

Дата	Mw	L, км	Mп1	T1, лет	l, км	Mп2	T2, лет	Район
01.11.1989	7.4	100	4.0	18	95	4.0	18	Сев.-вост. Япония
13.11.1993	7.0	70	4.5	19	80	4.0	17	Юж. Камчатка
04.10.1994	8.3	80	5.0	25	80	5.1	27	Сев.-вост. Япония
28.12.1994	7.8	130	4.4	23	85	4.4	21	Сев.-вост. Япония
05.12.1997	7.8	85	5.3	24	75	4.5	23	Камчатка
25.09.2003	8.3	85	5.0	28	40	5.0	29	Сев.-вост. Япония
31.10.2003	7.0	30	4.0	17	40	4.0	26	Сев.-вост. Япония
17.11.2003	7.8	75	4.8	30	70	4.6	32	Зап. Алеуты
28.11.2004	7.0	65	4.0	31	40	3.9	31	Сев.-вост. Япония
15.11.2006	8.3	120	5.2	31	90	4.7	33	Курилы
13.01.2007	8.1	100	5.2	30	50	4.5	30	Курилы
19.07.2008	7.0	55	4.0	34	40	4.0	35	Сев.-вост. Япония
15.01.2009	7.4	95	4.8	28	80	4.2	18	Курилы
11.03.2011	9.0	140	5.9	30	75	5.4	35	Сев.-вост. Япония

На рисунках 2-а, б показаны характеристики сейсмичности за период 01.01.1973 - 14.11.2006, перед сильным землетрясением (Mw=8.3), произошедшим в районе центральных Курил. В данном случае сформировались кольцевые структуры: мелкая (Mп1=5.2, L~120 км, T1=31 год) и глубокая (Mп2=4.7, l~90 км, T2=33 года), вытянутые в северо-восточном направлении. Наибольшие магнитуды событий в областях колец сейсмичности составляли соответственно 6.6 и 6.0. Эпицентр главного землетрясения расположен на расстоянии ~20 км от северо-восточной области пересечения колец, вблизи зоны наибольшей плотности неглубоких землетрясений.

В таблице 3 приведены данные о параметрах кольцевых структур в северо-западной части Тихого океана.

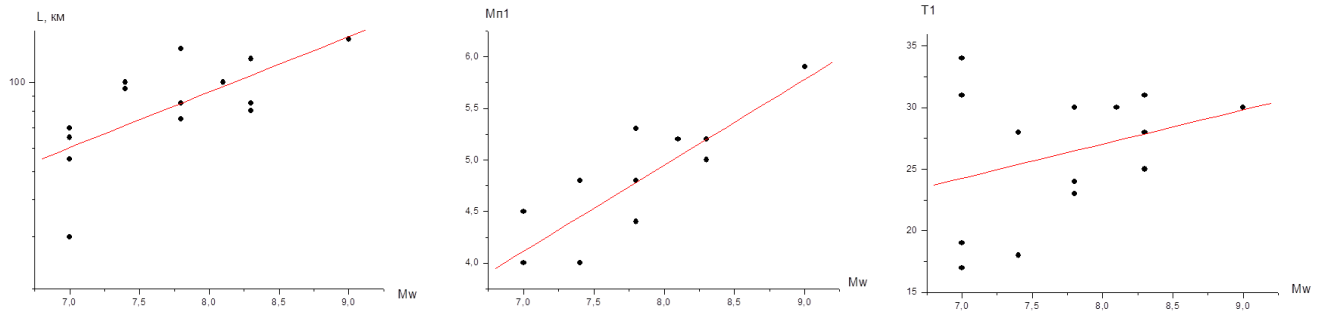
На рисунке 3-а представлена зависимость размеров мелких колец от магнитуды главных событий для этого района. Величины L растут с увеличением Mw сравнительно слабо, уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$\lg L\ (\text{км}) = 0.46 + 0.19\ Mw,\ r=0.69, \qquad (1)$$

где r – коэффициент корреляции.

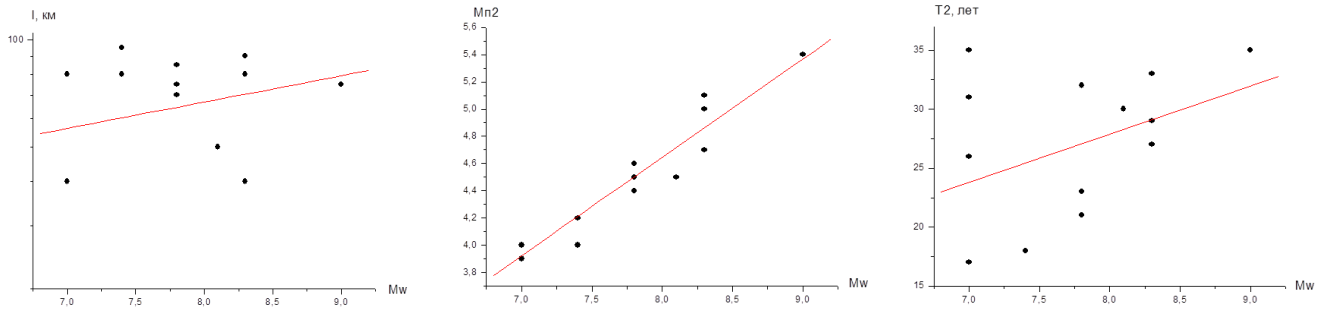
Из рисунка 3-б следует, что значения параметра Mп1 быстро растут с увеличением Mw; уравнение линейной регрессии описывается формулой:

$$Mп1 = -1.72 + 0.83\ Mw,\ r=0.88. \qquad (2)$$



а – зависимость L(Mw) б – зависимость Mп1(Mw) в – зависимость T1(Mw)

Рисунок 3. Северо-запад Тихого океана. Зависимости параметров lgL, Mп1, T1 от магнитуды Mw для мелких колец (глубины 0 – 33 км)



а – зависимость lgl(Mw) б – зависимость Mп2(Mw) в – зависимость T2(Mw)

Рисунок 4. Северо-запад Тихого океана. Зависимости параметров lgl, Mп2, T2 от магнитуды Mw для глубоких колец (глубины 34 – 70 км)

Рисунок 3-в иллюстрирует зависимость времени формирования мелких колец от магнитуды. Видно, что наблюдается слабый рост величин T1. На фоне достаточно большого разброса данных получена следующая корреляционная зависимость:

$$T1(\text{лет}) = 4.89 + 2.77\ Mw,\ r=0.32 \qquad (3)$$

На рисунке 4-а показана зависимость размеров глубоких колец l от магнитуды Mw. В данном случае величины l практически не зависят от магнитуды, уравнение линейной регрессии характеризуется очень низким коэффициентом корреляции:

$$lgl\ (\text{км}) = 1.24 + 0.07\ Mw,\ r=0.31. \qquad (4)$$

В то же время значения параметра Mп2, как и Mп1, быстро растут с увеличением Mw (рисунок 4-б); получено следующее уравнение линейной регрессии с очень высоким коэффициентом корреляции:

$$Mп2 = -1.14 + 0.72\ Mw,\ r=0.96. \qquad (5)$$

Для величин T2, как и T1, наблюдается большой разброс данных (рисунок 4-в), корреляционная зависимость имеет следующий вид:

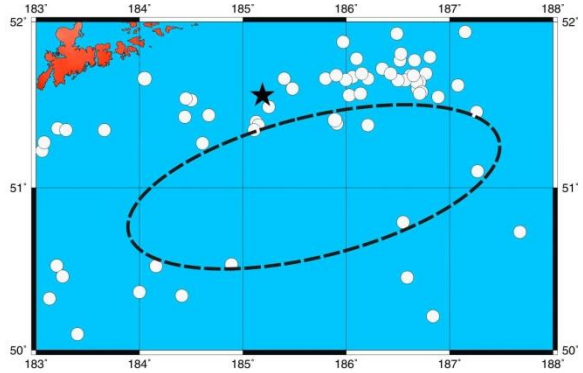
$$T2(\text{лет}) = -4.63 + 4.07\ Mw,\ r=0.40. \qquad (6)$$

Следует заметить, что средние величины T1 и T2 для северо-западного района Тихого океана равны соответственно 26.3±5.2 и 26.6±6.4 лет.

Восток Тихого океана. На рисунке 5-а, б приведены данные о сейсмичности перед Алеутским землетрясением 07.05.1986 г. (Mw=8.0), которое произошло на западном фланге очаговой зоны сильнейшего землетрясения 1957 г. (таблица 2). Из рисунков следует, что перед этим событием также проявились кольца сейсмичности: мелкое (Mп1=4.8, L~260 км, T1=22 года) и глубокое (Mп2=4.7, l~85 км, T2=16 лет). Наибольшие магнитуды событий в областях колец равны соответственно 6.1 и 6.3. Оба кольца вытянуты в субширотном направлении, при этом эпицентр главного события находится на расстоянии около 40 км от области их касания, что во много раз меньше, чем размер мелкого кольца.

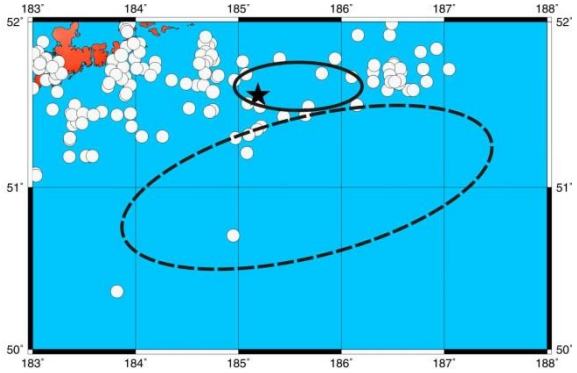
Землетрясение 27.02.2010 г. (Mw=8.8) было самым сильным в регионе Южной Америки после Чилийского землетрясения 1960 г. Рисунок 6-а, б иллюстрирует характеристики сейсмичности перед этим событием за период 01.01.1964 - 26.02.2010 гг. В данном случае сформировались мелкое кольцо (Mп1=5.0, L~320 км, T1=46 лет), вытянутое вдоль береговой линии, и узкое глубокое кольцо (Mп2=5.0, l~270 км, T2=41 год), ориентированное в субмеридиональном направлении. Наибольшие магнитуды событий в областях колец составляли соответственно 5.9 и 7.1. Кольца почти касаются в области ~36°S (расстояние между ними менее 30 км, что во много раз меньше размеров колец); эпицентр главного события находится в области наибольшего сближения кольцевых структур. На севере глубокое кольцо граничит с очаговой зоной землетрясения 1985 г. (Mw=8.0), а на юге мелкое кольцо граничит с зоной Великого Чилийского землетрясения 1960 г.

В таблице 4 приведены данные о параметрах кольцевых структур в восточном регионе Тихого океана. Следует отметить, что для двух землетрясений из района Эквадора не удалось выделить глубоких колец сейсмичности.



Кружки: 4.8≤ M≤6.1

а – глубины гипоцентров – 0 - 33 км

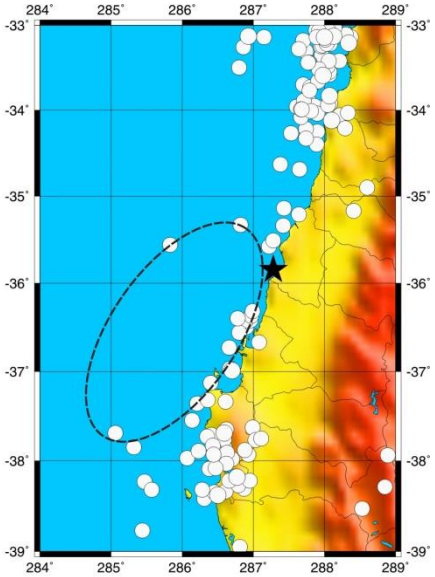


Кружки – 4.7≤ M≤6.3

б – глубины гипоцентров – 34 - 70 км

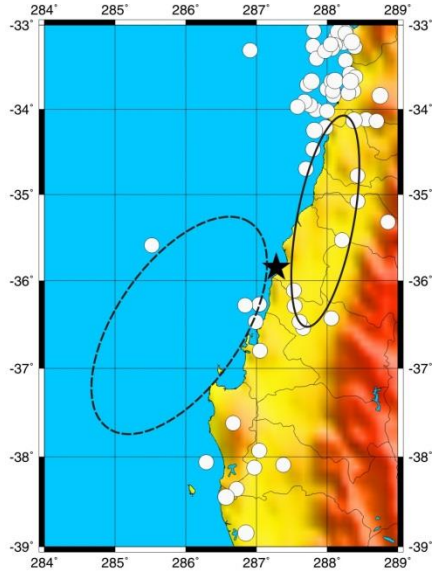
Остальные обозначения – на рисунке 1

Рисунок 5. Характеристики сейсмичности перед Алеутским землетрясением 07.05.1986 г.



Кружки: 5.0≤ M≤5.9

а – глубины гипоцентров – 0 - 33 км



Мелкие кружки – 5.0≤ M≤6.5

б – глубины гипоцентров – 34 -70 км

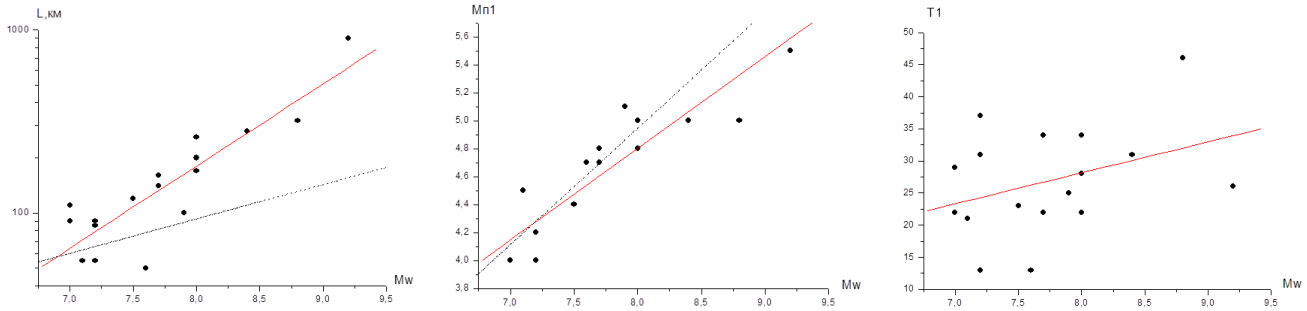
Остальные обозначения – на рисунке 1

Рисунок 6. Характеристики сейсмичности перед землетрясением Мауле 27.02.2010 г.

Таблица 4. Восток Тихого океана. Характеристики кольцевых структур, сформировавшихся перед сильными землетрясениями

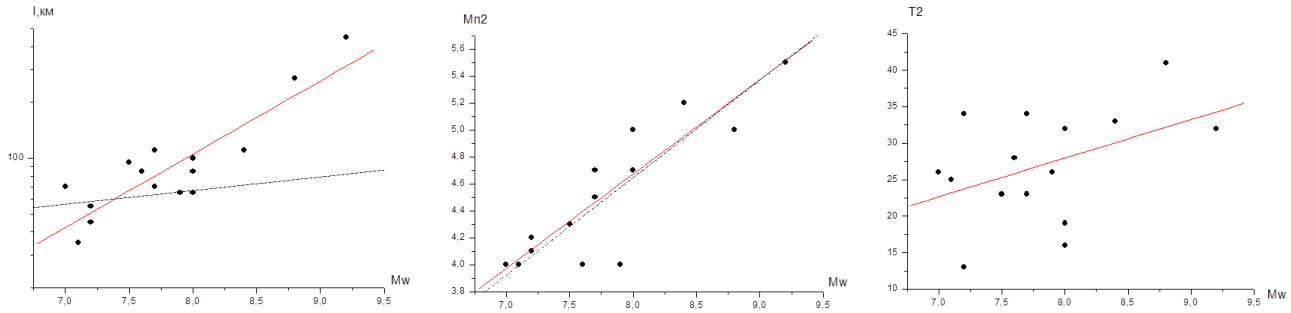
Дата	Mw	L, км	Mп1	T1, лет	l, км	Mп2	T2, лет	Район
28.03.1964	9.2	900	5.5	26	450	5.5	32	Аляска
07.05.1986	8.0	260	4.8	22	85	4.7	16	Алеуты
30.07.1995	8.0	200	5.0	28	100	5.0	19	Чили
03.10.1995	7.0	110	4.0	22	-	-	-	Эквадор
21.02.1996	7.5	120	4.4	23	95	4.3	23	Перу
10.06.1996	7.9	100	5.1	25	65	4.0	26	Алеуты
12.11.1996	7.7	160	4.8	22	110	4.5	23	Перу
30.01.1998	7.1	55	4.5	21	35	4.0	25	Перу
04.08.1998	7.2	85	4.0	13	-	-	-	Эквадор
06.12.1999	7.0	90	4.0	29	70	4.0	26	Аляска
23.06.2001	8.4	280	5.0	31	110	5.2	33	Перу
07.07.2001	7.6	50	4.7	13	85	4.0	28	Перу
15.11.2004	7.2	90	4.2	31	55	4.2	13	Колумбия
15.08.2007	8.0	170	5.0	34	65	5.0	32	Перу

Дата	Mw	L, км	Мп1	T1, лет	l, км	Мп2	T2, лет	Район
14.11.2007	7.7	140	4.7	34	70	4.7	34	Чили
19.12.2007	7.2	55	4.0	37	45	4.1	34	Алеуты
27.02.2010	8.8	320	5.0	46	270	5.0	41	Чили



а – зависимость lgL(Mw) б – зависимость Мп1(Mw) в – зависимость T1(mw)

Рисунок 7. Восток Тихого океана. Зависимости параметров lgL, Mn1, T1 от магнитуды Mw для мелких колец (глубины 0 – 33 км)



а – зависимость lgl(Mw) б – зависимость Мп2(Mw) в – зависимость T2(Mw)

Рисунок 8. Восток Тихого океана. Зависимости параметров lgl, Mn2, T2 от магнитуды Mw для глубоких колец (глубины 34 – 70 км)

На рисунке 7-а представлена зависимость lgL (Mw) для востока Тихого океана. В данном случае наблюдается быстрый рост параметра L с магнитудой главного события, уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$\lg L\ (км) = -1.33 + 0.45\ Mw,\ r=0.88. \qquad (7)$$

В диапазоне Mw=7.0 - 9.0 величины L растут с Mw гораздо быстрее, чем для северо-запада, так что при Mw=9.0 различие значений lgL для двух районов достигает ~ 0.55 ед. лог.

На рисунке 7-б показана зависимость Мп1 (Mw). Величины Мп1 быстро растут с магнитудой Mw, при этом существует тенденция к уменьшению наклона графика при M~>8.0. Для всей совокупности данных уравнение линейной регрессии описывается формулой:

$$Мп1 = -0.44 + 0.66\ Mw,\ r=0.89. \qquad (8)$$

В данном случае наклон линии регрессии несколько меньше, чем для северо-запада Тихого океана.

Для величин T1 наблюдается слабый рост с магнитудой (рисунок 7-в), уравнение линейной регрессии описывается формулой:

$$T1(лет) = -10.31 + 4.81\ Mw,\ r=0.36. \qquad (9)$$

Аналогичные зависимости для глубоких колец представлены на рисунке 8.

Из рисунка 8-а следует, что, в отличие от северо-западного района, параметр l относительно быстро растет с увеличением Mw, уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$\lg l\ (км) = -1.14 + 0.40\ Mw,\ r=0.88. \qquad (10)$$

Рисунок 8-б иллюстрирует зависимость Мп2(Mw), которая оказывается достаточно близкой к соответствующей зависимости для северо-западного района. Получено следующее уравнение линейной регрессии:

$$Мп2 = -0.92 + 0.70\ Mw,\ r=0.86. \qquad (11)$$

Корреляционная зависимость T2(Mw), полученная на фоне большого разброса данных (рисунок 8-в), описывается формулой:

$$T2(лет) = -14.37 + 5.29\ Mw,\ r=0.44. \qquad (12)$$

Средние величины T1 и T2 для восточного района равны 26.9±8.1 и 27.0±7.3 лет соответственно, что достаточно близко к аналогичным значениям для северо-запада Тихого океана.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о том, что в зонах субдукции по периферии Тихого океана перед сильными и сильнейшими землетрясениями, как правило, формируются кольцевые структуры сейсмичности в двух диапазонах глубин. Как и в районе Суматры [2], эпицентры главных событий здесь обычно находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения соответствующих мелких и глубоких колец. Имеющиеся данные позволяют считать, что на границах колец формируются зоны относительно высокого содержания флюидов [3]. В случае, если флюиды формируют связную сеть, на кровле двухфазного слоя имеет место концентрация напряжений [9, 10]. Величина избыточных напряжений пропорциональна мощности двухфазного слоя, что позволяет объяснить приуроченность эпицентров сильных землетрясений к указанным областям. Можно полагать, что формирование кольцевых структур служит отражением процессов самоорганизации геологических систем, в конечном счете, ведущих к уменьшению потенциальной энергии Земли [11].

Полученные данные говорят о том, что в целом размеры мелких и глубоких колец значительно больше на востоке Тихого океана, чем на его северо-западе. Вместе с тем, пороговые значения магнитуды для данной энергии главного события близки для кольцевых структур в обеих частях Тихого океана. Для объяснения этих эффектов можно предположить, что энергия сильного землетрясения пропорциональна потенциальной энергии флюидов, сконцентрированных в областях колец сейсмичности. В этом случае меньшие размеры колец сейсмичности на северо-западе Тихого океана должны компенсироваться большим удельным содержанием флюидов в областях кольцевых структур. Ранее аналогичный эффект был выявлен для сильных землетрясений с разными механизмами очагов во внутриконтинентальных районах [12].

Новые данные коррелируются с результатами анализа афтершоковых процессов в зонах субдукции по периферии Тихого океана, полученными ранее [13, 14]. В [13] было показано, что количество афтершоков сильных землетрясений при прочих равных условиях гораздо выше для событий на западе Тихого океана по сравнению с востоком. Кроме того, Таджимой и Канамори [1985] установлено, что афтершоковые зоны сильных землетрясений расплываются со временем сильнее в западной части Тихого океана, чем в восточной. По мнению авторов данной статьи, эти эффекты связаны со следующими обстоятельствами. В последнее десятилетие получены данные, свидетельствующие о том, что флюиды в зонах субдукции поднимаются из верхов мантии главным образом в результате землетрясений [15, 16, 17, 18]. В связи с этим большее количество афтершоков (в том числе достаточно сильных) облегчает “осушение” насыщенной флюидами верхней мантии запада Тихого океана. В то же время для подъема флюидов из менее “влажной” верхней мантии востока Тихого океана требуется меньшее количество афтершоков.

С другой стороны, большее расширение со временем афтершоковых зон на западе Тихого океана, скорее всего, обусловлено более активной миграцией флюидов, поднявшихся в земную кору, в горизонтальном направлении. Ранее такие эффекты были установлены для очаговых зон нескольких сильных землетрясений во внутриконтинентальных районах [19, 20].

Таким образом, существенное различие размеров кольцевых структур на северо-западе и востоке Тихого океана может быть связано с вариациями содержания флюидов в земной коре и верхах мантии этих районов. Отметим, что этот вывод может быть проверен путем анализа характеристик поля поглощения короткопериодных S-волн в различных зонах субдукции [5]. Данному вопросу будет посвящена отдельная работа.

В то же время, судя по имеющимся данным, величины T1 и T2 слабо зависят от магнитуды и района исследований. Отметим, что близкие средние величины параметра T1 получены для внутриконтинентальных землетрясений (~25±5 лет [12]). Можно предположить, что этот эффект связан с малыми вариациями средней скорости миграции флюидов на этапе формирования кольцевых структур [5] (до начала этого этапа флюиды под действием сдвиговых напряжений мигрируют в основном по граням зерен [21], и эти процессы в континентальных районах происходят гораздо медленнее, чем в зонах субдукции [5]).

Практическое значение полученных данных состоит в том, что они могут быть использованы для прогноза места и энергии готовящихся сильных землетрясений по характеристикам формирующихся кольцевых структур. Пример успешного прогноза этих параметров для землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. приведен в [4]. Судя по имеющимся данным, для северо-запада Тихого океана наиболее надежная оценка магнитуды может быть получена на основании анализа величин Мп1 и Мп2. В то же время для востока Тихого океана такие оценки могут основываться также на данных о размерах кольцевых структур. Кроме того, текущие величины T1 и T2, вероятно, могут быть использованы для среднесрочного прогноза сильных землетрясений, хотя, конечно, следует учитывать большой разброс значений этих параметров.

Литература

1. Копничев, Ю.Ф. Кольцевая сейсмичность в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в зонах субдукции / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН, 2009. - Т. 425. № 4. - С. 539 - 542.
2. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районе Суматры / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН, 2009. - Т. 429. № 1. - С.106 - 109.
3. Копничев, Ю.Ф. О корреляции характеристик сейсмичности и поля поглощения S-волн в районах кольцевых структур, формирующихся перед сильными землетрясениями / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова //Вулканология и сейсмология, 2010. - № 6. - С. 34 - 51.
4. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности и землетрясение 11.03.2011 г. (Mw=9.0) в районе северо-восточной Японии / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН, 2011. - Т. 440. № 2. - С. 246 - 249.
5. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в районе очага землетрясения Мауле (Чили, 27.02.2010, Mw=8.8) и их связь с сейсмичностью и вулканизмом / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования, 2011. - Т.12. № 3. - С.22 - 33.
6. Engdahl, E. A. Global seismicity: 1990 - 1999. In: Earthquake & engineering seismology. Part A. / E.Engdahl, A.Villasenor //Academic Press. An imprint of Elsevier Science, 2002. - P. 665 - 690.
7. Butler ,R. The Global seismographic network surpasses its design goal / R.Butler, T.Lay, K.Creager et al. // EOS, Transactions, AGU, 2004. - V. 85. N 23. - P. 225, 229.
8. Goldfinger, C. Superquakes and supercycles / C.Goldfinger, Ya.Ikeda, R.Yeats, J.Ren // Seismol. Res. Lett, 2013. - V. 84. N 1. - P. 24 - 32.
9. Каракин,А.В. Гидродинамика и структура двухфазной астеносферы / А.В.Каракин, Л.И. Лобковский // ДАН СССР, 1982. - Т.268. № 2. - С.324 - 329.
10. Gold,T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / T.Gold, S.Soter // Pure Appl. Geophys, 1984/1985. - V. 122. - P. 492 - 530.
11. Летников,Ф.А. Синергетика геологических систем. - Новосибирск: Наука, 1992. - 229 с.
12. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся в континентальных районах перед сильными землетрясениями с различными механизмами очагов / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования, 2013. - Т. 14. № 1. - С.5 - 15.
13. Singh, S. Regional variation in the number of aftershocks (mb≥5) of large subduction-zone earthquakes (Mw≥7.0) / S.Singh, G.Suarez // Bull. Seismol. Soc. Amer, 1988. - V. 78. N 1. - P.230 - 242.
14. Tajima, F. Global survey of aftershock area expansion / F.Tajima, H.Kanamori // Phys. Earth. Planet. Inter., 1985. - V. 40. - P. 77 - 134.
15. Husen, S. Postseismic fluid flow after the large subduction earthquake of Antofagasta, Chile / S.Husen, E.Kissling // Geology, 2001. - V. 29. N 9. - P.847 - 850.
16. Yamazaki, T. Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab / T.Yamazaki, T.Seno // J. Geophys. Res.,2003. - V. 108. N B4. doi: 10/1029/2002JB001918.
17. Ogawa,R. Slow postseismic recovery of geoid depression formed by the 2004 Sumatra-Andaman earthquake by mantle water diffusion / R.Ogawa, K.Heki // Geophys. Res. Lett., 2007. - V. 34. L06313. doi: 10.1029/2007GL029340.
18. Копничев, Ю.Ф. Пространственно-временные вариации поля поглощения поперечных волн в сейсмически активных и слабосейсмичных районах / Ю.Ф.Копничев, Д.Д.Гордиенко, И.Н.Соколова // Вулканология и сейсмология, 2009. - № 1. – 49 - 64.
19. Rojstaczer, S. Permeability changes associated with large earthquakes: an example from Loma Prieta, California / S.Rojstaczer, S. Wolf // Geology, 1992. - V. 20. P. – 211 - 214.
20. Копничев,Ю.Ф. Анализ пространственно-временных вариаций поля поглощения поперечных волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня по записям подземных ядерных взрывов / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН, 2004. - Т.395. № 6. - С.818 - 821.
21. Hier-Majumder, S. Role of dynamic grain boundary wetting in fluid circulation beneath volcanic arcs / S.Hier-Majumder, D.Kohlstedt // Geophys. Res. Lett., 2006. - V. 33. L08305.

ТЫНЫҚ МҰХИТТІҢ ШЕТТЕРІНДЕ ҚАТТЫ ЖӘНЕ ӨТЕ ҚАТТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕР АЛДЫНДА ҚАЛЫПТАСТЫРЫЛАТЫН СЕЙСМИКАЛЫЛЫҚТЫҢ САҚИНАЛЫ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

[1)]Копничев Ю.Ф.,[2)]Соколова И.Н.

[1)]РҒА Жер физикасы мнституты, Ресей
[2)]Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Тынық мұхиттің шеттерінде қатты және өте қатты жерсілкінулер алдында сейсмикалылықтың сипаттамалары қаралады. 1986 - 2011 ж.ж. болған M=7.0 - 9.0 оқиғалардың алдында тереңдіктің екі ауқымында – 0 - 33 және 34 - 70 км. – сейсмикалылықтың сақиналы құрылымдары қалыптастырылғаны көрсетілген. «Ұсақ» (L) және «терең» (l) сейсмикалық сақиналардың мөлшерлерінің, магитудалардың табалдырық мәндерінің (сәйкесінде Мп1 и Мп2), сондай-ақ олар басты оқиғалардың Mw магнитудасынан қалыптастырылу уақытының (Т1 және Т2) корреляциялық байланыстары алынған. Сақиналы құрылымдардың мөлшерлері (мәлім Mw үшін) Тынық мұхиттің солтүстік-батыс жағыгдағы жерсілкінулер үшін оның шығыс шетіндегілердең едәуір кіші болуы көрсетілген. Сонымн бірге, Мп1 және Мп2 мәндері, қаралудағы екі шеті үшін, бір біріне жақын. Т1 және Т2 параметрлері әр оқиғалар үшін едаәуір өзгеріледі, орта шамамен олар ~26 - 27 жылға тең. Сақиналы құрылымдар қалыптастырылу себептері, сонымен қатар Тынық мұиттің солтүстік-батысы мен шығыс шеттері үшін олардың сипаттамаларының айрмашылығы талқылануда.

CHARACTERISTICS OF RING-SHAPED SEISMICITY STRUCTURES, BEING FORMED PRIOR TO LARGE AND GREAT EARTHQUAKES AT THE PERIPHERY OF THE PACIFIC

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

[1)]Institute of Physics of the Earth RAS, Russia
[2)]Institute of Geophysical Research RK

We have been studying seismicity characteristics prior to large and great earthquakes in the northwestern an eastern parts of the Pacific. It was established, that ring-shaped seismicity structures have been formed in two depth ranges (0 - 33 and 34 - 70 km) prior to earthquakes with Mw=7.0 - 9.0, which have occurred in 1986 - 2011. We obtained correlation dependences of different parameters of ring-shaped structures (sizes of “shallow” (L) and “deep” (l) ones, threshold magnitude values (correspondingly Mt1 and Mt2) and also time of its formation (T1 and T2)) on magnitude of the main event. It was shown, that sizes of ring-shaped structures (for a given Mw) are smaller essentially for the earthquakes at the northwest, than at the east of the Pacific. At the same time the values Mt1 and Mt2 are close for the two regions considered. Parameters T1 and T2 vary essentially for the different events, on the average they are equal to ~26 - 27 years. We discuss reasons for the ring structures formation, and also differences of its characteristics for the northwestern and eastern parts of the Pacific.

УДК 550.348(511:66)

СЕЙСМИЧНОСТЬ И ХАРАКТЕР НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СЛАБОСЕЙСМИЧНЫХ РАЙОНАХ КАЗАХСТАНА

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Приводятся результаты исследования территории Казахского щита, считавшейся ранее асейсмичной. Установлено, что здесь регулярно происходят землетрясения с магнитудой до 5 и более, эпицентры которых расположены по периметру Центрального свода с группировкой в три основные зоны в узлах пересечения основных разломов: Изучение фокальных механизмов землетрясений показало, что сейсмичность Казахского щита в целом обусловлена единой системой напряжений, характеризуемой региональным субгоризонтальным сжатием в северо-западном направлении.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении почти полувековой истории развития детальных сейсмических исследований в Казахстане основное внимание сейсмологов было сосредоточено на сейсмоактивных районах юга и юго-востока страны. Изучению сейсмичности, сейсмического режима, сейсмической опасности в этих районах посвящено большое количество статей и монографий. Остальная территория страны долгое время оставалась «белым пятном» в отношении ее сейсмической активности. Существовало представление, что эта территория является асейсмичной, здесь не могут происходить землетрясения, вызывающие сотрясения с интенсивностью 6 и более баллов. Этот взгляд на сейсмичность нашел отражение и в картах общего сейсмического районирования (ОСР), являющихся составной частью Строительных Норм и Правил (СНиП), на которых сейсмоопасные зоны сосредоточены только в районах южного, юго-восточного и восточного Казахстана. Такому положению способствовали, во-первых, расположение сейсмических станций Казахстана, сосредоточенных в основном в районах Северного Тянь-Шаня и Джунгарии, во-вторых, недоступность в предыдущие годы материалов Международных центров данных, отсутствие доступа через Интернет к архивам глобальных сетей наблюдений.

В последние десятилетия ситуация начала изменяться. Поворотным моментом в изучении сейсмичности с более полным охватом всей территории Казахстана послужило создание в 90-х годах прошлого столетия новой сети современных цифровых станций Института геофизических исследований (ИГИ), входящих в Международные системы мониторинга. В конце XX – начале XXI века было закончено строительство и ввод в эксплуатацию пяти уникальных сейсмических групп и нескольких трехкомпонентных станций, расположенных по периметру Казахстана. Стала доступной регистрация сейсмических событий не только на всей территории страны, но и за ее пределами. Уже в 2001 г. станциями ИГИ было зарегистрировано, а затем специальной экспедицией исследовано первое, достаточно сильное землетрясение в считавшемся асейсмичным Центральном Казахстане, получившее название Шалгинского. Оно проявилось в эпицентре с интенсивностью 6 баллов, имело магнитуду Mw=5.4 [1]. С точки зрения существующих карт сейсмического районирования землетрясение такой силы в данном районе было невозможно. После Шалгинского землетрясения продолжилось изучение сейсмичности так называемых «асейсмичных» районов как с привлечением архивных мировых данных, так и по современным данным сейсмического мониторинга, что позволило открыть ряд ранее неизвестных сейсмоактивных районов в разных частях страны [2 - 5]. В данной статье рассматривается сейсмичность эпигерцинского Казахского щита охватывающего территорию, ограниченную координатами 43,5 - 54,0° с. ш., 65,0 - 79,0° в. д. (рисунок 1).

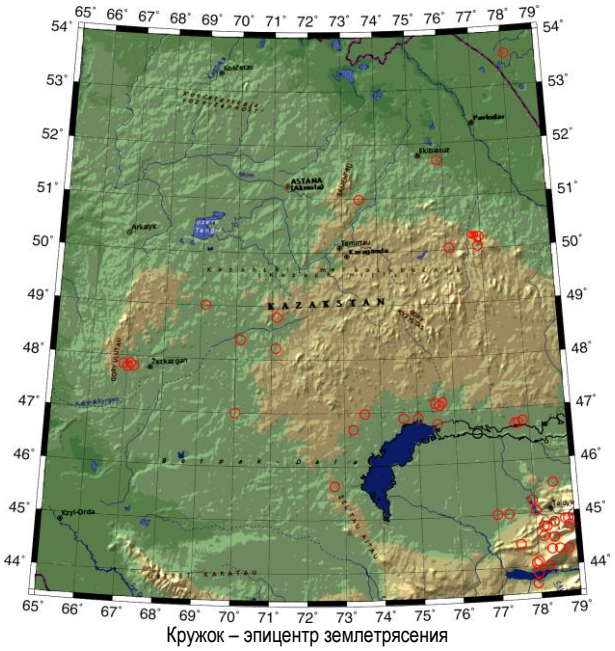
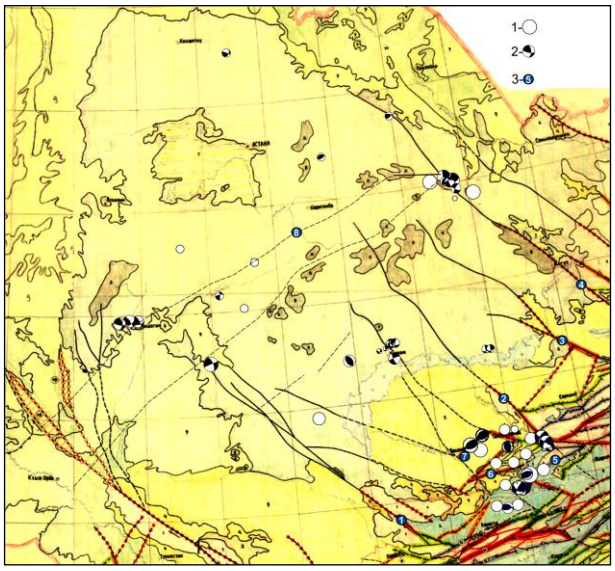


Рисунок 1. Район исследования

Казахский щит представляет собой огромный свод, который на юго-востоке примыкает к области горообразования, а во всех других направлениях погружается под мезокайнозойские отложения [6]. Вдоль южной и юго-восточной окраины в полосе взаимодействия щита с горными сооружениями Джунгарии расположена Прибалхашская впадина.

СЕЙСМОТЕКТОНИКА КАЗАХСКОГО ЩИТА

Казахский щит представляет собой обширный по площади выступ фундамента Туранской платформы. Естественными ограничителями щита являются субтрансформные региональные разломы-сдвиги, простирающихся из коллизионной области на северо-запад, вплоть до Русской плиты (рисунок 2).



1 - 2 – эпицентры землетрясений:
1 – фокальный механизм не определен, 2 – стереограмма фокального механизма; 3 – номер разлома: 1 - Жалаир-Найманский; 2 - Западно-Джунгарский; 3 - Восточно-Джунгарский; 4 - Чингиз-Алакольский; 5 - Алтынэмельский; 6 - Малайсаринский; 7 - Баканасский; 8 - Жезказган-Темиртауский

Рисунок 2. Эпицентры землетрясений платформенных структур на карте сейсмоактивных разломов РК [6].

С влиянием этих разломов связаны особенности структуры новейшей деформации эпигерцинского щита, а именно: все структуры второго порядка (новейшие поднятия и впадины) расположены дискордантно к общему северо-западному направлению новейших движений верхнекоровых пластин, отражая транспрессию со стороны орогенического пояса. В соответствии с этой особенностью новейшей деформации амплитуды новейших движений закономерно возрастают с северо-запада на юго-восток от 200 до 1000 м и более. Наиболее крупным поднятием щита является Центрально-Казахстанский свод, высоты которого ступенчато понижаются к северу и югу, а на востоке свод замыкается системой хребтов Чингиза. Северо-западному направлению движения верхнекоровых пластин, связанному с тангенциальным сжатием, соответствует также асимметричность Прибалхашской впадины, консолидированный фундамент которой постепенно погружается в юго-восточном направлении. Северное побережье Балхаша сложено коренными палеозойскими породами, сильно изрезанными прямолинейными сбросами тектонического происхождения [6]. Южное побережье Балхаша сложено песчаными четвертичными породами, наиболее глубокой частью Прибалхашской впадины по геофизическим данным является Баканасский прогиб (1200 м), расположенный вблизи Баканасского разлома.

Система разломов в пределах Казахского щита характеризуется широким диапазоном направлений, что свидетельствует о мобильности земной коры в неотектоническую эпоху, выделяются системы северо-западного – северо-восточного направлений (СЗ–СВ) и меридионально-широтных. Наибольшую роль в новейшем структурообразовании играют линеаменты северо-западного и северо-восточного направлений (рисунок 2). Разломы СЗ направления – это упомянутые выше субтрансформные сдвиги, на этапе альпийского тектогенеза, они характеризуются устойчивостью сдвиговых смещений в совокупности с вертикальными перемещениями, устойчивостью азимута 320 - 330° и выдержанностью шага проявления (260 - 300 км) между ними. Два из наиболее значительных – Чингиз-Алакольский и Жалаир-Найманский региональные сдвиги, – являются естественными ограничителями Центрально-Казахстанского свода. Разломы СВ простирания являются секущими по отношению к складчатым структурам фундамента, главные из них прослеживаются из плитного комплекса в консолидированный фундамент щита, в том числе Жезказган-Темиртауский, ограничивающий Центрально-Казахстанский свод с северо-запада.

Для пограничного с Казахским щитом Южно-Джунгарского комплекса морфоструктур также характерно дискордантное расположение к северо-западному направлению субтрансформных региональных разломов-сдвигов. В условиях, переходных к платформенным, здесь отмечается слабая дифференциация тектонических движений. Главными структурными формами Южно-Джунгарского комплекса являются Малайсаринская и Алтынэмельская мегантиклинали северо-восточного направления. Эти мегантиклинали рассекают одноименные взбросы, проникающие в земную кору на глубину до 20 км. Алтынэмельский взброс ограничивает рассматриваемый регион с юго-востока и по данным сейсмического районирования Казахстана [6] имеет максимальный сейсмопотенциал на рассматриваемой территории, здесь возможны землетрясения с магнитудой 7,0. Все эпицентры наиболее сильных землетрясений, зарегистрированных в пределах рассматриваемого региона, приурочены к дизъюнктивным узлам пересечения разломов СЗ – СВ направления.

СЕЙСМИЧНОСТЬ

Инструментальные наблюдения за сейсмическими событиями территории Казахстана проводятся, начиная с 1927 г., а детальные (сетью высокочувствительных станций) – с 1950 г. В пределах Казахского мелкосопочника (45 – 54° с.ш. 65 - 79° в.д.) совместный анализ данных из различных источников позволил составить каталог землетрясений, включивший 37 событий с магнитудой в диапазоне M=2 - 6. Собранный материал сильно неоднороден, поскольку в исследуемом районе отсутствовали систематические сейсмические инструментальные наблюдения в течение продолжительного срока [5]. Международные сети и Центры данных охватывающие этот район, имеют разный набор станций, размещенных на разных и довольно значительных расстояниях от изучаемой территории и регистрировали события с разной пороговой энергией, локализуя их с разной точностью. Использован различный подход к оценкам магнитуд и энергии землетрясений в разное время и в разных центрах обработки.

Число зарегистрированных землетрясений в каталоге увеличилось после начала функционирования в 1999 г. Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (далее ЦСОССИ) Института геофизических исследований. Расширился энергетический диапазон событий в сторону низких энергий. Более представительный материал о сейсмических событиях собран для полосы взаимодействия щита со структурами Южной-Джунгарии, где зарегистрировано более 3000 землетрясений, из них 96% составляют слабые землетрясения с энергетическим классом K≤10. Анализ имеющихся каталогов показал, что в пределах южной части региона представительная регистрация землетрясений с K≥12 обеспечивается с 1930 г., с K≥13 – с 1920 г., с K≥14 – с 1900 г. и с K≥15 со второй половины XIX века [7]. По площадному распределению эпицентров землетрясений (рисунок 2) рассматриваемая территория разделяется на слабоактивную – в пределах мелкосопочника и Прибалхашской впадины, – и относительно сейсмоактивную зону – сочленение щита со структурами Южной-Джунгарии. Эпицентры относительно сильных землетрясений (с K≥12) во второй из них приурочены к зонам максимальной концентрации эпицентров слабых толчков (рисунок 3).

Наблюдаемое различие по сейсмичности горной части и глубоко просевшего блока Прибалхашской впадины отвечает различию в их геологическом строении – поднятый блок сложен породами палеозойского цоколя, а в опущенном блоке трещиноватый палеозойский остов, где обычно возникают очаги землетрясений, надежно прикрыт мощным чехлом рыхлых отложений кайнозоя, насыщенных поровыми и пластовыми водами [6]. Тем не менее, как показывают последние данные сейсмического мониторинга, в пределах просевшего блока Прибалхашской впадины, в том числе Баканасского прогиба, регулярно регистрируются слабые события.

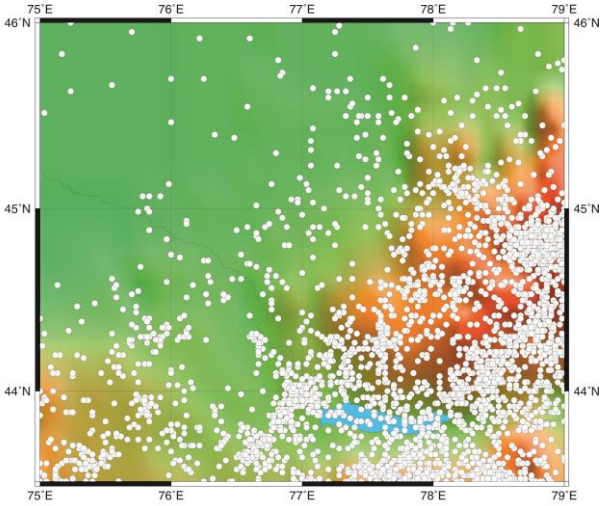


Рисунок 3. Карта эпицентров землетрясений за период 1950 – 2011 г.

Из рисунков 1, 2 видно, что все эпицентры землетрясений мелкосопочника расположены по периметру Центрального свода, группируясь в отдельные зоны, в то время как в центральной части структуры эпицентры землетрясений отсутствуют. Можно выделить три основные зоны концентрации эпицентров в узлах пересечения разломов СЗ – СВ направлений: северо-восточную, западную и южную (рисунок 2). Первые две зоны расположены в дизъюнктивных узлах пересечения Чингиз-Алакольского и Жалаир-Найманского сдвигов с Жезказган-Темиртауским и Михайловским разломами.

Северо-восточная зона концентрации эпицентров расположена вблизи границы исследуемой территории и территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), структурно она относится к Алтай-Чингизскому складчатому региону. В пределах этой локальной зоны Жезказган-Темиртауский разлом меняет направление, образуя дугу субширотного простирания. Наряду с разломами СЗ - СВ направления здесь развита сеть меридиональных разломов более высокого порядка, секущих Чингиз-Алакольский сдвиг. В этой локальной зоне сконцентрированы 9 очагов землетрясений с энергетическими классами K=8 - 14, зарегистрированных в период с 1925 по 2012 гг. Гипоцентры землетрясений этой зоны распределены в диапазоне глубин 3 - 13 км. Положение эпицентров землетрясений 1925 и 1966 гг. несколько в стороне от компактной группы остальных событий, что возможно объясняется ошибкой при локализации эпицентров «старых» землетрясений до начала функционирования ЦСОССИ.

К западной зоне концентрации эпицентров землетрясений относятся очаги 4-х Жезказганских землетрясений, произошедших с 1994 по 2005 гг. с

К≥10. Еще 4 землетрясения с К=9, расположены несколько северо-восточнее, вдоль Жезказган-Темиртауского разлома, они зарегистрированы в 2005 - 2006 г.г. К этой зоне можно отнести также Шалгинское землетрясение с К=14 (2001 г.), эпицентр которого расположен юго-восточнее Жезказганских очагов, вблизи пересечения Жалаир-Найманского сдвига с Михайловским разломом. Еще далее на юго-восток вдоль Жалаир-Найманского сдвига расположен очаг землетрясения в 1974 г. с М=4.

Южная зона концентрации эпицентров приурочена к границе Центрально-Казахстанского свода с Балхашской впадиной. В этой зоне зарегистрировано семь относительно слабых землетрясений с К=7 - 11, большинство эпицентров расположено в тектоническом клине между региональными Западно- и Южно-Джунгарскими разломами. Одно землетрясение с К=11 произошло в 1988 г., остальные были зарегистрированы в 2002 - 2008 гг., после начала функционирования ЦСОССИ. Можно предположить, что в связи с недостатками сейсмических сетей ранее в этой зоне регистрировались не все происходящие подземные толчки, вероятно, в действительности их было гораздо больше.

Таким образом, наиболее сильные землетрясения в пределах мелкосопочника с магнитудой М≥5 приурочены к Чингиз-Алакольскому (северо-восточная зона, 1925 и 1976 гг.) и Жалаир-Найманскиому (западная зона, 1974 и 2001 гг.) сдвигам, являющимся естественными ограничителями мелкосопочника с северо-востока и юга-запада.

Практически одновременно с реализацией наиболее сильных землетрясений на северо-восточной границе мелкосопочника произошли землетрясения с аналогичной магнитудой на юго-восточной окраине, в полосе взаимодействия Казахского щита с Джунгарией. Это два землетрясения: 1925 и 1979 гг., – эпицентры которых приурочены к Баканасскому разлому. Отметим, что на карте сейсмоактивных разломов, уточненной с использованием космических снимков [Великанов А.Е., 8], эти две зоны расположены по разные стороны меридионального разлома, прослеживающегося от северной окраины мелкосопочника до южного Прибалхашья (рисунок 4).

Баканасское землетрясение 1979 г. с интенсивностью в эпицентре 7 баллов (MSK-64) и с магнитудой mb=5,8 и Ms=5,6 произошло в 200 км на север от г. Алматы [9]. Через 7 дней после главного толчка в 1979 г. вблизи пересечения Баканасского разлома с Южно-Джунгарским произошло землетрясение, которое можно считать его удаленным афтершоком. Интересно, что в том же самом месте очаг землетрясения с К=12 реализовался в 12.09.2010 г. Это событие оказалось подобным Баканасскому (1979 г.) по проявлению афтершоковой активности – был зарегистрирован только один афтершок. Причем перед землетрясениями 1979 и 2010 гг. и после их реализации в эпицентральной зоне Баканасского землетрясения наблюдалось заметное повышение как частоты регистрации слабых землетрясений, так и энергетического уровня событий.

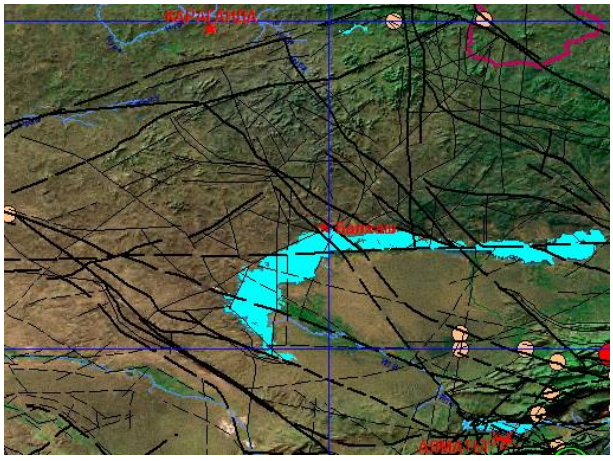


Рисунок 4. Эпицентры землетрясений с Ms ≥ 5 на карте сейсмоактивных разломов, уточненных по космоснимкам [8]

Следующая зона концентрации очагов может быть выделена в том же тектоническом клине между Западно-Джунгарским сдвигом и Южно-Джунгарским (южнее Балхаша). В этой части территории к указанному тектоничекому клину приурочено 8 очагов землетрясений с К≥12, произошедших в 1888 - 2009 гг. Два сейсмических события 1950 г. – главный толчок и его афтершок, – расположены в пограничной зоне Прибалхашской впадины и структур Южной Джунгарии, более поздние землетрясения (1960 - 2009 гг.) произошли ближе к основанию тектонического клина, их очаги приурочены к северо-восточному продолжению Малайсаринских структур.

Эпицентры землетрясений с К≥12 Южно-Джунгарской геодинамической системы образуют цепочки северо-восточного направления вдоль Алтынэмельской и Малайсаринской мегантиклиналей и приурочены в большинстве случаев к дизъюктивным узлам одноименных надвигов северо-восточного простирания с разломами северо-западного направления, глубины гипоцентров событий этой зоны составляют 10 - 25 км. В пределах Малайсаринских структур отмечено четыре очага землетрясений, энергия которых не превышает 12 класс, а в наиболее сейсмически активной на рассматриваемой территории Алтынэмельской мегантиклинали зарегистрировано 8 землетрясений.

На самом юге исследуемого региона в пределах Алматинской впадины, кристаллический фундамент которой перекрыт километровой толщей мезо-кайнозойского чехла, зарегистрированы три землетрясения с К≥12, эпицентры которых трассируют региональный Капчагай-Чиликский сдвиг. Землетрясению 1 мая 2011 г. с магнитудой m_b=5.6, несмотря на его небольшую силу по меркам глобальной сейсмологии,

уделялось особое внимание в мировых центрах данных, что объясняется его близостью к крупнейшему мегаполису Казахстана городу Алматы.

Временные особенности проявления сейсмичности

Выше уже была отмечена значительная неоднородность данных о сейсмичности Казахского щита. Если в период до 1998 г. в каталогах имеются сведения только о 10-ти землетрясениях с M=4 – 6, произошедших в пределах мелкосопочника, то после 1998 г. имеются сведения о 27 землетрясениях с M=2 – 5,2 (рисунок 6). При такой неоднородности данных сложно выявить особенности в проявлении сейсмичности во времени.

Тем не менее, установлено, что наиболее сильные землетрясения с магнитудой M≥5 произошли практически одновременно на юго-восточной и северо-восточной границе мелкосопочника: сначала в 1925 г., затем в 1974, 1976, 1979 гг., когда кроме как в этих двух активизируется еще и западная зона. Активизация более слабых событий в разных зонах также происходит в одни и те же временные периоды. Несмотря на редкость сейсмических событий в рассматриваемых зонах, можно отметить тенденцию к активизации сейсмичности в разных зонах в один временной период. Такое группирование во времени сейсмической активизации разных зон может происходить вследствие достижения критической величины деформаций, накапливаемых на границах Казахского щита, в результате транспрессии со стороны орогенического пояса.

Более представительный статистический материал (более 3000 землетрясений) для анализа временных вариаций в проявлении сейсмичности накоплен для южной части Казахского щита. В последние годы здесь значительно увеличилось число регистрируемых землетрясений – до 120 – 160 в год, – тогда как до 2004 г. отмечалось 20 - 60 сейсмических событий в год (рисунок 7-а).

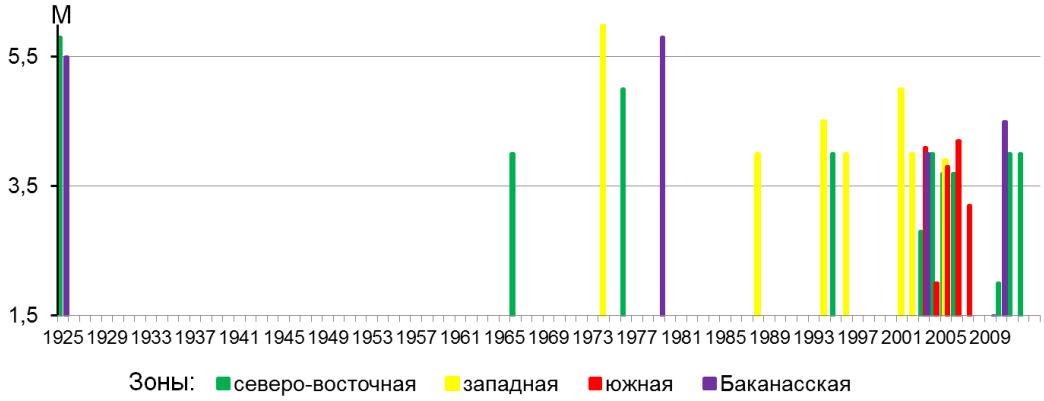
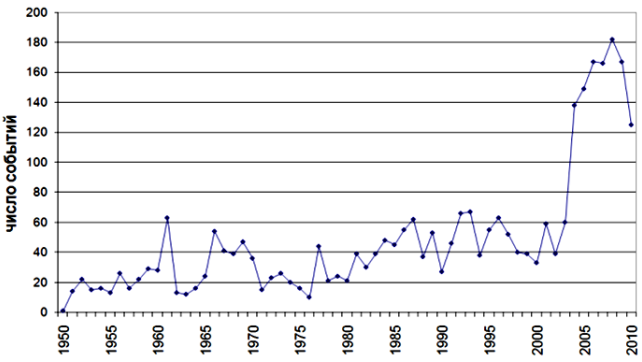
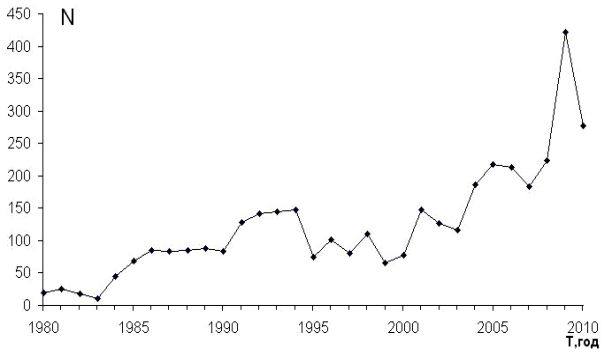


Рисунок 6. Распределение во времени землетрясений наибольших магнитуд в локальных зонах Казахского Щита



а – для исследуемой зоны



б – для Джунгарского сейсмоактивного региона

Рисунок 7. Графики годовых вариаций количества землетрясений

Регулярно регистрируются слабые события также непосредственно в очаговой зоне Баканасского землетрясения. Причем в периоды подготовки и после реализации сильных землетрясений в каком-либо из блоков южной части территории активизируется слабая сейсмичность и в Прибалхашской впадине. Одной из причин роста количества регистрируемых землетрясений может быть развитие сейсмических сетей Казахстана. Тот факт, что к периоду наблюдения 2004 - 2010 гг. относится более трети событий в слабосейсмичной северо-западной зоне Балхашского срединного массива, позволяет предположить, что в связи с недостатками сейсмических сетей ранее в этой зоне регистрировались не все происходмвшие

подземные толчки, вероятно, в действительности их было гораздо больше. С другой стороны, монотонный рост числа событий, регистрируемых после 2004 г., может свидетельствовать о том, что это связано не только с изменениями сети наблюдения, но и с процессами тектонической активизации земной коры. Тем более, что увеличение среднегодового количества землетрясений в этот период отмечено во всем Джунгарском сейсмогенерирующем регионе (рисунок 7-б). Распределение землетрясений с K≥12 во времени показано на рисунке 8.

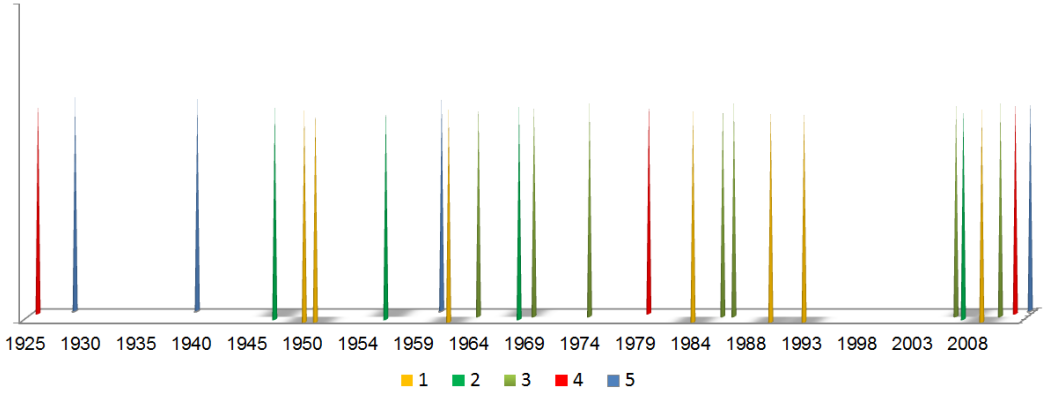


Рисунок 8. Диаграмма распределения во времени землетрясений K≥12 за время представительной регистрации

Анализ рисунка 8 позволяет выделить за все время представительной регистрации два периода активизации сейсмичности и два периода затишья. Продолжительность периодов затишья составляет по 12 - 13 лет (1929 - 1940, 1994 - 2006), продолжительность активизации 1940 - 1993 гг. составляла более 50 лет. В течение этого времени каждые 2 - 4 года происходило событие с K≥12 в одном из блоков южных структур. В последний период сейсмической активизации, начавшийся в 2006 г., частота землетрясений с K≥12 увеличилась: события происходили каждый год и даже 2 события за один год (2010 г.). В результате за промежуток времени в 6 лет очаги землетрясений такой силы реализовались во всех рассмотренных структурах южной части территории. По аналогии с продолжительностью предыдущего периода активизации можно предположить, что наблюдаемая в настоящее время сейсмическая активность будет продолжаться такой же отрезок времени. Однако, поскольку с 2006 по 2011 гг. все структуры «отработали», можно ожидать некоторый перерыв в реализации очагов и уменьшение их частоты. В пользу некоторого спада активности в настоящее время свидетельствует и наблюдаемое с 2010 г. уменьшение среднегодового количества слабых событий как во всей Джунгарии, так и на исследуемой территории Казахского щита. Таким образом, из проведенного анализа следует, что активизация сейсмичности совершенно различных структур - горной части и глубоко просевшего блока Прибалхашской впадины, – происходит в одни и те же временные периоды.

В целом, выявленные особенности проявления сейсмичности во времени в пределах Казахского щита могут свидетельствовать о деформации этой структуры под воздействием единой системы напряжений для этого региона.

МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ

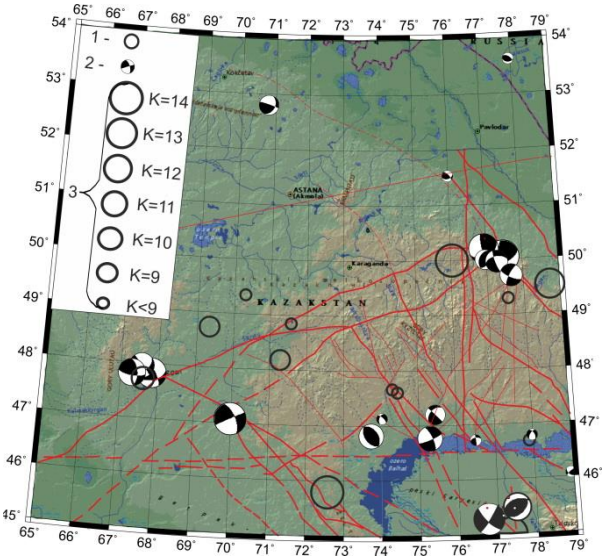
Установить характер действующих в регионе напряжений, а также связь процессов в очагах землетрясений с тектоническими процессами в каждой конкретной зоне позволяет исследование фокальных механизмов очавгов Тема весьма актуальна для считавшегося ранее асейсмичным района Казахского щита. Реконструкция процессов, происходящих в очагах землетрясений на региональном уровне, проводится на основании определения механизмов очагов по данным о направлениях смещений (знаках) в первых вступлениях продольных волн по стандартной методике Введенской А.В. [10]. Для 4-х из исследованных событий имеется также решение тензора момента центроида (CMT) Гарвардского университета по данным станций глобальной сейсмической сети [11]. Кроме того, сведения о сейсмотектонических процессах в полосе взаимодействия Казахского щита со структурами Южной Джунгарии получены по представительной статистике механизмов очагов слабых землетрясений (по данным с более чем 30-летний срок наблюдений). Также рассмотрено изменение параметров сейсмотектонического деформирования относительно фоновых характеристик в наблюдаемый в настоящее время период сейсмической активизации.

В качестве исходных были привлечены данные сейсмических станций сети ИГИ, сейсмологической опытно-методической экспедиции РК, опытно-методической сейсмологической экспедиции ИС НАН КР, а также ряда российских и мировых станций, данные которых опубликованы в сейсмологических

бюллетенях Центра сейсмической информации Геофизической службы РАН.

Полученное распределение знаков первых движений Р-волн свидетельствует о том, что волны сжатия и растяжения во всех исследуемых сейсмических событиях имеют квадрантное распределение. Такое распределение волн сжатия и растяжения, как известно, соответствует сдвиговым смещениям по плоскости разрыва. Данный факт подтверждает, что рассматриваемые события не являются ни взрывами, ни простыми обрушениями. Для выявления общих закономерностей и характерных особенностей сейсмотектонического деформирования территории Казахского щита рассмотрены фокальные механизмы сейсмических событий в локальных зонах от северной границы мелкосопочника до полосы взаимодействия щита с Джунгарией включительно.

В северо-восточной локальной зоне концентрация эпицентров фокальные механизмы определена для 5 компактно сгруппированных очагов землетрясений с К=9 - 14, произошедших с 1976 по 2012 гг. (стереограммы приведены на рисунке 9).



(1 – 2) –эпицентры землетрясений:
1 – фокальный механизм не определен,
2 – стереограмма фокального механизма;
3 – энергетические классы землетрясений

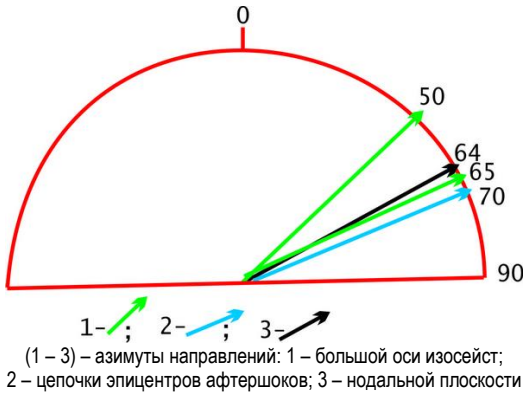
Рисунок 9. Стереограммы механизмов очагов землетрясений на территории Казахского мелкосопочника

Механизмы очагов наиболее сильных землетрясений с К=14 (1976 г.) и К=13 (1986 г.) представляют собой комбинацию субширотных сдвигов и круто падающих на юго-запад взбросо-сдвигов СЗ простирания. В очагах более слабых землетрясений с К≤10 субширотные сдвиги образуют комбинацию со сдвигами с некоторой сбросовой компонентой по крутопадающим плоскостям СЗ либо СВ простирания. Очаг землетрясения с К=9, зарегистрированный в 2004 г., характеризуется как взброс по обеим плоскостям, ориентированным в СВ азимутах (25° и 32°). Ориентация разрывов и характер подвижки в этом очаге имеет очевидную связь с Михайловским разломом, секущим структуры Центрального свода. В других очагах структурное объяснение также можно найти обеим нодальным плоскостям. Сдвиги с незначительной взбросовой составляющей по круто падающим на юго-запад плоскостям северо-западного простирания могут отражать сейсмическую активность регионального Чингиз-Алакольского сдвига. В то же время, более пологие сдвиги по падающим на юго-запад плоскостям субширотного простирания согласуются с ориентацией, которую приобретает на рассматриваемом участке Жезказган-Темиртауский разлом. Очаг землетрясения 2012 г., который расположен несколько юго-восточнее других эпицентров, согласуется с меридиональными тектоническими разрывами, секущими Чингиз-Алакольский сдвиг. Таким образом, сейсмичность рассматриваемой зоны может быть связана как с тектонической активностью Чингиз-Алакольского сдвига, так и с секущими его разломами СВ и меридионального направления. Реализация очагов происходит в условиях близгоризонтального напряжения сжатия в запад-северо-западном направлении (Az=288 - 299°), при субмеридиональной ориентации осей растяжения с отклонением на СВ (Az=2 - 41°), погружение которых меняется от близгоризонтального до близвертикального положения. Несколько северо-западнее Центрально-Казахстанского свода расположены очаги еще 3-х землетрясений, для которых определены фокальные механизм. Подвижки в этих очагах представлены взбросами по плоскостям либо северо-западного, либо северо-восточного простирания, согласующегося с ориентацией системы главных структурообразующих разломов. Оси напряжения сжатия и растяжения ориентированы близгоризонтально в субмеридиональном и в субширотном направлениях соответственно. Таким образом, анализ фокальных механизмов землетрясений северо-восточной зоны показал, что они типичны для землетрясений сейсмически активных зон Алтае-Чингизского региона [12]. Особенностью очагов локальной зоны концентрации эпицентров является большая развернутость к западу (вплоть до субширотного) направления осей главного напряжения сжатия. Однако по мере удаления эпицентров землетрясений от Центрально-Казахстанского свода ориентация осей сжатия меняется до направления, характерного для Алтае-Чингизского региона.

В западной зоне концентрации эпицентров решения механизмов очагов получены для трех наиболее сильных землетрясений с К=11 – 13. Механизмы очагов четырех землетрясений западной зоны были подробно описаны ранее [13]. Отмечалось, что знаки первых вступлений Р-волн, полученные для трёх Жезказганских землетрясений на одних и тех же станциях наблюдений, абсолютно одинаковы, и, соответственно, их распределение дало подобные ре-

шения фокальных механизмов (рисунок 6), полученные с высокой степенью надежности. Характер подвижек во всех этих очагах определён как сдвиго-взброс по обеим нодальным плоскостям, с преобладанием сдвиговой компоненты. Азимут простирания одной из плоскостей, круто падающей на северо-восток, характеризуется северо-западным направлением, которое варьирует от 319 до 354° в разных очагах. Вторая, более пологая плоскость ориентирована субширотно. Следует отметить, что этой ориентации разрыва трудно найти геологическое объяснение, тогда как крутые сдвиго-взбросы северо-западного простирания имеют ясное структурное соответствие с Жалаир-Найманским сдвигом. Оси напряжения сжатия в очагах ориентированы близгоризонтально в северо-восточном направлении. Оси напряжения растяжения круто погружаются по азимутам 86 - 139°. Подобие фокальных механизмов всех трех очагов свидетельствует о единой системе напряжений, в условиях которых формируются очаги в этой зоне. В аналогичных условиях напряженного состояния реализовался и очаг Шалгинского землетрясения. Его фокальный механизм характеризуется сдвигом по обеим нодальным плоскостям, имеющим северо-западное и северо-восточное направления. Каждое из этих направлений в решении механизма очага соответствует ориентации главных разломов зоны. Для выбора из двух возможных плоскостей разрыва наиболее вероятной были привлечены дополнительные имеющиеся сведения об этом очаге: направленность распространения повторных толчков и результаты макросейсмического обследования. Шалгинское землетрясение сопровождалось афтершоковой активизацией, включающей эпицентры 6 повторных толчков, вытянутых в цепочку северо–восточного направления (в азимуте 70°). Такое же направление установлено по данным макрообследования для большой оси эллипса изосейст, азимут которой характеризуется диапазоном 50°–65°. На рисунке 10 для выявления действующей плоскости разрыва объединены все имеющиеся сведения об очаге.

Из рисунка 10 видно, что, несмотря на разнородность, сведения тяготеют к плоскости северо-восточного простирания с азимутом 64°, согласующейся с ориентацией Михайловского разлома, по которой с большей вероятностью произошел разрыв, характеризующийся крутым левосторонним сдвигом. Анализ механизмов очагов западной локальной зоны показал, что все очаги реализовались под действием двойной пары сил – близгоризонтального сжатия в северо-восточном направлении при круто погружающейся в азимутах 86 - 139° оси напряжения растяжения. Ясное структурное объяснение находят крутые сдвиго-взбросы северо-западного простирания в очагах Жезказганских землетрясений и крутой сдвиг северо-восточного простирания в очаге Шалгинского землетрясения.



(1 – 3) – азимуты направлений: 1 – большой оси изосейст;
2 – цепочки эпицентров афтершоков; 3 – нодальной плоскости

Рисунок 10. Сводные направления азимутов большой оси эллипса изосейст, эпицентров афтершоков и одной из нодальных плоскостей

В пределах Южной зоны концентрации эпицентров землетрясений механизмы определены для всех очагов, в том числе слабых с К=7, поэтому параметры механизмов характеризуются большей вариабельностью. В очагах трех наиболее сильных землетрясений с К=9-11 реализовались взбросовые, взбросо-сдвиговые и сдвиговые подвижки в условиях горизонтального сжатия в СВ либо субширотном направлении (в азимутах 55-113°). Во всех трех очагах одна из нодальных плоскостей или обе (в очаге 1988 г.) ориентированы в соответствии с региональными разломами СЗ простирания. В двух очагах, расположенных в тектоническом клине между региональными Западно- и Южно-Джунгарскими разломами, вторая нодальная плоскость согласуется с СВ направлением разломов более высокого порядка.

Следует отметить, что по плоскостям разрывов СВ простирания происходят подвижки в очагах землетрясений, расположенных в основании указанного тектонического клина, южнее озера Балхаш. Это характерно для наиболее сильных в указанной зоне Текелийских землетрясений, особенности их очагов подробно исследованы в работе [14]. Показано подобие механизмов очагов двух землетрясений, произошедших практически в одном месте через 16 лет. Оба очага реализовались под действием регионального напряжения сжатия в субмеридиональном направлении. Разрывы в очагах в первом движении представляют собой сдвиги по круто падающим на юго-восток плоскостям северо-восточного простирания (рисунок 11).

По мере развития разрыва тип подвижки меняется на взброс по более пологим плоскостям. Геометрические размеры разрывов ограничены размерами блока и соответствуют средним размерам очагов землетрясений с магнитудой М=6. Вся афтершоковая деятельность как при первом, так и при втором землетрясениях, развивается только в южном, висячем крыле разрывов, преимущественно на глубине Н>10 км.

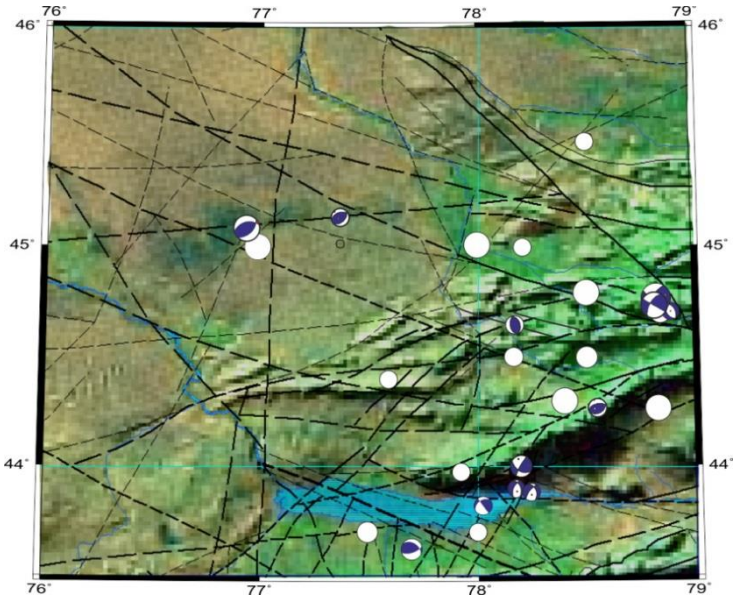
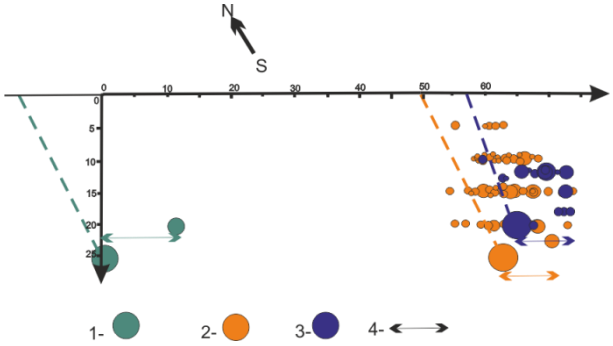


Рисунок 11. Стереограммы механизмов очагов землетрясений полосы взаимодействия Казахского щита с Джунгарскими структурами

Афтершоковая активизация быстро затухает во времени, при этом отмечается чередование процессов дилатансионного упрочнения и разупрочнения. В целом, по результатам исследования механизмов очагов сделан вывод, что в блоке между Южно- и Западно-Джунгарским разломами существует система сейсмоактивных разломов более высокого порядка, круто падающих на юго-восток вдоль хребтов северо-восточного простирания и проникающих в земную кору на глубину не менее 20 - 25 км. Этот вывод подтверждается и расположением эпицентров землетрясений 1950 г. Сильный афтершок (К=12) произошел южнее главного толчка с К=14, эпицентр которого приурочен к разлому северо-восточного направления, близкого к простиранию разрывов в очагах Текелийских толчков. Таким образом, при сильных землетрясениях 1950, 1993, 2009 гг. наблюдается подобное расположение главных и повторных толчков, позволяющее предположить, что и в очаге главного толчка 1950 г. процессы происходили аналогично установленным для очагов Текелийских землетрясений. Данный вывод иллюстрируется рисунком 12, где схематически показан глубинный разрез очагов сильных землетрясений тектонического клина между Южно- и Западно-Джунгарскими разломами по профилю, ориентированному вкрест северо-восточного простирания наиболее вероятных плоскостей разрывов. Видно, что наиболее сильные землетрясения в рассматриваемом тектоническом клине реализовались по единой схеме. Это каскад разрывов, секущих блок между Южно- и Западно-Джунгарским разломами, последующие развивают на юго-восток начатые предыдущими толчками релаксационные процессы в одном и том же напряженном объеме.



(1 – 3) – очаги землетрясений:
1 - 1950 г.; 2 - 1993 г.; 3 - 2009 г.; 4 – ширина разрывов

Рисунок 12. Глубинный разрез очагов сильных землетрясений тектонического клина между Южно- и Западно-Джунгарскими разломами

Исключение составляет очаг землетрясения с К=12, произошедшего в 1990 г. Фокальный механизм этого события представляет собой сброс по плоскостям северо-западного простирания, согласующегося с ориентацией разлома, к которому приурочен эпицентр. Отметим, что аномальный для рассматриваемой зоны сброс произошел перед более сильным Текелийским землетрясением 1993 г. на периферии его очаговой зоны. Интересно, что появление сбросов наблюдалось и на периферии очаговой зоны перед Текелийским землетрясением 2009 г. Подобная ситуация наблюдалась также в Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоне, когда сильному Байсорунскому землетрясению (К=15) с типичным взбросовым механизмом очага, двумя годами раньше предшествовало событие с К=13 с аномальным для этой зоны сбросовым фокальным механизмом. Возможная причина такой ситуации связывалась с миграцией флюидов в земной коре и

верхней мантии [13], приводящей к концентрации напряжений и гидроразрывам на периферии зоны подготовки сильного землетрясения.

В Баканасской зоне определены механизмы очагов землетрясений 1979 и 2010 гг. Решение фокального механизма землетрясения 1979 г. получено двумя методами: по сведениям о направлениях первых движений в продольных волнах и методом расчета параметров тензора центроида сейсмического момента (CMT) в сейсмическом центре Гарвардского университета. Полученные двумя методами фокальные механизмы существенно отличаются [15]: по сведениям о направлениях первых движений в Р-волнах тип механизма Баканасского землетрясении – сдвиг с незначительной сбросовой компонентой, по CMT- решению – взброс с некоторой сдвиговой компонентой (рисунок 13). Однако по данным обоих методов землетрясение произошло в условиях близгоризонтального сжатия в север-северо-западном направлении. Подробный анализ особенностей механизмов очагов землетрясений 1979 и 2010 гг. приведен в работе [9]. Результаты анализа свидетельствуют о подобии процессов в очагах двух сильных землетрясений Баканасской зоны (1979 и 2010 гг.). Оба землетрясения произошли в условиях близгоризонтального сжатия в север-северо-западном направлении, под действием которого в очагах реализовались взбросовые подвижки по падающим на северо-запад плоскостям разрывов, простирающихся в северо-восточном направлении. Такая ориентация разрывов в очагах субпараллельна направлению второстепенного разлома, оперяющего региональный Баканасский разлом. Сопоставление фокальных механизмов этой и рассмотренной выше зоны, позволило выявить общую особенность процессов при развитии разрывов в очаге Баканасского землетрясения 1979 г. и в очагах двух Текелийских событий. А именно, при развитии разрыва тип подвижки меняется от сдвига в первом движении, к взбросу, а падение плоскости – от близвертикального в начале разрыва к более пологому в главной фазе разрывообразования.

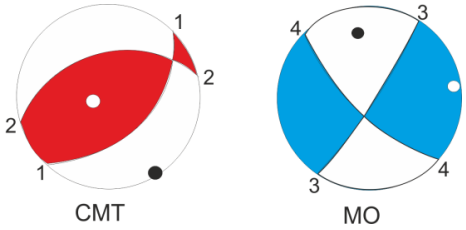


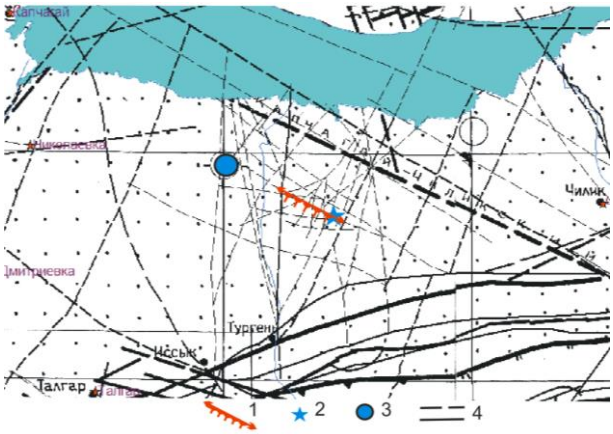
Рисунок 13. Стереограммы фокального механизма землетрясения 25.09.79 г.

В пределах Алтынэмельских структур (рисунок 11) механизмы очагов определены для 5 землетрясений с К≥12. Из характера стереограмм, приведенных на рисунке 11, видно, что механизмы очагов изменяются при движении вдоль Алтынэмельской антиклинали к югу. В южной части антиклинали фокальные механизмы представляют собой сбросы либо сбросо-сдвиги по крутым плоскостям, одна из которых или обе ориентированы субмеридионально. Этот участок Алтынэмельской мегантиклинали, являющийся переходной зоной к Алматинской впадине, разбит многочисленными разнонаправленными разломами, среди которых выделяются секущие мегантиклиналь в азимутах 30-40^0. С разломами этого простирания совпадает ориентация разрывов в очагах рассмотренных событий, а сбросовый тип подвижки, вероятно, отражает условия растяжения в переходной зоне от хребта к впадине. В центральной части Алтынэмельской мегантиклинали, рассекаемой одноименным взбросом, фокальный механизм землетрясения (4.06.2006) характеризуется взбросовой подвижкой по обеим возможным плоскостям северо-восточного простирания. То есть, механизм очага этого землетрясения согласуется и с ориентацией, и с кинематикой Алтынэмельского взброса. Землетрясение 4.06.2006 г. сопровождалось незначительной афтершоковой активизацией, в течение месяца было зарегистрировано только 5 повторных толчков с К=5,7–7,6, эпицентры четырех расположены вдоль структур севернее главного очага. По характеру распределения афтершоков можно предположить, что развитие разрыва происходило с юго-запада на северо-восток. Один афтершок был зарегистрирован за пределами очага в Малайсаринской мегантиклинали, что может свидетельствовать об активизации этой структуры. Действительно, через год в центральной части Малайсаринской мегантиклинали произошло землетрясение с К=12 (02.09.2007 г.), получено решение механизма его очага по данным 21 станции сети СОМЭ РК. Подвижка в очаге произошла в условиях горизонтального сжатия в меридиональном направлении и характеризуется взбосо-сдвигом по двум возможным плоскостям, простирание которых согласуется с имеющейся системой разломов. Землетрясение сопровождалось серией афтершоков, что позволило построить глубинные разрезы по простиранию и вкрест нодальных плоскостей. В результате анализа пространственного распределения облака афтершоков установлено, что наиболее вероятной плоскостью разрыва является плоскость, падающая на юго-запад под углом 41°, простирание которой согласуется с разломами, секущими Малайсаринские структуры. Развитие разрыва происходило с запада на восток, его геометрические размеры, полученные по глубинным разрезам, составляют: H=25 км, L=12 км, W=7 км. Размеры очага фиксированы размерами блока и удовлетворительно соответствуют магнитуде землетрясения M=5,4. Для 20 афтершоков определены механизмы очагов. В большинстве случаев одна или обе нодальные плоскости ориентированы по простиранию Малайсаринского надвига. Подвижки в очагах афтершоков в 14 случаях характеризуются взбросо- взбросо-сдвигами, в 6 сбросо-сбро-

со-сдвигами. Последние из них, видимо, являются «механизмами отдачи», свидетельствующими о релаксации напряжений, вызвавших главный толчок. Наряду с афтершоками, компактно сгруппированными в очаговой области главного события, в 2008-2009 гг. наблюдалась активизация сейсмичности в тектоническом клине между Западно- и Южно-Джунгарскими разломами, на периферии очаговой зоны Текелийского землетрясения 2009 г., о которой было сказано выше. Таким образом, наблюдается общая особенность распределения афтершоковой последовательности землетрясений 2006-2007 гг., а именно – появление удаленных очагов в соседних структурах, на периферии очаговых зон будущих землетрясений. То есть, в результате сильных землетрясений происходит последовательная активизация деформационных процессов в соседних структурах, вероятно, влияющих на подготовку очагов землетрясений, реализующихся через 1-2 года.

На юго-западной границе территории, в слабосейсмичной северо-западной части Алматинской впадины фокальный механизм определен для землетрясения (рисунок 11), произошедшего 1.05.2011 г. («Капчагайского»). Подробное описание этого события приведено в работе [16], в результате анализа всей совокупности данных сделан вывод, что Капчагайское землетрясение реализовалось под действием регионального напряжения сжатия в субмеридиональном направлении вблизи границ зон с контрастными параметрами сейсмотектонического деформирования. Гипоцентры главного и повторных толчков располагались в блоке между разломами высокого порядка, ориентированными субпараллельно и вкрест простирания Капчагай-Чиликского сдвига и генетически с ними связаны (рисунок 14).

Геометрические размеры очаговой зоны ограничены размерами блока и соответствуют средним размерам очагов землетрясений с магнитудой M=5. По пологому разрыву северо-восточного простирания произошло смещение южного крыла вверх и на северо-запад, что согласуется с ориентацией и кинематикой Капчагай-Чиликского трансрегионального сдвига. Вспарывание разрыва, с большой вероятностью, происходило одновременно по падению плоскости вверх, и в обе стороны по ее простиранию. На всем протяжении разрыва сохранялась ориентация смещений, зафиксированная в начальной стадии. Продолжительная во времени афтершоковая активизация сконцентрирована в южном, висячем крыле разрыва, преимущественно на глубине H>10 км. Релаксация напряжений происходила в результате взбросо-сдвиговых и сдвиговых подвижек по плоскостям либо северо-восточного, либо северо-западного направления, согласующегося с простиранием имеющихся в зоне разломов высокого порядка. Ориентация разрывов в очагах главных толчков и их афтершоков и пространственное распределение гипоцентров свидетельствует о том, что разрывы высоких порядков в Алматинской впадине, по всей вероятности, имеют крутое падение и проникают в земную кору на глубину 10 – 25 км, разбивая ее на блоки.

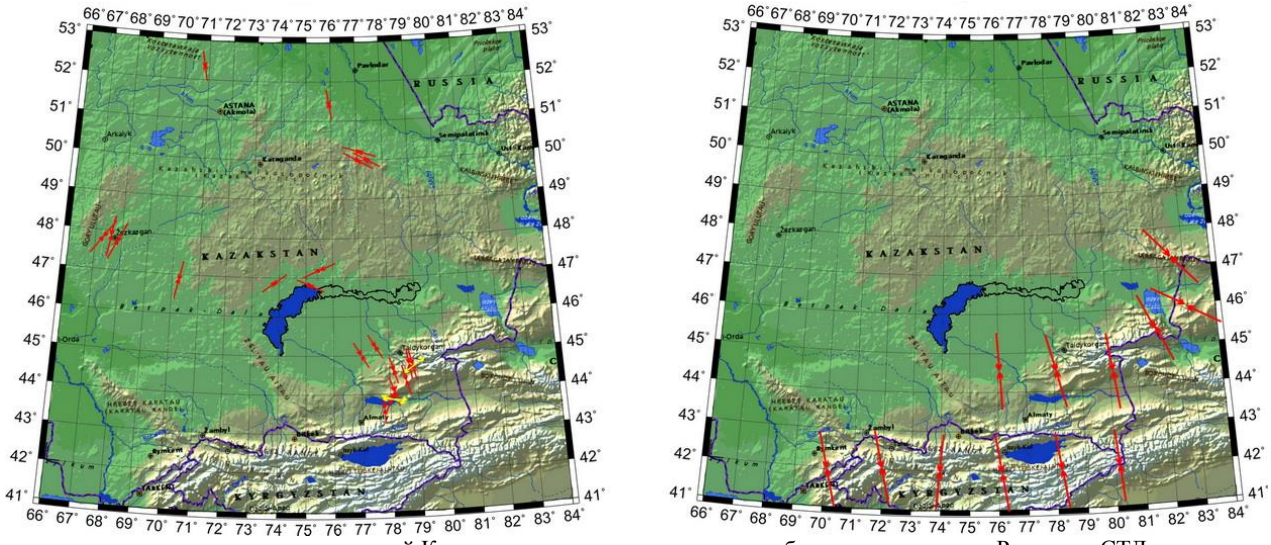


1 - пологий взбросо-сдвиг на глубине 20 км, генерировавший землетрясение (стрелки показывают направление разрыва в горизонтальной плоскости, зубцы – падение разрыва); 2 - эпицентр землетрясения 2011 г., 3 - эпицентр землетрясения 1960 г.; 4 – линии разломов

Рисунок 14. Проекция разрыва в очаге Капчагайского землетрясения 2011 г. на дневную поверхность

Таким образом, анализ фокальных механизмов показал ясное структурное соответствие ориентации и кинематики подвижек в очагах землетрясений главной системе разломов СЗ - СВ простирания Казахского щита, что свидетельствует об их современной тектонической активности. При движении с севера на юг ведущий тип разрывов в очагах землетрясений меняется от крутых горизонтальных сдвигов (либо сдвигов с незначительной составляющей по падению разрывов) – в основных зонах сейсмичности мелкосопочника, до крутых взбросов (либо взбросов с некоторой сдвиговой составляющей), отражающих активность продольных северо-восточных надвигов – в пограничных зонах Казахского щита с Джунгарией. Размеры исследованных очагов (длина разрыва, глубина заложения) геологически фиксированы размерами соответствующих активных блоков и согласуются с магнитудами землетрясений.

В целом, во всех рассмотренных структурах наиболее сильные землетрясения с K>12 происходят в условиях напряжения горизонтального сжатия (оси напряжения сжатия показаны красными стрелками на рисунке 15-а), однако направление осей горизонтального сжатия неоднородно.



а – для очагов сильных землетрясений Казахского щита

б – направление оси Р тензора СТД

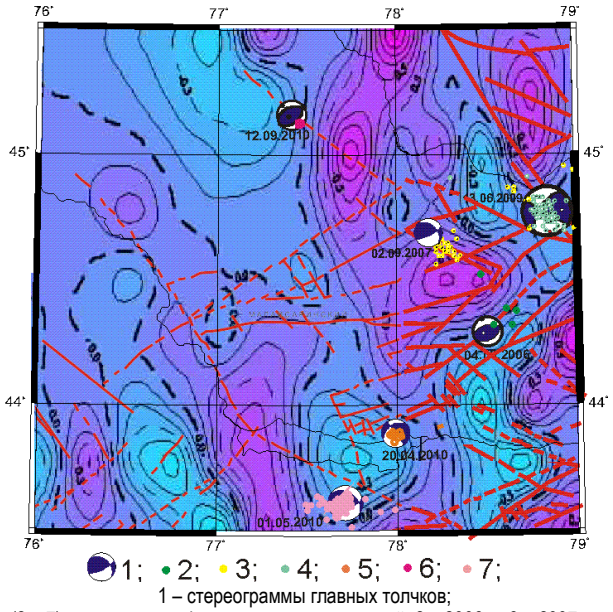
Рисунок 15. Ориентация главных осей напряжений на территории Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона

Особенностью напряжений Казахского щита является ориентация осей горизонтального сжатия по касательной к границам Центрально-Казахстанского свода. При удалении от структур свода направление осей сжатия меняется на СЗ, типичное для регионов Центральной Азии. Можно предположить, что отмеченная особенность в ориентации осей напряжения сжатия связана с формой свода, поскольку удовлетворительно соответствует результатам численного моделирования, полученным для кольцевых структур, находящихся в условиях регионального сжатия [17]. Подобная особенность ориентации напряжений отмечалась в других кольцевых геологических структурах, например Хибин [17] (по данным палеонапряжений и измерений на рудниках). Таким образом, ориентация осей горизонтального сжатия по касательной к границам свода обусловлена воздействием единой системы напряжений регионального сжатия.

Землетрясения с К=12 в некоторых локальных зонах произошли в условиях горизонтального растяжения (оси напряжения растяжения показаны желтыми стрелками на рисунке 15-а), обусловленного локальными геолого-тектоническими особенностями, либо изменениями физико-механических свойств (например, в результате миграции флюидов). Подвижки в этих очагах характеризуются сбросами, сбросо-сдвигами по субмеридиональным плоскостям разрывов, ориентированным в соответствии с разломами более высокого порядка.

Аналогичные условия близгоризонтального сжатия в северо-западном направлении в полосе взаимодействия щита со структурами Южной-Джунгарии получены также по данным фоновых характеристик, рассчитанных по представительной статистике механизмов очагов слабых землетрясений более чем 30-летнего срока наблюдений (рисунок 15-б). Режим деформирования по этим данным меняется от одноосного сжатия либо сдвига в центральной части территории до одноосного растяжения в локальных зонах на ее периферии. Накопленные в последние десятилетия сведения о фокальных механизмах позволили провести детальные исследования пространственно-временных вариаций параметров сеймотектонического деформирования рассматриваемой территории, что важно для понимания геодинамических процессов в зонах подготовки сильных землетрясений [18]. В результате проведенных исследований выявлено, что начиная с 2006 г. здесь происходило интенсивное изменение параметров СТД, в результате чего к 2009 г. сформировалась ситуация, существенно отличающаяся от фоновой. На рисунке 16 показано распределение по площади значений коэффициента Лоде-Надаи, характеризующего тип СТД, а также эпицентров землетрясений с К≥12, произошедших в 2006 - 2011 гг.

Из рисунка 16 видно, что в рассматриваемый период по всей территории перемежаются вытянутые в северо-западном направлении зоны одноосного растяжения (показаны голубым цветом) и одноосного сжатия (показаны розовым цветом). Все эпицентры землетрясений приурочены к границам зон с контрастным типом деформирования. Реализация очагов происходила последовательно вдоль границ линейных зон контрастного деформирования. Сначала (2006, 2007, 2009 гг.) произошли землетрясения вдоль границы западной полосы одноосного растяжения – от Алтынэмельских структур до тектонического клина между Южно- и Западно-Джунгарскими разломами, затем вдоль границы центральной полосы одноосного растяжения в структурах Прибалхашской и Алматинской впадин (2010 - 2011 гг.). Из рисунка 16 также видно, что еще одна полоса одноосного растяжения расположена на юго-западе планшета, в этой части Алматинской впадины сильных землетрясений вообще не происходило.



1 – стереограммы главных толчков;
(2 – 7) – эпицентры афтершоков землетрясений: 2 – 2006 г.; 3 – 2007 г.; 4 – 2009 г.; 5 – 2010 г. (20.04); 6 – 2010 г. (12.09); 7 – 2 011 г.
Цветом показаны значения коэффициента Лоде-Надаи (см. текст)

Рисунок 16. Распределение по площади эпицентров землетрясений с К≥12 и коэффициента Лоде-Надаи в период 2006 - 2011 гг.

Тем не менее, в 2012 г., впервые за весь исторический период наблюдений, на границе контрастно деформированных зон зарегистрировано землетрясение с К=10. Полагаем, что новые очаги могут сформироваться на границе контрастных зон северо-восточнее Капчагай-Чиликского сдвига, где наряду с изменением напряженно-деформированного состояния в рассматриваемый период отмечены изменения характеристик поля поглощения поперечных волн [19]. Здесь выявлены зоны сильного поглощения S–волн, которые авторы связывают с изменением содержания флюидов в нижних частях земной коры, что может свидетельствовать о подготовке сильного землетрясения.

Заключение

– Установлено, что в пределах Казахского щита регулярно происходят землетрясения, магнитуда наиболее сильных из которых превышает 5.

– Группирование во времени очагов из разных зон Казахского щита может свидетельствовать о деформации всей структуры под воздействием единой системы напряжений.

– В южной части исследуемой территории установлено чередование периодов активизации сейсмичности и затишья. В настоящее время наблюдается период сейсмической активизации.

– Исследование фокальных механизмов землетрясений подтверждает вывод о том, что сейсмичность Казахского щита в целом обусловлена единой системой напряжений, характеризуемой региональным субгоризонтальным сжатием в северо-западном направлении, что соответствует геологическим представлениям о деформировании этой структуры в результате транспрессии со стороны орогенического пояса.

– Выявленные особенности поля напряжений в локальных зонах обусловлены структурой этих зон, геолого-тектоническим строением, либо изменением физико-механических свойств.

– Ориентация и кинематика подвижек в очагах землетрясений соответствует системе разломов СЗ - СВ простирания, что свидетельствуют о их современной тектонической активности. При движении с севера на юг ведущий тип разрывов в очагах землетрясений меняется от крутых горизонтальных сдвигов (либо сдвигов с незначительной составляющей по падению разрывов) до крутых взбросов (либо взбросов с некоторой сдвиговой составляющей).

– В наблюдаемый период сейсмической активизации южной части территории в результате изменения параметров сейсмотектонического деформирования сформировались зоны с контрастным типом деформирования, к границам которых приурочены все эпицентры землетрясений с К≥12, произошедшие в 2006 - 2011 гг.

Литература

1. Михайлова, Н.Н. Шалгинское землетрясение в Центральном Казахстане 22.08.2001 г./ Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова, А.И. Неделков, Е.Н. Казаков, А.В. Беляшов // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 2. – С.132 - 136.
2. Михайлова, Н.Н. О сейсмических событиях в малоактивных и асейсмичных районах Казахстана./ Н.Н. Михайлова, А.И. Неделков., И.Н. Соколова.// Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов.– Воронеж, 2001.– С. 131 – 133.
3. Михайлова, Н.Н. Новые данные о землетрясениях в «асейсмичных» районах Казахстана и карта сейсмического районирования./ Н.Н. Михайлова //Исследования сейсмостойкости сооружений и конструкций. – Труды Каз НИИССА.– 2001. – Вып. 20(30).– С. 80 - 88.
4. Mikhailova, N.N. Earthquakes in Central Kazakhstan – new view on seismic hazard in the region./ N.N. Mikhailova, A.V. Belyashov // Volumes of Abstracts of Symposium on Seismology, Earthquake Hazard Assessment and Risk Management, Kathmandu, Nepal, 2002. – C.112 - 113.
5. Михайлова, Н.Н. Исследование сейсмичности территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона и его окрестностей/ Н.Н. Михайлова, Н.Н. Неделков, И.Н. Соколова, Н.Н. Полешко //Сб. трудов Восьмых геофизических чтений им. В.В.Федынского (2-4 марта 2006 г., Москва). Тверь: ООО «Изд. ГЕРС», 2007. – С.179 – 191.
6. Сейсмическое районирование Республики Казахстан. Алматы. Изд-во Эверо, 2000.– С. 66-69, 172 - 173.

7. Кондорская Н.В. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с новейших времен до 1975 г. / М.: Наука, 1977. 535 с.
8. Каталог землетрясений Центральной Азии за 1991-2005гг., Итоговый технический отчет по Проекту МНТЦ № KR-1176, Оценка сейсмического риска в Центральной Азии. - С. 19 - 36.
9. Михайлова, Н.Н. О необычном Баканасском землетрясении 1979 г. в Казахстане (Mw=5,7)./ Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Тезисы докладов VII международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий», 06-10 августа 2012, Курчатов, 2012. – С. 48 - 49.
10. Введенская, А.В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций./А.В. Введенская. – М.: Наука, 1969. – с. 47 - 66.
11. Harvard CMT Catalog / Harvard Univrrsity. – Web-сайт: http:www.seismology.harvard.edu.
12. Михайлова, Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Восточного Казахстана/ Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, 2005.
13. Михайлова Н.Н. О механизмах очагов землетрясений Центрального Казахстана./Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, 2003.–С.100 - 105, С.142 - 146.
14. Михайлова, Н.Н. Текелийское землетрясение в Казахстане в 2009: очаг и воздействия / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко. // Вопросы инженерной сейсмологии. ISSN 0132-2826. - Т.37. №2. - 2010. - С.20 - 33.
15. Михайлова, Н.Н. Сопоставление региональных определений механизмов очагов землетрясений Центральной Азии с решениями тензора момента центроида по данным глобальных сейсмических сетей/ Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК. – 2007. – Вып.2. – С.96 - 103.
16. Михайлова, Н.Н. Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 года / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, - Вып. 1, 2013. – С.102 – 110.
17. Козырев, А.А. Дифференциация тектонических напряжений в верхней части земной коры с учетом влияния природных и техногенных факторов / А.А. Козырев, С.Н. Савченко //Материалы докладов Всеросийской конференции. - М.: ИФЗ РАН. - 2009.- Том 1.- с. 55.
18. Михайлова, Н.Н. Временные вариации параметров механизмов очагов сейсмоактивных регионов Казахстана / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, вып.3, 2009. - С.104 - 110.
19. Kopnichev, Yu. F. Heterogeneities in the Absorption Field of ShortPeriod S Waves in the Lithosphere of Tien Shan and Dzungaria with Their Relation to Seismicity / Yu. F. Kopnicheva, I. N. Sokolova // ISSN 1028334X, Doklady Earth Sciences, 2010,. - Vol. 433, Part 2. - P. 1119 – 1123.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ӘЛСІЗ СЕЙСМИКАЛЫҚ АУДАНДАРЫНДА СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫ МЕН КЕРНЕУ-ДЕФОРМАЦИЯЛЫҚ КҮЙІНІҢ СИПАТТАМАСЫ

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

Геофизхикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Бұрын асейсмикалық болып саналатын Қазақ қалқаны аумағын зерттеу нәтижелері келтіріледі. Мұнда магнитудасы 5 және одан жоғары жерсілкінулер уақытылы жүйелі болатыны анықталған, олардың эпиорталықтары Орталық дөңесінің периметрі бойынша орналасуда және негізгі жарылымдар қиылысу тораптарында үш негізгі зоналарына топтастырылады. Жерсілкінулердің фокаль механизмдерін зерттеуі, Қазақ қалқаның асейсмикалылығы тұтасында, солтүстік-батыс бағытында аймақтық субгоризонталь қысылуымен сипатталатын, бірыңғай кернеу жүйесіне байланысты болуын көрсеткен.

SEISMICITY AND STRESS AND STRAIN STATE IN SEISMICALLY QUIET REGIONS OF KAZAKHSTAN

N.N. Mikhailova, N.N. Poleshko

RSE Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

Results of research conducted in the territory of the Kazakh board which was earlier considered as aseismic are presented. It is established that regularly there are regular earthquakes there measuring up to 5 grade and higher which epicenters located on the perimeter of the Central Arch with grouping in three main zones in crossing nodes of the main faults. Studying of focal mechanisms of earthquakes showed that seismicity of the Kazakh Board is generally caused by the uniform system of tensions characterized by regional sub-horizontal compression in the northwest direction.

О НЕОБЫЧНОМ БАКАНАССКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ 1979 Г. В КАЗАХСТАНЕ (MW=5,7)

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Описывается Баканасское землетрясение интенсивностью в эпицентре 7 баллов (MSK-64), MLH=5.9, произошедшее 25 сентября 1979 г. и удивившее сейсмологов по ряду причин: нахождению эпицентра землетрясения в асейсмичной зоне, гипоцентра - на аномально большой глубине (40 км), полному отсутствию форшоков и афтершоков, что не характерно для событий такой силы. Впоследствии дополнительно отмечено также несоответствие решений механизма очага (МО) и тензора центроида сейсмического момента (СМТ), хотя для других землетрясений Казахстана с M>4,5 решения МО и СМТ очень близки. В статье приведены результаты переопределения параметров очага с использованием современных данных станций мира, отмечена активизация района, растущая год от года, что свидетельствует о происходящих в земной коре исследуемого района активных процессах, вызывающих интерес к ранее произошедшему здесь Баканасскому землетрясению.

Введение

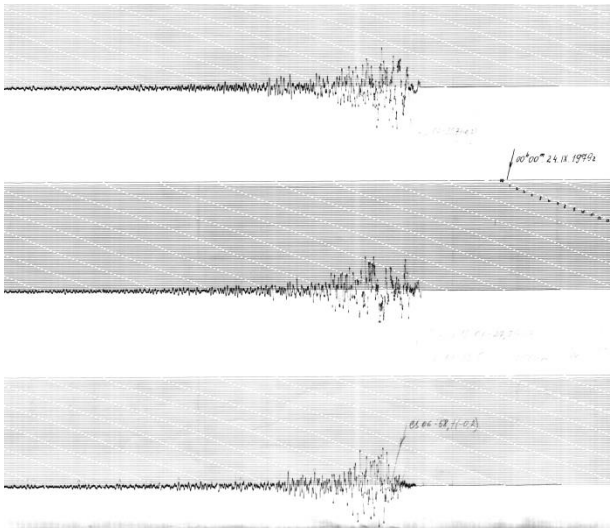
25 сентября 1979 г. на территории Казахстана в необычном, с сейсмологической точки зрения, районе произошло Баканасское землетрясение с MLH=5,9 [1], которое сразу было отнесено к разряду уникальных сейсмических событий. Интенсивность в эпицентре Баканасского землетрясения составила 7 баллов по шкале MSK-64. В поселке Баканас землетрясение ощущалось с интенсивностью 6 - 7 баллов, в городе Капчагай – 5 баллов, в городе Алматы – 4 балла. Землетрясение считалось аномальным по нескольким аспектам. Во-первых, его эпицентр находился в «асейсмичном районе» севернее города Алматы, где не регистрировались даже слабые толчки, что сразу вызвало интерес сейсмологов. Во-вторых, гипоцентр землетрясения по оперативным определениям находился на глубине 40 км. На такой глубине события в Северном Тянь-Шане встречаются крайне редко, абсолютное большинство очагов сосредоточено на глубинах менее 20 км. В-третьих, несмотря на значительную магнитуду, после главного толчка не было зарегистрировано ни одного афтершока, хотя уже в первые дни после землетрясения в эпицентральной зоне была развернута полевая сеть высокочувствительных сейсмических станций Комплексной сейсмологической экспедиции Института физики Земли АН СССР, базировавшейся в г. Талгар. Обычно при землетрясениях такой силы происходит значительное количество повторных толчков. В- четвертых, уже позже, после проведенного авторами сопоставления механизмов очагов (МО) по методу исследования первых вступлений объемных волн (каталог МО РК) и методу расчета тензора центроида сейсмического момента (Гарвардский каталог СМТ) к этому набору аномальных признаков добавилось существенное различие в решениях СМТ и МО. Все это. свидетельствует о необычности Баканасского землетрясения.

В последние годы, имея гораздо большие возможности получения данных мировых центров обработки и самих сейсмограмм станций глобальной сети, чем тридцать лет назад, а также накопив новые данные о сейсмичности, можно вернуться к этому событию и вновь проанализировать те признаки, которые считались аномальными, а также сделать новые выводы о характеристиках очага этого землетрясения.

Основные параметры Баканасского землетрясения и его местоположение в сейсмотектоническом плане

Координаты эпицентра Баканасского землетрясения в 1979 г. были определены одним из авторов этой статьи по временам первых вступлений сейсмических волн на станциях Казахстана и некоторых станций Кыргызстана. Следует отметить, что в то время на территории Казахстана было очень мало станций, к тому же на многих из них не только S, но и P-волн этого землетрясении практически не было видно из-за превышения динамического диапазона регистрирующей аппаратуры (записи «выбиты»). На станциях в то время работали в основном сейсмоприемники СКМ-3 с увеличением 30000 – 80000 с аналоговой регистрацией на фотобумагу, на части станций – сейсмометрв СКД с увеличением 1000. Полноценные записи были получены только на загрубленных каналах приборов СКД (с увеличением 50) двух станций - Алма-Ата и Тургень. Обработка проводилась вручную на основе времен первого вступления P-волны. Определенные трудности возникли в то время при определении координат гипоцентра, в связи с чем ряд исследователей считали результаты определения параметров гипоцентра ненадежными. Сомнению подвергались не только координаты эпицентра и глубина, но и сама природа этого события.

При анализе записей события было отмечено своеобразие его волновой картины. На записях составляющих N-S и Z одновременно с первым вступлением продольной волны отмечено вступление длиннопериодной волны, с видимым периодом 8 сек, а в поперечной волне еще больше - почти два десятка секунд. На составляющей E-W эта длиннопериодная волна практически не отмечается; здесь имеют место несколько четких вступлений волн, природу которых было трудно определить (рисунок 1).



Сверху вниз компоненты: Z, N-S, E-W

Рисунок 1. Копия сейсмограмм с записью Баканасского землетрясения прибором СКД с усилением V=50

В результате применения различных «ручных» методов обработки (метод палеток изохрон, метод гипербол и др.) и с использованием скоростей сейсмических волн, полученных для этого района по данным ГСЗ (глубинное сейсмическое зондирование) были найдены координаты эпицентра землетрясения и глубина (таблица 1, данные Института сейсмологии – ИС РК). Координаты эпицентра Баканасского землетрясения были переопределены также по данным Единой сети сейсмических наблюдений СССР. Различие по широте между эпицентрами по данным двух служб составило примерно 20 км, по глубине – незначительно (40 и 47 км). По этим данным Баканасское землетрясение 1979 г. произошло примерно в 200 км на север от г. Алма-Аты (в то время столицы Казахстана). Рельеф местности в эпицентральной области ровный, местами даже отрицательный. Это не вязалось с представлениями о зоне, где могут возникать сильные землетрясения.

Таблица 1. Инструментальные характеристики Баканасского землетрясения 25.09. 1979 г.

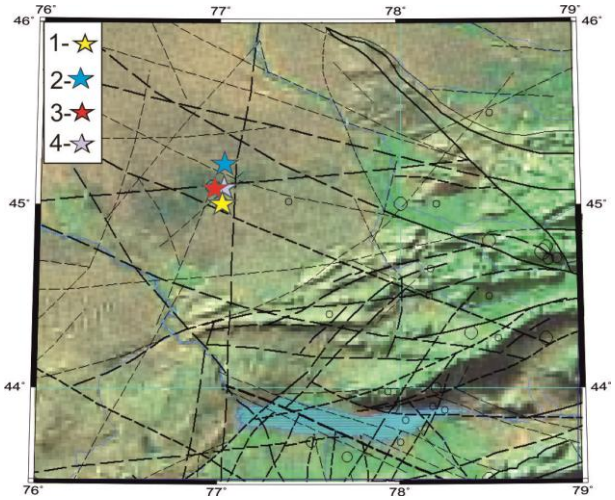
Источник	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	H, км
ИС РК (1979 г.)	45,00°	77,00°	40
ЕССН (1979 г.)	45,22°	77,01°	47
ISC	45,0918°	76,9641°	46
EHB	45,0950°	76,9800°	40,7

Примечание: ЕССН – Единая система сейсмических наблюдений СССР; ISC – International Seismological Centre; EHB – Engdahl, van der Hilst and Buland

В таблице 1 наряду со «старыми» данными по Баканасскому землетрясению приведены данные двух международных центров, где глубины очага определяются не только по минимизации времен пробега, но и по наличию глубинных фаз. Наиболее надежные данные предоставляет Международный центр данных ISC. В каталогах ISC в настоящее время имеются два решения – ISC (более раннее) и EHB, которое в последние годы получено пересмотром решений ISC с использованием новой глобальной скоростной модели ak135 и нового алгоритма обработки. Оба решения, как видно из таблицы 1, очень близки. Данные Международного сейсмологического центра лишь незначительно изменили положение гипоцентра относительно решения Института сейсмологии: глубина практически не изменилась, эпицентр сместился на север примерно на 0,1°.

При определении эпицентра в ISC было использовано более 1700 сейсмических фаз. Уже с расстояния 20^0 на записях станций встречаются четкие фазы, отвечающие за глубину события - sP, sS, pP. Эти фазы зарегистрированы более чем на 200 станциях. Полученное по ним значение глубины равно 41 км. Можно считать, что глубина зафиксирована очень уверенно - очаг Баканасского землетрясения расположен на глубине чуть более 40 км.

На рисунке 2 показано положение эпицентра Баканасского землетрясения по результатам разных определений на карте относительно активных разломов. Эти разломы приведены в соответствии с результатами работ по проекту МНТЦ CASRI (2006 - 2009 гг.) [2] и уточнены Великановым А.Е. с использованием космических снимков.



(1 – 4) –эпицентры по данным: 1 - ИС РК; 2 - ЕССН; 3 - ISC; 4 - EHB

Рисунок 2. Положение эпицентра Баканасского землетрясения 1979 г. по разным источникам

По данным ISC и EHB координаты эпицентра практически совпадают, его положение приурочено к субширотному Баканас-Уштобинскому разлому вблизи места его пересечения с разломом меридионального направления. По геофизическим данным (рисунок 3) положение гипоцентра Баканасского землетрясения приурочено к зоне аномальных значений горизонтального градиента энергоемкости, контролирующего сейсмогенерирующие объемы, формирующиеся на глубине более 20 км в результате

изменения прочностных свойств среды под температурным и литостатическим воздействием [3].

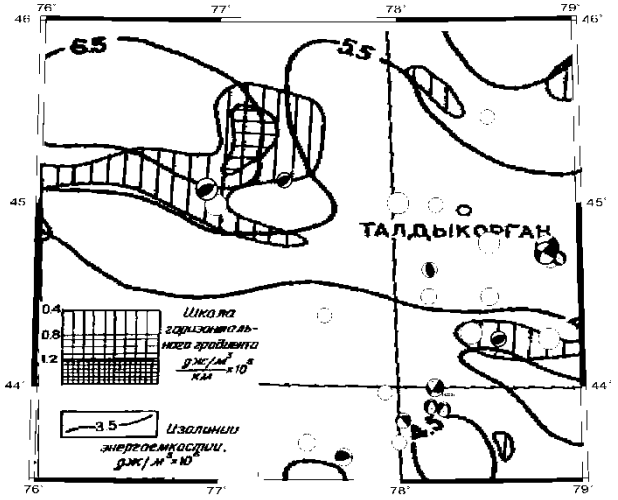


Рисунок 3. Эпицентры землетрясений с К≥12 рассматриваемой зоны на карте аномальных значений горизонтального градиента энергоемкости [Шацилов В.И.]

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВОЛНОВОЙ КАРТИНЫ ЗАПИСИ

Благодаря привлечению различных источников, можно считать, что параметры гипоцентра Баканасского землетрясения установлены уверенно. Однако следовало более детально разобраться в волновой картине сложных записей этого землетрясения. С этой целью запись станции Алма-Ата была оцифрована с помощью широкоформатного сканера и программного обеспечения NXSCAN [4]. Далее было проведено ассоциирование этой записи с источником, имеющим координаты гипоцентра, согласно данным Международного центра данных из таблицы 1. Ожидалось по существующим годографам увидеть на записи на расстоянии 200 км только по одному вступлению P- и S- волн. Оказалось, что такому гипоцентру (ISC – EHB) соответствует самое первое вступление на компоненте Z – P_1 (рисунок 4) и вступление S_1 на компоненте E – W. Между этими вступлениями на компоненте Z видно еще очень четкое вступление P_2, намного превосходящее по амплитуде P_1.

Вступление продольной волны зарегистрировано на сейсмограмме позже первого вступления примерно на 11 сек и ему соответствует вступление S-волны, особенно четко проявляющееся на компоненте E-W. Именно это вступление относится к самой интенсивной поперечной волне при этом землетрясении - S_2. Времена запаздывания S_1 - P_1 и S_2 - P_2 оказались практически равны друг другу и составляют 24 – 25 сек. Это свидетельствует о том, что примерно через 11 сек после начала землетрясения произошло второе более сильное землетрясение в том же очаге. Именно с этим вторым толчком связано максимальное выделение сейсмической энергии.

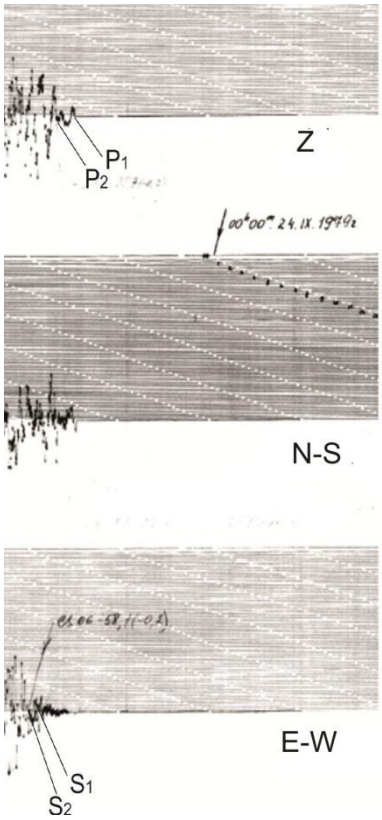


Рисунок 4. Станция Алма-Ата. Запись Баканасского землетрясения прибором СКД с V=50.

МАГНИТУДА И ЭНЕРГИЯ БАКАНАССКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В 1979 г. из числа типов магнитуд был определен только один – магнитуда M_{LH} (магнитуда по поверхностным волнам на горизонтальной компоненте). Для Баканасского землетрясения ее значение было определено в ИС РК как M_{LH} =5,9, в ЕССН – M_{LH} =5,8. В настоящее время известны разные типы магнитуд для этого землетрясения. Наиболее предпочтительной для сильных землетрясений является моментная магнитуда Mw. Для Баканасского землетрясения ее значение составляет Mw=5,7 (Гарвардский центр, HRVD). Другие типы магнитуд, относящиеся к более сильному толчку, равны: mb=5,8; Ms=5,6 (Международный центр данных ISC). Авторы переопределили энергетический класс по записям станции Алма-Ата для каждого из двух последовательных толчков. Для первого землетрясения К=13,3, для второго – 14,3. Выделившаяся сейсмическая энергия при втором толчке на порядок превышала энергию первого.

МЕХАНИЗМ ОЧАГА БАКАНАССКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Механизм Баканасского землетрясения 1979 г. определен двумя методами: по направлениям первых движений в продольных волнах (МО) и методом расчета параметров тензора центроида сейсмического момента (СМТ) в сейсмическом центре Гар-

вардского университета. Полученные двумя методами фокальные механизмы существенно различаются [4]: по сведениям о направлениях первых движений в Р - волнах тип (60 уверенно определенных знаков первых вступлений Р- волн) механизма Баканасского землетрясении – сдвиг с незначительной сбросовой компонентой. По CMT - это взброс с некоторой сдвиговой компонентой (рисунок 5). Отмеченные различия, возможно, связаны со сложным разрывом в очаге этого землетрясения, что подтверждает также своеобразие его волновых форм. Таким образом, по первым смещениям, относящимся к вступлению волны P_1, механизм очага относится к первому движению по разрыву в очаге, а решение CMT описывает характер разрыва при втором, более сильном толчке.

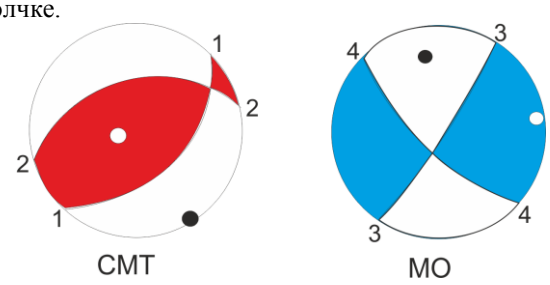


Рисунок 5. Стереограммы фокального механизма Баканасского землетрясения 25.09.79 г.

Однако по данным обоих методов очаг реализовался в условиях близгоризонтального сжатия в север, северо-западном направлении. В обоих решениях определены плоскости северо-восточного простирания (азимуты различаются только на 10^0), падающие на северо-запад (1 - 1 и 3 - 3 на рисунке 5). В решении MO, характеризующем разрыв в первом движении, плоскость северо-восточного простирания почти вертикальна, подвижка по ней представлена горизонтальным сдвигом. В решении CMT, относящемся к разрыву в главной его фазе, плоскость того же направления более полога, а тип подвижки по ней - взброс. Следует отметить, что проведенное авторами в [5] сопоставление MO и CMT для землетрясений с магнитудой более 4,5 показало, что в подавляющем большинстве случаев эти решения совпадают. Поэтому можно констатировать, что очаг Баканасского землетрясения был сложным, отличался от очагов землетрясений в других сейсмогенных зонах Казахстана.

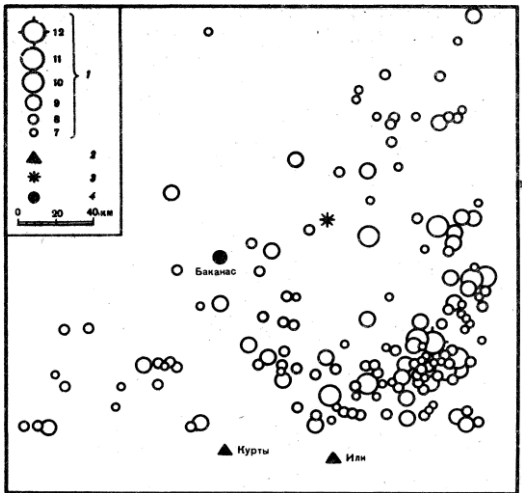
Сейсмический режим до и после Баканасского землетрясения

Для характеристики существовавшего представления о сейсмичности в районе очага Баканасского землетрясения ниже приводится цитата из [1]: «…Район землетрясения находится в зоне действия Северо-Тянь-Шаньской сети региональных сейсмических станций, которая функционирует начиная с 1951 г. Данная сеть позволяет без пропуска регистрировать землетрясения с $K \geq 9$ на всей территории Балхашской впадины, куда приурочен эпицентр землетрясения 25 сентября 1979 г. Всесторонний анализ материалов по сильным землетрясениям [6] показывает, что по наиболее достоверным данным (с 1850 г.) в районе Баканасского землетрясения не были известны эпицентры сильных землетрясений ($I_0 \geq 5$ баллов). Правда, имеются сведения об ощутимости сильнейших землетрясений, эпицентры которых располагались в соседних Северо-Тянь-Шаньских и Джунгарских сейсмоактивных районах. Интенсивность этих землетрясений в рассматриваемом районе достигала 5 - 6 баллов. Так, Верненское землетрясение 1887 г. ощущалось в этом районе интенсивностью 5 баллов, Кеминское 1911 г. - 5 баллов и Чиликское 1889 *г.* - 6 баллов…». На рисунке 6 приведена карта эпицентров землетрясений с $K \geq 7$ с 1951 по 1979 г. для площади, ограниченной координатами 44,00° – 46,00° с.ш. и 75,00° – 78,00° в.д. из [1]. Видно, что эпицентры землетрясений по площади распределены неравномерно. Практически асейсмичной оказывается центральная ее часть – район Баканасского землетрясения. Здесь на площади порядка 5000 км^2 за 30 лет перед Баканасским землетрясением произошли всего четыре землетрясения с К = 9 и два землетрясения с К = 10. Таким образом, в 1979 г. считалось, что до Баканасского землетрясения в этом районе отсутствовали более или менее сильные землетрясения, а также был низок уровень сейсмичности слабых землетрясений. Однако исследования в рамках проекта МНТЦ CASRI при создании базового каталога землетрясений Центральной Азии показали, что еще за 54 года до Баканасского землетрясения здесь уже было зарегистрировано землетрясение с М=5,5, произошедшее в 1925 г., эпицентр которого совпадает с положением эпицентра 1979 г., определенным по данным ИС РК (таблица 2).

Таким образом, Баканасское землетрясение не является единственным и уникальным для изучаемого района. За последнее десятилетие в пределах исследуемой территории существенно увеличилось число регистрируемых землетрясений: их количество достигает 120 – 160 в год, тогда как до 2004 г. отмечалось по 20 - 60 сейсмических событий в год. В 2010 г. здесь зарегистрировано довольно сильное землетрясение с К=12 в 33 км северо-восточнее очага 1979 г. Регулярно регистрируются слабые события и непосредственно в очаговой зоне Баканасского землетрясения. На рисунке 7 приведена карта эпицентров землетрясений с $K \geq 7$ с 1951 по 2011 г.

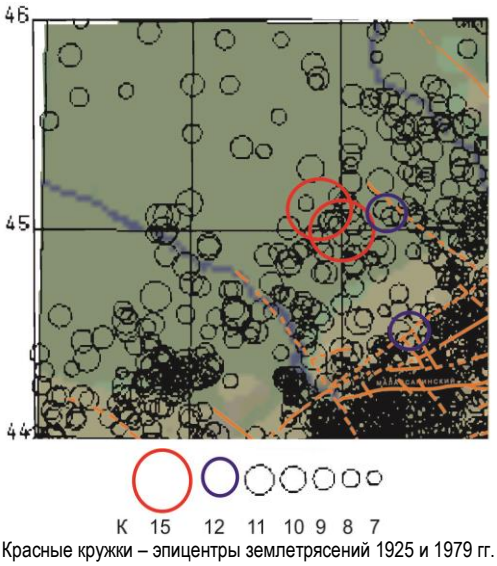
Таблица 2. Параметры землетрясения 1925 г.

Дата, время	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Магнитуда
28.09.1925 To=21.42.25.00	45,00°	77,00°	5,5



1 – энергетический класс К; 2 – сейсмическая станция;
3 – эпицентр землетрясения 25 сентября 1979 г.; 4 – населенный пункт

Рисунок 6. Эпицентры землетрясений с К≥7 за 1951 - 1979 гг.



Красные кружки – эпицентры землетрясений 1925 и 1979 гг.

Рисунок 7. Эпицентры землетрясений с К≥7 за 1951 - 2011 гг.

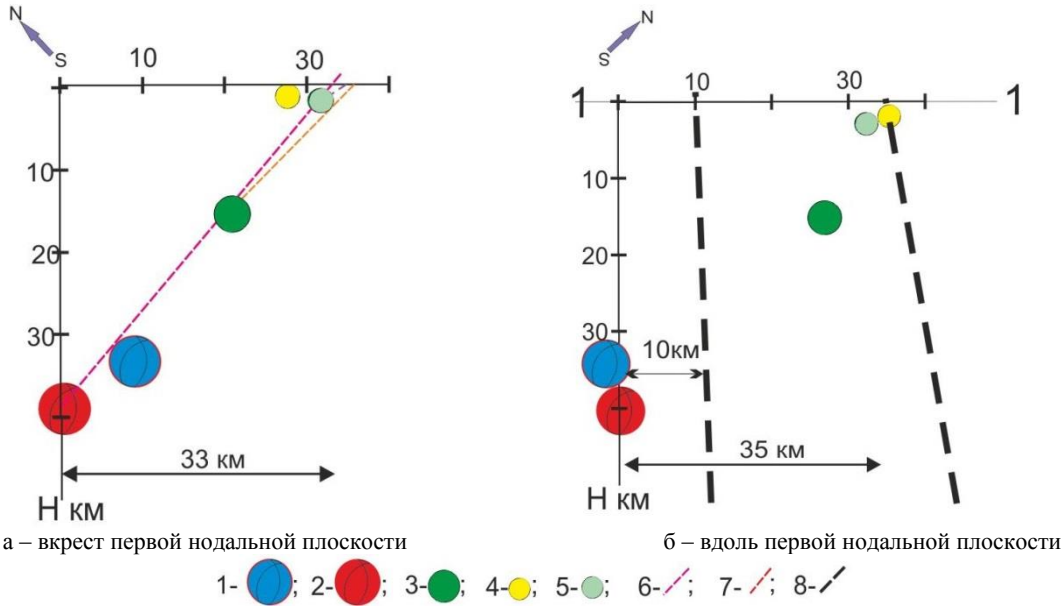
ОТСУТСТВИЕ ФОРШОКОВ И АФТЕРШОКОВ

Долгие годы считалось, что, несмотря на значительную магнитуду, близкую к 6, Баканасское землетрясение не сопровождалось ни форшоками, ни даже слабыми афтершоками. Уже через 2 дня в районе очага была развернута сеть полевых высокочувствительных станций, которая не зафиксировала ни одного толчка. В других районах Казахстана землетрясения такой магнитуды вызывают сотни афтершоков. Вновь проведенный анализ показал, что перед Баканасским землетрясением и после него все-таки наблюдалось увеличение количества слабых событий и более высокий энергетический уровень слабой сейсмичности: в 1974 – 1979 гг. энергетический класс событий варьировал в пределах 8 - 10, тогда как обычный уровень составлял здесь К=6,5 - 7.

Землетрясение с К=9, произошедшее через 7 дней после Баканасского, можно считать удаленным афтершоком толчка 1979 г. (расстояние 33 км). В том же месте 12.09.2010 произошло землетрясение с К=12, подобное Баканасскому (1979 г.), при этом был зарегистрирован только один афтершок.

ВЕРОЯТНАЯ ПЛОСКОСТЬ И НАПРАВЛЕНИЕ РАЗРЫВА В ОЧАГЕ БАКАНАССКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Для того чтобы из 4-х вариантов решений МО и СМТ выбрать истинную плоскость разрыва, были построены глубинные разрезы по всем доступным сведениям о положении гипоцентров главного толчка 1979 г. и его афтершока для каждого из 4-х вариантов. При построении были учтены также гипоцентры других Баканасских землетрясений – 1925 г., 2010 г. и его афтершока. В результате анализа разрезов, построенных в разных плоскостях, установлено, что для трех вариантов нодальных плоскостей (2, 3, 4) по взаимному глубинному положению очагов не прослеживается никакой упорядоченности относительно плоскости. В то же время, на разрезе по профилю, ориентированному вкрест плоскости 1 - 1 (рисунок 8-а) видно, что гипоцентр афтершока 1979 г., а также гипоцентры землетрясений 1925 г., 2010 г. и его афтершока выстроились вдоль плоскости сместителя в его висячем, наиболее подвижном крыле. Выше было отмечено, что простирание этой плоскости разрыва близко направлению плоскости 3 - 3 в решении МО, но поскольку падение плоскости 3 - 3 близвертикально, все гипоцентры других толчков, как видно из рисунка 8-а, оказываются в ее лежачем блоке. Сопоставление с имеющейся в зоне сетью разломов показывает соответствие северо-восточного простирания плоскости разрыва направлению второстепенного разлома, секущего субширотный Баканас-Уштобинский разлом. Таким образом, с наибольшей вероятностью, разрывообразование в очаге происходило в два этапа по плоскости, имеющей северо-восточное простирание. Однако наклон плоскости и характер подвижки по ней при развитии разрыва несколько изменились: в первом движении разрыв представлял собой сдвиг по круто падающей на юго-запад плоскости северо-восточного простирания (в соответствии с решением МО). При втором толчке тип подвижки изменился на взброс по более пологой плоскости. Аналогичная ситуация отмечалась и в очагах двух Текелийских событий 1993 и 2009 гг., и, видимо, является общей особенностью очагов землетрясений этих зон. Развитие разрыва, судя по положению афтершока, происходило с юга-запада на северо-восток (рисунок 8-б). Геометрические размеры зоны между главным толчком и афтершоком, оцененные по вертикальным разрезам (рисунок 8), составляют: L=35 км, W=33 км, H=40 км.



а – вкрест первой нодальной плоскости

б – вдоль первой нодальной плоскости

1-; 2-; 3-; 4-; 5-; 6-; 7-; 8-

(1 – 3) – очаги землетрясений: 1 - 1925 г.; 2 - 1979 г.; 3 - 2010 г.; (4 – 5) – очаги афтершоков: 4 – 1979 г.; 5 – 2010 г.; (6 – 7) – плоскости разрыва в очагах: 6 – 1979 г.: а - решение СМТ, б – решение МО; 7 – 2010 г.; 8 – плоскость сместителя региональных разломов

Рисунок 8. Глубинные разрезы с эпицентрами Баканасских землетрясений

Такие линейные размеры по существующим зависимостям [7] значительно превышают размеры очага с магнитудой М=5,7. Вероятно, протяженность разрыва Баканаского землетрясения ограничена разломом северо-западного простирания (рисунок 8-б), а афтершок произошел за пределами очага, в результате активизации соседнего блока. Как уже было сказано выше, там же зарегистрировано землетрясение 12.09.2010 с К=12, фокальный механизм которого аналогичен решению СМТ для очага 1979 г. (рисунок 1). Подвижка в очаге землетрясения 2010 г. характеризуется взбросом по обеим нодальным плоскостям. Как видно из рисунка 8-а, ориентация плоскости северо-восточного простирания, падающей на северо-запад под углом 46^0, аналогична наиболее вероятной плоскости разрыва в очаге 1979 г. и, видимо, является истиной.

Таким образом, проведенный анализ показал, что Баканасское землетрясение 1979 г. не является уникальным. Его очаг приурочен к региональному Баканас-Уштобинскому разлому, который оперяют разнонаправленные второстепенные разломы. Система разломов разбивает зону на блоки, величина которых соответствует землетрясениям с магнитудой М=5 - 6. По геофизическим и сейсмологическим данным очаговая зона характеризуется аномальными значениями сейсмотектонического деформирования и горизонтального градиента энергоемкости, контролирующими сейсмогенерирующие объемы.

Баканасскому землетрясению 1979 г. предшествовало аналогичное по силе и положению эпицентра землетрясение 1925 г., в пределах эпицентральной зоны наблюдается фоновая сейсмичность, активизация которой согласуется с периодами активизации и затишья для всей рассматриваемой территории. По данным фокальных механизмов установлено подобие процессов в очагах двух сильных землетрясений Баканасской зоны (1979 и 2010 гг.). Оба землетрясения произошли в условиях близгоризонтального сжатия в север-, северо-западном направлении, под действием которого в очагах реализовались взбросовые подвижки по падающим на северо-запад плоскостям разрывов, простирающихся в северо-восточном направлении. Такая ориентация разрывов в очагах субпараллельна направлению второстепенного разлома, оперяющего региональный Баканас-Уштобинский разлом. Выявлена общая особенность процессов при развитии разрывов в очаге 1979 г. и очагах двух Текелийских событий [8]: по мере развития разрыва тип подвижки меняется от сдвига к взбросу, а падение плоскости – от близвертикального к более пологому.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты исследования геолого-геофизических и сейсмологических данных позволяют считать эпицентральную зону Баканасского землетрясения слабосейсмичной. Очаг Баканасского землетрясения 1979 г. не является уникальным: ему предшествовало аналогичное по силе и положению эпицентра землетрясение 1925 года, а в 2010 г. произошло еще одно землетрясение. В его эпицентральной зоне наблюдается фоновая сейсмичность, активизация которой, согласуется с периодами активизации и затишья всей рассматриваемой территории; фокальный механизм (СМТ) Баканасского землетрясения отражает процессы, типичные для очагов рассматриваемой зоны.

2. Можно считать уверенно установленными параметры очага Баканасского землетрясения. Его очаг действительно расположен на необычно большой для событий в Северном Тянь-Шане и Джунгарии глубине, превышающей 40 км. Процесс разрывообразования в очаге был сложным, выявлено два последовательных толчка с разницей в 11 сек, второй из которых характеризовался максимумом высвобожденной сейсмической энергии.

Литература

1. Нурмагамбетов, А. Баканасское землетрясение 25 сентября 1979 г. / А. Нурмагамбетов, А. Сыдыков, А.А. Власова, А.Ф. Краснова // Землетрясения в СССР в 1979 г. – М.: Наука, 1982. – С. 48 - 53.
2. Каталог землетрясений Центральной Азии за 1991-2005 гг., Итоговый технический отчет по Проекту МНТЦ № KR-1176, “Оценка сейсмического риска в Центральной Азии ”. С. 19 - 36.
3. Тимуш, А.В. Тектонические структуры и сейсмогенерирующие зоны верхней части земной коры./ А.В. Тимуш / МОН РК ИС, Алматы, 2000.
4. NXSCAN. Manual. IRIS. 1992.
5. Михайлова, Н.Н. Сопоставление региональных определений механизмов очагов землетрясений Центральной Азии с решениями тензора момента центроида по данным глобальных сейсмических сетей/ Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК, 2007. – Вып.2. – С. 96 - 103.
6. Кондорская, Н.В. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с новейших времен до 1975 г. / Н.В. Кондорская / М.: Наука, 1977. – 535 с.
7. Сыдыков, А. Сейсмотектоническое деформирование среды по данным о механизмах очагов землетрясений / А. Сыдыков, А.Б. Садыкова, Н.Н. Полешко // Вестник КазНТУ, 2007. – № 2. – С. 12 - 17.
8. Михайлова, Н.Н. Текелийское землетрясение в Казахстане в 2009: очаг и воздействия / Н.Н Михайлова, Н.Н. Полешко // Вопросы инженерной сейсмологии // ISSN 0132 - 2826. - 2010. – Т.37, №2. – С. 20 - 33.

ҚАЗАҚСТАНДА 1979 Ж. ӘДЕТТЕГІНЕН ТЫС БАҚАНАС ЖЕРСІЛКІНУІ ТУРАЛЫ (MW=5.7)

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

ҚР ҰЯО Геофизиклық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Бір қатар себептері бойынша: жерсілкінудің эпиорталығы асейсмикалық ауданда болу, гипоорталығы аномаль үлкен тереңдікті болу (40 км.), форшоктар мен афтершоктары мүлде болмау – бұл осындай күші бар оқиғалар үшін еркшелікті болмайды – сейсмологтарды таң қалдырған 1979 ж. 25 қыркүйекте эпиорталығында 7 балл белсенділігімен (MSK-64), MLH=5.9 болған Бақанас жерслкінуі сипатталады. Кейінде, сонымен қатар, ошақ механизмдері (ОМ) мен сейсмикалық моменттің тензорын (СМТ) шешулердің үйлесімсздігі көрсетілген, айтқанда ол Қазақстандағы M>4,5 басқа жерсілкінулер үшін ОМ және СМТ шешімдері бір біріне жақын болып келеді. Мақалада, әлем станциялардың қазіргі кездегі деректерін пайдаланып, ошақ параметрлерін қайта анықтау нәтижелері келтірілген, жылдан жылға ұлғайып келетін ауданның белсенділігі белгіленеді, бұл, бұрын болған Бақанас жерсілкінуіне назар тудыратын, зерттелу ауданның жер қыртысында белсенді процесстері өтуін куәландырады.

ABOUT UNUSUAL BAKANASS EARTHQUAKE IN 1979 IN KAZAKHSTAN (MW=5.7)

N.N. Mikhaylova, N.N. Poleshko

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The Bakanass earthquake which occurred on September 25, 1979 with 7-grade intensity in the epicenter (MSK-64), MLH=5.9, that surprised seismologists for a number of reasons has been described: for epicenter location in an aseismic area, for the hypocenter - at anomalous depth of 40 km, for absence of foreshocks and aftershocks what is not characteristic for events of such strength. Subsequently discrepancy of solutions of the focal mechanism (FM) and a seismic Centroid Moment Tensor (CMT) was also noted though for other earthquakes in Kazakhstan with M>4,5 solutions of FO and CMT are very close. Results of re-estimation of focal parameters being presented in the article were obtained with using up –to-date data from stations across the world, the activization of the region growing from year to year that testifies about occurring active processes in the crust of the studied region consequently awaking interest to the Bakanass earthquake occurred earlier.

УДК 550.344:621.039.9

О РАБОТЕ МЕЖДУНАРОДНОГО УЧЕБНОГО ЦЕНТРА «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЦИФРОВЫХ ЗАПИСЕЙ В ПОДДЕРЖКУ ОДВЗЯИ»

Михайлова Н.Н., Аристова И.Л.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

В г. Алматы на базе Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации Института геофизических исследований (Казахстанского национального центра данных в Международной системе мониторинга) при финансовой, технической и методической помощи МИД Норвегии и норвежского сейсмологического центра НОРСАР с 2010 г. функционирует Международный учебный центр по обработке и интерпретации цифровых сейсмических записей в поддержку ОДВЗЯИ. За время существования учебного центра обучение прошли специалисты из 5 стран Центральной Азии – Кыргызстана, Узбекистана, Туркменистана, Таджикистана, Казахстана.

В 2009 г. Министерством иностранных дел Королевства Норвегия принято решение о финансовой поддержке совместных работ норвежского центра НОРСАР и казахстанского Института геофизических исследований, одной из задач которых стало создание регионального Учебного центра по обработке и интерпретации цифровых сейсмограмм. Этот Учебный центр призван, в первую очередь, помочь в подготовке специалистов - сейсмологов для Национальных центров стран Центральной Азии бывшего Советского Союза. Целью Учебного центра является достижение унификации применяемых в разных странах форматов данных, методов обработки, а также обеспечение практического обмена данными разных сейсмических станций для повышения эффективности мониторинга ядерных взрывов и землетрясений. Вопрос о необходимости обмена сейсмологическими данными для успешного сотрудничества в области сейсмического мониторинга последние годы неоднократно обсуждался на различных конференциях и совещаниях, проведенных в Центральной Азии [1]. Одновременно это будет способствовать более высокому уровню реализации задач ДВЗЯИ - в Приложении 2 к ДВЗЯИ [2] в связи с задачей распознавания природы источников событий указано на важность региональные дискриминант, изучением которых должны заниматься в Национальных центрах данных.

В конце 2009 - начале 2010 г.г. в г. Алматы была создана техническая база Международного учебного центра: оборудованы помещения для проведения лекций, учебные места для практических занятий по изучению и освоению программных пакетов обработки цифровых записей и интерпретации получаемых результатов, создана база для проживания курсантов на время учебы. 21 июня 2010 года состоялось торжественное открытие Международного учебного центра в поддержку ОВЗЯИ (рисунок 1). На церемонии открытия присутствовали делегация норвежского центра НОРСАР, представители МИД РК, администрации НЯЦ РК и ИГИ, сотрудники посольства США, Ядерного общества РК, представители прессы.



Рисунок 1. Открытие Международного учебного центра (21 июня 2010 г., Алматы)

Международный учебный центр создан и работает на базе Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации Института геофизических исследований, который имеет статус Национального центра данных (KNDC) в Международной системе мониторинга (МСМ). Были разработаны и созданы специальные буклеты с приглашениями для участия в занятиях и разосланы во все национальные центры стран Центральной Азии бывшего Советского Союза (рисунок 2).



Рисунок 2. Буклет с приглашением для участия в занятиях

Для работы учебного центра сотрудниками KNDC разработана программа курсов, которая включает в себя лекции, практические занятия и экскурсии. За основу лекционного курса взято Руководство по сейсмологической практике [3], разработанное П. Борманом с соавторами. Программа курсов включает несколько блоков. Во-первых, это лекции по основам сейсмологии и методам параметризации источников сейсмических волн. На этих лекциях курсанты знакомятся с типами сейсмических волн, типами источников сейсмических сигналов, интерпретацией волновых форм на региональных расстояниях. Узнают об основных параметрах очагов, методиках оценки интенсивности, магнитуды, энергетического класса. Второй блок посвящен сейсмическим приборам, основным типам сейсмических станций (трехкомпонентные станции и сейсмические группы), сейсмическим сетям. Курсанты узнают о форматах хранения и обмена данными, создании баз данных по результатам обработки. Третий блок лекций связан с методами распознавания сейсмических источников – землетрясений и взрывов, а также знакомством с источниками другой природы, сигналы от которых имеются на записях (обвалы, оползни, грозы, ледниковые и ледовые землетрясения). Отдельный блок посвящен деятельности Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, созданию и функционированию Международной системы мониторинга и Международного центра данных.

На практических занятиях курсанты изучают операционную систему UNIX, программные пакеты для обработки записей и локализации источников событий. Конечной целью практических занятий является обучение созданию региональных сейсмологических бюллетеней в международных форматах, а также возможностям работы с бюллетенями Международного центра данных. Каждый курсант имеет индивидуальное рабочее место, компьютер с установленным на нем программным обеспечением и выходом в интернет (рисунок 3).



Рисунок 3. Практическое занятие с курсантом из Туркменистана К. Курбановым по обработке цифровых данных ведет СНС Синева З.И.

Обучение курсантов проводят специалисты KNDC, имеющие большой опыт практической работы с сейсмологическими данными: доктор физ.-мат. наук Михайлова Н.Н., доктор физ.-мат. наук Соколова И.Н., канд. геол.-мин. наук Полешко Н.Н., Кунаков В.Г., Смирнов А.А., Аристова И.Л. (координатор Центра).

За время работы Международного учебного центра проведено 8 месячных курсов обучения для специалистов из национальных сейсмологических организаций 5 стран Центральной Азии. Обучение прошли 36 человек из 8 организаций. Прочитано 314 часов лекций, проведено 560 часов практических занятий и 9 экскурсий.

Кроме непосредственных учебных занятий на каждых курсах курсанты представляют презентации о своей работе, либо о работе своей организации. Презентации позволяют создать представление о современном состоянии дел в различных организациях стран Центральной Азии по проведению сейсмических наблюдений, организации срочной и рутинной обработки, а также помогают лучше понять направления унификации различных методик для полноценного обмена данными и результатами обработки. По окончанию занятий курсантам вручаются сертификаты (рисунок 4).

К работе Учебного центра проявило большой интерес посольство Королевства Норвегии в Казахстане и Кыргызстане. 19 июля 2010 г. Казахстанский центр данных посетил посол Королевства Норвегии господин Даг Малмер Халворсен. В ходе визита посол познакомился с работой KNDC и Учебного центра, с ходом совместных работ KNDC и Норвежского сейсмологического центра НОРСАР (рисунок 5).



Рисунок 4. Вручение сертификатов

Второй визит господина Дага Малмера Халворсена состоялся 23 мая 2011 г, когда он встретился с курсантами из Узбекистана (рисунок 6), интересовался работой Учебного центра, впечатлениями курсантов от занятий.

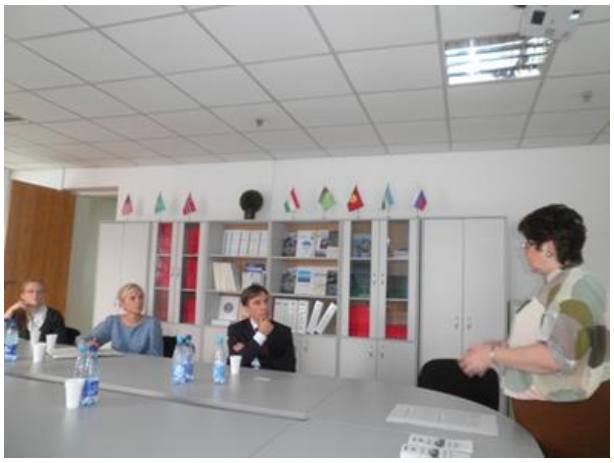


Рисунок 5. Визит посла Королевства Норвегии в Казахстане господина Дага Малмера Халворсена 19 июля 2010 г.

ОДВЗЯИ и Международный центр данных поддерживали организацию Учебного центра и его работу. 21 сентября 2011 г. Учебный центр посетил директор Международного центра данных ОДВЗЯИ (IDC СТВТО) доктор Лассина Зербо, присутствовал на лекции доктора Н.Михайловой и встретился со студентами из Таджикистана (рисунок 7).



Рисунок 6. Встреча посла Королевства Норвегии в Казахстане господина Дага Малмера Халворсена с курсантами из Узбекистана



Рисунок 7. Посещение Учебного центра директором Международного центра данных ОДВЗЯИ доктором Лассина Зербо

Проект Института геофизических исследований и центра НОРСАР продолжался три года и завершился в 2012 г. Предусмотренная работа по обучающему центру полностью выполнена. Однако потребность обучения в казахстанском Центре данных не исчерпана, как из числа работающих в сейсмологических организациях Центральной Азии, так и в организациях Казахстана сейсмического профиля. Хотелось, чтобы деятельность Центра была продолжена, расширена за счет организации тематических школ-семинаров по другим проблемам, в интересах повышения эффективности мониторинга ядерных испытаний и землетрясений, требующем унификации подходов в решении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлова, Н.Н. О региональном сотрудничестве в области сейсмического мониторинга в Центральной Азии. / Михайлова Н.Н.// Вестник НЯЦ РК, 2010. Выпуск 3. С. 5 - 10.
2. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, Приложение 2 [Электронный ресурс] / Официальный сайт Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. - Режим доступа: http://www.ctbto.org/fileadmin/content/treaty/treaty_text.pdf С.189 -1 91.
3. IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice, Volume 1,2 / Borman P. (ed.), GeoForzuschungsZentrum, Potsdam. 2002.

«ЯСБТШ ҚОЛДАУЫНА ЦИФРЛЫҚ ЖАЗБАЛАРДЫ ҚАЗІРГІ КЕЗДЕГІ ӨҢДЕУ ЖӘНЕ ПАЙЫМДАУ ӘДІСТЕРІ» ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ОҚЫТУ ОРТАЛЫҚТЫҢ ЖҰМЫСЫ ТУРАЛЫ

Михайлова Н.Н., Аристова И.Л.

Геофизикалық зерттеулер институты РМК, Курчатов, Қазақстан

Геофизикалық зерттеулер институтының Алматы қаласындағы Арнаулы сейсмикалық ақпаратын жинау және өңдеу орталығы (Халықаралық мониторингі жүйесінде Қазақстандық ұлттық деректер орталығы) базасында Норвегияның CIM және HOPCAP норвегиялық сейсмологиялық орталықтың қаржылық, техникалық және әдістемелік көмегімен 2010 жылдан бері ЯСБТШ қолдауына цифрлық сейсмикалық жазбаларды пайымдау және өңдеу бойынша Халықаралық оқыту орталығы іс-қимылда. Оқыту орталықтың іс-қимылы уақытында Орталық Азияның бес елінен – Қырғызстанның, Өзбекстанның, Түрікменстанның, Тәжікстаннаың, Қазақстанның мамандары оқуын өткен.

ABOUT OPERATION OF THE INTERNATIONAL TRAINING CENTER ON INTERPRETING AND PROCESSING OF DIGITAL RECORDS IN SUPPORT OF THE CTBT

N.N. Mikhailova, I.L. Aristova

Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan

The International Training Center (ITC) on interpreting and processing of digital seismic records in support of the CTBTO has been operating in Almaty on the basis of the Center on Acquisition and Processing of Special Seismic Information of the Institute of Geophysical Researches of the National Nuclear Center of RK (Kazakhstan National Data Center as part of the International Monitoring System) under financial, technical and methodical support provided by the MFA of Norway and Norway Seismological Center NORSAR. For the period of the Training Center operation the training courses were attended by specialists from 5 Central Asia countries - Kyrgyzstan, Uzbekistan, Turkmenistan, Tajikistan, Kazakhstan.

920УДК 550.34:621.039.9(25)

МОЯ ПОЕЗДКА В КУРЧАТОВ

Рейтерер М.

Организация по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, (ОДВЗЯИ), Вена, Австрия

Описаны впечатления специалиста ОДВЗЯИ от поездки в казахстанский Курчатов для участия в конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий» (2012), размещенные на сайте www.ctbto.org.

Солнце поднимается над широкой и ленивой рекой и бескрайними просторами позади нее. Я сижу на ступеньках у входа моего отеля – мне так и не удалось выспаться, и наблюдаю, как великолепное тепло красок утреннего неба рассеивается по мере того, как дневной свет берет свое законное место (рисунок 1). Это могло быть одним из самых мирных мест на земле. Никакого массового туризма, фактическое отсутствие уличного движения, взгляд, уходящий в бесконечную даль, казалось, ничто не могло нарушить здешнего спокойствия.



Рисунок 1. Великолепное тепло красок утреннего неба

И все же, в течение многих десятилетий это было одно из самых закрытых мест на территории Советского Союза - ни карт, указывавших на его существование, ни маркеров, ни указателей. Только почтовый индекс, мне говорят: «Москва 400». Это было место гениев и ученых, место ужасающих взрывов и пугающих испытаний. Сегодня оно называется Курчатов – в честь Игоря Курчатова, «создателя советской ядерной бомбы».

Спустя приблизительно час наш автобус достигает Эпицентра (рисунок 2). Мы проходим мимо массивных железобетонных сооружений (называемых «гусаками»), стоящих там в один ряд, формируя невидимую линию, идущую прямо к эпицентру (рисунок 3). На них размещали различные измерительные приборы, фото- и киноаппаратуру, чтобы измерить и запечатлеть вырывающегося наружу монстра.



Рисунок 2. Поездка в эпицентр

Сегодня они стоят там потрескавшиеся, опаленные и оплавленные. Прямо Стоунхендж, как выразился мой коллега, – пугающий Стоунхендж ядерной эпохи.



Рисунок 3. Массивные железобетонные сооружения, называемые «гусаками»

По мере того как мы приближаемся к эпицентру взрыва, предупреждающие звуковые сигналы на наших дозиметрах усиливаются. Я смотрю на экран дозиметра. Всего минуту назад он показывал вселяющие спокойствие цифры, близкие к нулю, теперь они непрерывно росли. Я надел целлофановые бахилы (рисунок 4). Это было не так-то просто, учитывая 13 размер моих кроссовок, но в итоге я справился.



Рисунок 4. Защитная одежда в эпицентре взрыва

Наш гид, предоставленный местными властями, включает свой счетчик Гейгера. У него слегка оттопыренные уши, он все время улыбается и носит солнцезащитные очки марки Ray-Ban. Мы оставляем наш автобус и шагаем в сторону эпицентра. Место, где у СССР был тройной дебют: первая ядерная бомба, первая термоядерная бомба и первая водородная бомба. Мы оказались в центре гигантского амфитеатра, окруженного далекими холмами и раскинутыми поближе артефактами: остатки моста, обожженные останки гусаков и различных типов бункеров. Позже на макете в местном музее СИП мы увидим расстановку различных объектов от эпицентра на пути разрушительного воздействия взрыва: животные, здания, самолеты, танки, автобусы, автомобили, бункеры, орудия (рисунок 5-а).

Со слов экскурсовода «биологические объекты»: слабо маскирующий эвфемизм для свиней, собак, рогатого скота и верблюдов, все они были подвергнуты тщательному обследованию, анатомированию и вивисекции и впоследствии сохранены в формальдегиде. Их обезображенные останки до сих пор можно увидеть в музее (рисунок 5-б).

Мы идем дальше. И вот, наконец, сам эпицентр – совершенно обыкновенная небольшая депрессия, поросшая травой, сорняком и камышом.

Наш гид идет впереди, счетчик Гейгера в его руке. «Не трогайте», – говорит он, – «здесь высокий уровень радиации». Он хорошо знает свою работу. Я уверен, что он совершал этот тур десятки раз, если не больше.

Несколько лет назад Генеральный секретарь ООН Пан-Ги Мун посетил это место. Ему, конечно, не пришлось надевать защитные бахилы: он шел по заранее выстланной дорожке покрытой полимерной пленкой, чтобы избежать любого контакта с загрязненной пылью. Наш гид одет в поло с эмблемой организации, на которую я работаю: Организация Договора о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных Испытаний (ОДВЗЯИ).



а – макет, расстановка различных объектов от эпицентра взрыва



б – «биологические объекты»

Рисунок 5. В музее истории СИП



Рисунок 6. Эпицентр взрыва



Рисунок 7. Измерение уровня радиации счетчиком Гейгера

В действительности мы – всё еще Подготовительная комиссия ОДВЗЯИ, поскольку наш Договор все еще не вступил в силу – спустя более 15 лет с момента его принятия. Необходимо чтобы еще восемь государств ратифицировали его: Китай, Египет, Индия, Иран, Израиль, Северная Корея, Пакистан и Соединенные Штаты Америки. Вплоть до 1996 года было проведено более 2000 испытаний. С того момента, когда Договора был открыт для подписания, не более дюжины испытаний проведено – все они были осуждены международным сообществом. Это изменение в отношении ядерным испытаниям также в полной мере проявилось в Курчатове, с 1989 года на полигоне не проведено ни единого взрыва. В 1991 году испытательный полигон был официально закрыт. Приблизительно 30,000 человек, возможно больше, жили и работали здесь в разгар холодной войны, сегодня там проживает 8,000. Он напоминает брошенный город.

Мы останавливаемся в бункере, где высокая температура от взрыва расплавила бетон. Это произошло больше чем 60 лет тому назад, и он все еще выглядит так же, как тогда, – по стене сбегают застывшие черные капли оплавленного бетона.

Все это кажется совершенно нереальным, и все же было в центре мировой политики в течение многих десятилетий. Дозиметры постоянно посылают свои предупредительные сигналы, не замолкая ни на секунду. В конце поездки суммарная доза каждого участника составила 3 микрозиверта. Ничтожно мало, чтобы стоило волноваться, мне говорят, это та доза, которую вы получили бы через неделю или две при фоновом уровне излучения. Все же, мы получили ее в течение нескольких часов.

Прежде, чем нам разрешили войти в автобус, сопровождающие сняли с нас защитные бахилы, используя карманный нож. Они аккуратно поместили их в картонную коробку и затем бросили ее за ближайший куст. Нож взяли с собой в автобус. Позже мой коллега воспользовался им, чтобы открыть упаковку ягод и вишен, которые он взял с собой. Радиационная защита, говорите? Ну-ну…



а



б

Рисунок 8. Фотография наружной части бункера. Первое впечатление – будто его предварительно покрасили

Далее мы побывали на участке, который, по словам некоторых, называется «Московский метрополитен».



Рисунок 9. Участок, называемый «Московский метрополитен»



Рисунок 10. Один из сопровождающих экскурсию

Затем нас везут и провожают к краю огромного кратера. Кратер был образован в результате большого химического взрыва, теперь на его месте озеро.

Семипалатинский испытательный полигон также использовался как площадка для возможного коммерческого применения ядерных бомб, например, для гашения масштабных пожаров или создания искусственных озер. Атомное Озеро, недалеко от реки Чаган, является современным напоминанием тех событий. Понадобилось много лет и несколько взрывов, чтобы понять, что любые потенциальные выгоды такой технологии будут перевешиваться ее недостатками – по крайней мере, в коммерческих целях.



Рисунок 11. Командный центр

На обратном пути мы посещаем командный центр. Не многое осталось с тех пор. Некоторые экспонаты были перенесены в музей, большая часть которых, однако, так или иначе, исчезла. Спустя двадцать один год после закрытия испытательного полигона, командный центр находится в удручающем состоянии, руинах. От него длиною в несколько километров тянутся разрытые канавы прямо к эпицентру – работа современных сборщиков металлолома. Километры медных проводов затем были проданы на черном рынке. Куда ушла эта медь? Кто знает…

Затем в музее нам показали «пусковую кнопку». Правда, это не совсем кнопка. Это скорее походит на пульт управления, похожий на кабину летательного аппарата, откуда ведется управление всеми процессами.



Рисунок 12. Музей истории СИП. Исторический пульт управления

Два ключа должны быть вставлены и повернуты одновременно. И затем: начинается обратный отсчет. 10, 9, 8… мы слышим щелкающие звуки… 7, 6, 5… наша группа неожиданно притихла… 4, 3, 2… мы затаили дыхание… 1… и… ноль. Цепная реакция запущена. Всего несколько долей секунды, чтобы Неосознанное породилось, размножилось и далее распространилось от Тринити до Японии, Австралии, Маршалловых островов, Алжира, Лобнора, Раджастхана, Белуджистана, и далее и далее, Мururоа и Фангатауфа и далее и далее, к острову Рождества, Северной Корее. И так более 2000 раз. В течение 60 лет. В более чем 60-ти местах нашей планеты. Пора остановиться!

Опубликовано на сайте www.ctbto.org 8 апреля 2013 г.

МЕНІҢ КУРЧАТОВҚА БАРУЫМ

Рейтерер М.

Ядролық сынақтарға бәрін қамтитын тыйым салу туралы шартының ұйымы, Вена, Австрия

ЯСБТШ маманының «Ядролық сынақтардың және олардың зардаптарының мониторингісі» конференциясына (2012) қатысу үшін қазақстандық Курчатовқа бару туралы www.ctbto.org сайтында орналастырылған әсері сипатталған.

MY JORNEY TO KURCHATOV

M. Reiterer

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

An expert from the CTBTO described his impressions on trip made to Kurchatov in Kazakhstan in 2012 as a participant to the Conference “Monitoring of Nuclear Tests and Their Consequences”. This was posted at www.ctbto.org.

УДК 55 (091)

НООСФЕРА ВЕРНАДСКОГО И ЧТО ДАЁТ ЗНАНИЕ О НЕЙ ДЛЯ БУДУЩЕГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Васильев А.П.

Служба специального контроля Министерства обороны Российской Федерации, Москва

Мысли о будущем Человечества и ноосфере – плод работы над научным наследием и биографией великого учёного-энциклопедиста В.И. Вернадского (к 150-летию, объявленному ЮНЕСКО годом В.И. Вернадского).

Светлой памяти любимой жены Васильевой Маргариты Николаевны, моего ангела-хранителя на протяжении 54 лет, ушедшей из жизни 8 марта 2013 г. после тяжёлой неизлечимой болезни.

Васильев А.П., 11 марта 2013 г

Ноосфера – слово греческого происхождения, дословно означающее «сфера разума». Владимир Иванович Вернадский подразумевал под этим термином состояние биосферы на высшей стадии развития человека разумного.

Термин «ноосфера» впервые в науку введён в 1927 г. французский учёный Е. Ле-Руа, который при изучении современной стадии, геологически переживаемой биосферой, принял за основу геохимические и биогеохимические процессы, исследовавшиеся до него В.И. Вернадским. Результаты тех исследований В.И. Вернадским были частично опубликованы в 1924 г. в книге «Основы геохимии». В дальнейшем В.И. Вернадский создал целостное учение о ноосфере, вплоть до связи её с общественно-экономическими формациями и выяснением перспективного направления развития человеческого сообщества на Земле.

При создании учения о ноосфере В.И. Вернадский опирался на передовые достижения естественных и общественных наук, что нашло отражение в 2-х частях «Книги жизни». Так он называл свой главный завершённый труд под названием «Химическое строение биосферы Земли и её окружения». В 3-й части этой книги было задумано рассмотреть проблемы ноосферы. Однако план не удалось осуществить полностью. Основные идеи учения о ноосфере были изложены в небольшой статье «Несколько слов о ноосфере», опубликованной в Журнале «Успехи современной биологии» в 1944 г.

По Вернадскому, одновременно с появлением живого вещества на Земле (примерно 3,5 млрд. лет тому назад при возрасте Земли в 4,6 млрд. лет) появилась биосфера, и в дальнейшем происходило постоянное взаимодействие живого вещества с биосферой, охватывающей океан, нижнюю часть атмосферы и тонкий слой твёрдой оболочки Земли. Это взаимодействие отражается как на эволюции биосферы, так и на морфологическом изменении живого вещества в геологической истории. Процесс эволюции существенно расширился и ускорился с появлением организмов, способных путём хемосинтеза и фотосинтеза преобразовывать неорганические вещества в органические. Побочный продукт фотосинтеза зелёных растений – кислород, накапливался в атмосфере и в современной атмосфере фотосинтезом обеспечивается вся масса кислорода.

Возникновение у живых организмов центральной нервной системы 750 - 600 млн. лет тому назад привело к возрастанию геологической роли живого вещества. Так и человек, появившийся 3,5 - 1,0 млн. лет тому назад, геологически связан с материально-энергетической структурой биосферы. Как все живые организмы, он непрерывно и неразрывно связан, – прежде всего, питанием и дыханием – с окружающей средой. Как любое живое вещество, человек медленно изменяется в ходе геологического времени согласно законам природы. Причём эволюция живого вещества идёт в определённом направлении. Эмпирически открытый американскими учёными Д.Д. Дана и Д. Ле-Конте закон о направлении развития живого вещества, получивший название «цефализации», означающей (с учётом учения об эволюции жизни Ч. Дарвина), скачкообразное усовершенствование центральной нервной системы в ходе геологического времени, начиная от ракообразных и моллюсков вплоть до человека. Отсюда В.И. Вернадский сделал вывод, что развитие мозга не останавливается на достигнутом уровне, не идёт вспять, а идет всё дальше.

В 1922 г., исходя из геологической роли человека, русский геолог А.П. Павлов ввёл в геохронологическую шкалу новое название четвертичного периода – антропогеновый, охватывающий всю историю человечества от появления первых предков до современного человека. Геологическая сила человека сложилась геологически длительно. Человек познал и охватил всю биосферу, теперь он осваивает и те земные оболочки, в которых жизнь невозможна – околоземное и даже околосолнечное пространство. Человечество своей жизнью стало единым целым. Всё это результат цефализации, роста человеческого мозга и направляемого им труда. «В геологической истории перед человечеством открывается широкая

перспектива и огромное будущее, если он поймёт своё предназначение, и не будет направлять свой разум и труд на самоуничтожение, - пишет В. И. Вернадский в статье «Биосфера и ноосфера». И далее: «Геологический эволюционный процесс отвечает биологическому единству и равенству всех людей – современному человеку и его геологических предков, потомство которых для всех рас развивается безостановочно в бесчисленных поколениях. Это закон природы. Исторический процесс на наших глазах коренным образом меняется. Впервые в истории интересы народных масс, с одной стороны, и свободной мысли личности, с другой, определяют жизнь человечества, являются мерилом его представлений о справедливости. Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью и трудом, встает вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого. Это новое состояние биосферы, к которому человечество, не замечая того, приближается, и есть ноосфера».

Открытие ноосферы и законов организации жизни в ноосфере позволило В.И. Вернадскому не усомниться в успешном исходе Великой Отечественной войны, даже в начальный период. Войну, со стороны фашистской Германии, с бессмысленным истреблением людей, уничтожением материальных и культурных ценностей во имя господства избранной касты, В.И. Вернадский считал в корне противоречащей требованиям равенства и справедливости, главными принципами организации жизни в ноосфере. В то же время, борьбу с фашизмом он относил к соответствующей развитию жизни в ноосфере на принципах равенства и справедливости. Он предсказал и неоднократно повторял в самые сложные для советской страны моменты, что поражение Германии неизбежно. Одновременно в своих работах он подчёркивал, что по правильному пути страна пошла интуитивно, а чтобы эту тенденцию закрепить и развить, надо переходить на сознательное использование открытой им геологической концепции развития человечества. Конечно, для марксистов-ленинцев Великая Отечественная война была войной справедливой со стороны СССР и несправедливой со стороны фашистской Германии, победа в ней предсказывалась достаточно убедительно с точки зрения исторического материализма, а геологическая концепция Вернадского позволяла утверждать о соответствии войны со стороны СССР законам открытой им ноосферы. В этом отношении учение Вернадского о ноосфере совпало с официальной линией марксистов-ленинцев, хотя это и осталось незамеченным.

Другое, открытое В.И. Вернадским условие, необходимое для организации жизни в ноосфере – «свободная научная мысль», «свободная личность», – вошло в глубокое противоречие с установкой советской власти, провозглашающей примат марксизма-ленинизма во всём, в том числе, и в науке. Видя отставание советской науки в некоторых областях знаний от мирового уровня, В.И. Вернадский активно боролся против бюрократических подходов к управлению творческим процессом и за более эффективное управление наукой. Он всякий раз восставал против вмешательства в процессы научного творчества, дающие неожиданные результаты, на первый взгляд, невозможные с точки зрения марксистско-ленинского учения. Видя, что чиновничьи шоры не ослабеют даже после побед и коренного перелома в войне, а пагубным образом могут сказаться на развёртывании восстановительных работ и развитии науки в стране, В.И. Вернадский формулирует свои взгляды на послевоенную организацию АН СССР в письмах из Борового президенту АН СССР В.Л. Комарову.

По мнению В.И. Вернадского, в то время в социалистическом государстве не было форм обеспечения свободной научной мысли, а для вхождения в ноосферу «эти формы должны быть найдены, реализованы и стать целью государственной политики и социального строя». Он думал о ноосфере, как об объединяющей и связующей силе и о том, как распространить передовое научное мировоззрение не только в науке, но и в народе, чтобы дать ему верное представление о том, в каком положении он находится в государстве и какую роль играет. «Мы только начинаем сознавать непреодолимую мощь свободной научной мысли, - писал В.И. Вернадский в статье «Пространство и время в неживой и живой природе», которая опубликована через 20 лет после его смерти, - величайшей творческой силы свободной личности, величайшего нам известного проявления её космической силы, царство которой впереди. Оно этим переломом негаданно быстро к нам придвигается».

Своё учение о ноосфере и его значимости В.И. Вернадский решил в сжатом виде довести до научной общественности и ознакомить с ним как можно более широкий круг общественности. Пользуясь случаем присуждения ему в марте 1943 г. Сталинской премии 1 степени, он в телеграмме на имя И.В. Сталина пишет: «Наше дело правое, и сейчас стихийно совпадает с наступлением ноосферы – нового состояния области жизни, ноосферы – основы исторического процесса, когда ум человека становится огромной геологической, планетной силой». Из рукописи П. Шкрыля (журналиста-исследователя жизни учёных, эвакуированных в Казахстан - «В Боровом, в годы войны») известно, что в том же 1943 г. В.И. Вернадский подготовил статью под названием «Что такое ноосфера и почему нам о ней надо знать». Он познакомил с нею находившегося в Боровом академика Ф.А. Ротштейна – историка и видного общественного деятеля. Последний в отзыве на статью «высоко оценил подлинно гуманистическое содержание учения В.И. Вернадского о ноо-

сфере». Три экземпляра рукописи статьи были разосланы: И.В. Сталину, Е.М. Ярославскому и в редакцию газеты «Правда». Однако, в «Правде» она не была опубликована и её следов и упомянутого отзыва Ф.А. Ротштейна, а также реакции на неё вернадоведами пока не обнаружено (профессор И.И. Мочалов, Институт истории естествознания и техники, 2010). Таким образом, задуманного Вернадским широкого ознакомления общественности с открытием ноосферы и вытекающих из него требований к организации современной жизни советского общества не получилось. Возможно, интуитивно государственное и научное руководство СССР было согласно с В.И. Вернадским. Об этом свидетельствует, например, подход к организации Атомного проекта СССР. Научное руководство проекта было поручено учёным во главе с И.В. Курчатовым, мыслительная и научно-организаторская деятельность которых была не только ничем не ограничена, но и всячески поддерживалась государством. Ещё до окончания войны начались работы по созданию научной базы для нужд создаваемой атомной промышленности. Примерно так же было организовано и решение ракетно-космических проблем. Да и работа в отраслевых министерствах строилась по схожему принципу, где важную роль играли научно-технические советы, отраслевые НИИ и КБ. В основу научного управления всем хозяйственным комплексом при переходе в ноосферу должна быть заложена ноосферная концепция, главной чертой которой является общность законов развития биосферы и человеческого общества. В настоящее время разработано много разных моделей, с помощью которых исследуются процессы развития и взаимодействия компонент общества, хозяйственной деятельности, природы и научного управления ими.

Один из вариантов структурной схемы модели ноосферного комплекса (НК) приведен на нижеследующем рисунке.

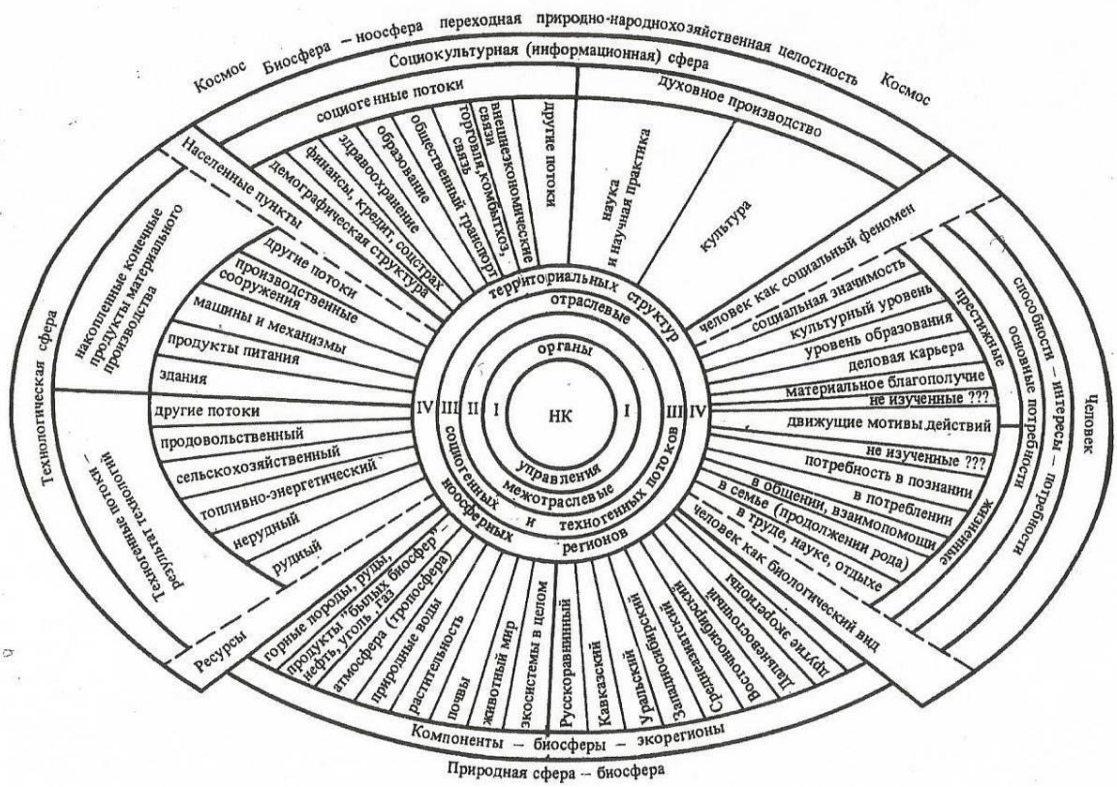


Рисунок. Структурная схема природно-хозяйственного (ноосферного) комплекса - НК

Схема заимствована из статьи А.Г. Назарова «Ноосферная концепция В.И. Вернадского как основа научного управления» в книге «В.И. Вернадский и современность» (М., «Наука», 1986, с.58). Она состоит из пяти взаимодействующих сфер: человека, природной среды (биосферы), хозяйственной (технологической), социально-культурной и структурно объединяющей их сферы управления, которая регулирует взаимодействие человека с другими сферами комплекса.

В развёрнувшейся в послевоенные годы научно-технической деятельности и управлении наука становилась непосредственной производительной силой, а учёные должны были возглавить её в общегосударственном масштабе. «Интересы знания должны выступить вперёд в текущей государственной политике. Свобода научного поиска есть основное условие максимального успеха работы. Она не терпит ограничений. Государство, которое предоставляет максимальный размах, ставит минимальные

преграды, достигает максимальной силы в ноосфере, наиболее в ней устойчиво». Такой подход, сформулированный В.И. Вернадским в работе «Философские мысли натуралиста», к сожалению, не опубликованной при жизни учёного, – должен был восторжествовать и тогда бы устойчивому развитию общества вряд ли что-нибудь и кто-нибудь смогли помешать.

Однако такого решительного шага для изменения приоритетов в сторону науки в устоявшемся плановом хозяйстве страны сделано не было. В социалистическом государстве в некоторых областях знаний возобладали запреты на передовую научную мысль. Всё, что хоть частично, хоть отдалённо противоречило догматически понимаемым основам марксизма-ленинизма, подвергалось остракизму. Отсюда, гонения на новые науки - кибернетику и генетику, на современные направления в литературе, музыке, изобразительном искусстве. На старом теоретическом багаже всё более косным становилось руководство. Вместо того чтобы углублять знания, осваивать культурное наследие, накопленное человечеством, «учёба» сводилась к изучению трудов классиков марксизма-ленинизма, уровень знаний оставался ниже среднего, что очень беспокоило В.И. Вернадского ещё в 1940-е годы.

В.И. Вернадский предостерегал общество от пренебрежения наукой. В публицистической статье «Перед грозой» он чётко сформулировал значение современной науки: «Страна, которая не работает самостоятельно в области научной мысли, которая только усваивает образование – чужую работу – есть страна мёртвая. С каждым годом значение самостоятельной научной работы, как основного элемента культуры, становится всё более важным и неизбежным. Ибо постепенно и быстро весь земной шар становится ареной государственных интересов, ибо техника охватывается всё более глубоко научной мыслью, и результаты научной работы с каждым мгновением всё более проникает во все области человеческого сознания». Не коммунист-интернационалист, а учёный-натуралист В.И. Вернадский сформулировал в статье «Научная мысль как планетное явление» направление прогресса Человечества: «Идея о едином государственном объединении всего человечества становится реальностью только в наше время, и то, очевидно, становится пока только реальным идеалом, в возможности которого нельзя сомневаться. Ясно, что создание такого единства есть необходимое условие организованности ноосферы, и к нему человечество обязательно придёт».

Эта идея в настоящее время, когда изменения климата Земли и аварии на крупных индустриальных объектах приводят к глобальным катастрофам, приобретают чрезвычайную актуальность. Обсуждение вопроса в такой постанове стало предметом многих международных конференций. На одной из первых, в Бразилии в 1992 г. принял участие академик В.А. Коптюг, который 13 апреля 1994 г. подвёл её итоги статьёй «Между Сциллой и Харибдой» («Правда», № 61, 1994). Он писал: «Признание необходимости безальтернативности перехода на новый, более организованный и регулируемый путь развития человечества и явилось главным достижением конференции ООН в Рио-де-Жанейро. Под основополагающими концептуальными документами конференции стоят подписи глав государств или правительства практически всех стран мира, что позволяет рассматривать её как исторически важную веху в жизни нашей цивилизации, ознаменовавшую отказ от прежних моделей развития и попытку претворить в жизнь концепцию «устойчивого развития». В рамках этой концепции будущее Человечества видится на пути справедливого социалистического устройства союза государств, стремящихся обеспечить строительство справедливых отношений друг с другом в борьбе за общее устойчивое развитие мира и вхождение в ноосферу. Конечно, этот путь не прост, но он соответствует объективным законам природы, открытым В.И. Вернадским, и он реален.

ВЕРНАДСКИЙДІҢ НООСФЕРАСЫ ЖӘНЕ ОЛ ТУРАЛЫ БІЛІМ АДАМЗАТ БОЛАШАҒЫНА НЕ БЕРЕДІ

Васильев А.П.

Ресей Федерациясы Қорғаныс министрлігінің Арнайы бақылау қызметті, Мәскеу

Адамзат болашағы және ноосфера туралы ойлары келтірілген – автордың ұлы ғалым-энциклопедист В.И. Вернадскийдің ғылыми мұрасы мен өмірбаяны туралы жұмысының нәтижесі (В.И. Вернадский жылы болып ЮНЕСКО жариялаған, 150-жылдық мерейтойы жылында)

VERNADSKY'S NOOSPHERE AND WHAT KNOWLEDGE OF IT CIVES TO THE FUTURE MANKIND

A.P. Vasilyev

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

Thoughts of the future of Mankind and the noosphere – a piece of work of the author dedicated to scientific heritage and biography of great scientist-encyclopaedist V.I. Vernadsky ((in the year of 150th Anniversary, declared by UNESCO the year of V.I. Vernadsky).

СПИСОК АВТОРОВ

Ан В.А., 56
Аристова И.Л., 77, 161
Башилов И.П., 31
Беляшов А.В., 24, 104, 110
Берёзина А.В., 40, 44, 116
Васильев А.П., 170
Великанов А.Е., 49, 77, 94
Волосов С.Г., 31
Вольхина Е.Т., 44
Годунова Л.Д., 56
Донцов В.И., 24
Дубровин В.И., 24
Ефремов М.В., 110
Жолдыбаев А.К., 94, 110
Каазик П.Б., 56
Казакова Ю.И., 94, 110
Калиновски М., 5
Кальметьева З.А., 116
Ковалевский В.В., 18
Копничев Ю.Ф., 86, 131
Королёв С.А., 31
Кунаков В.Г., 24
Ларина Т.Г., 104, 110
Максимов Е.М., 121
Мариненко В.А., 121
Михайлова Н.Н., 12, 64, 72, 77, 140, 154, 161
Молдобекова С.К., 116
Мукамбаев А.С., 77
Николаев А.В., 31
Першина Е.В., 40, 44
Полешко Н.Н., 72, 140, 154
Рейтерер М., 165
Русинова Л.А., 104
Синёва З.И., 12, 64
Смирнов А.А., 24
Соколов К.Н., 86
Соколова И.Н., 49, 77, 86, 131
Торгоев И.А., 116
Утегенова М.А., 110
Шайторов В.Н., 94, 104, 110
Шевченко В.П., 121
Шелехова О.Х., 104
Яковенко А.М., 128

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи предоставляются в электронном виде (на CD, DVD диске или по электронной почте присоединенным [attachment] файлом) в формате MS WORD и печатной копии.

Текст печатается на листах формата А4 (210×297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 20 мм; справа 20 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi). Горизонтальное расположение листов не допускается.

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков. Пожалуйста, для заголовков используйте стили (Заголовок 1, 2…) и не используйте их для обычного текста, таблиц и подрисуночных подписей.

Текст печатается через одинарный межстрочный интервал, между абзацами – один пустой абзац или интервал перед абзацем 12 пунктов.

В левом верхнем углу должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами. Через 3 интервала после названия, печатаются фамилии, имена, отчества авторов и полное наименование, город и страна местонахождения организации, которую они представляют. После этого, отступив 2 пустых абзаца или с интервалом перед абзацем 24 пункта, печатается основной текст.

Максимально допустимый объем статьи – 10 страниц.

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 организации, города и страны местонахождения, которую они представляют;
- Ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных [1] скобках по мере упоминания. Список литературы следует привести по ГОСТ 7.1-2003;
- Иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере (ширина рисунка 8 или 14 см), либо в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата А4. Особое внимание обратите на надписи на рисунке – они должны быть различимы при уменьшении до указанных выше размеров. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка. Рисунки должны быть представлены отдельно в одном из форматов *.tif, *.gif, *.png, *.jpg, *.wmf с разрешениями 600 dpi.
- Математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation или MathType. Химические формулы и мелкие рисунки в тексте должны быть вставлены как объекты Рисунок Microsoft Word. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

К статье прилагаются следующие документы:

- рецензия высококвалифицированного специалиста (доктора наук) в соответствующей отрасли науки;
- выписка из протокола заседания кафедры или методического совета с рекомендацией к печати;
- акт экспертизы (экспертное заключение);
- сведения об авторах (в бумажном и электронном виде): ФИО (полностью), наименование организации и ее полный адрес, должность, ученая степень, телефон, e-mail.

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, электронной почты.

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

Ответственный секретарь к.ф.-м.н. У.П. Козтаева
тел. (722-51) 2-33-35, E-mail: KOZTAEVA@NNC.KZ

Технический редактор И.Г. Перепелкин
тел. (722-51) 2-33-33, E-mail: IGOR@NNC.KZ

Адрес редакции: 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 2, зд. 054Б
http://www.nnc.kz/vestnik

© Редакция сборника «Вестник НЯЦ РК», 2013

Регистрационное свидетельство №1203-Ж от 15.04.2000 г.
Выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Тираж 300 экз.

Выпуск набран и отпечатан в типографии
Национального ядерного центра Республики Казахстан
071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Красноармейская, 2, зд. 054Б

