

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ГЕОФИЗИКА И ПРОБЛЕМЫ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 2000 Г.

ВЫПУСК 2 «ГЕОФИЗИКА И ПРОБЛЕМЫ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ», ИЮНЬ 2000

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – ЧЕРЕПНИН Ю.С.

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ – ТУХВАТУЛИН Ш.Т., БЕЛЯШОВА Н.Н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: АХМЕТОВ М.А., БЕЛЯШОВА Н.Н., ДОНБАЕВ К.М., ЖОТАБАЕВ Ж.Р., КАДЫРЖАНОВ К.К., КОНОВАЛОВ В.Е., ПИВОВАРОВ О.С., СИТНИКОВ А.В., ТАКИБАЕВ Ж.С., ТУХВАТУЛИН Ш.Т.

ҚР ҰЯО Жаршысы

«ГЕОФИЗИКА ЖӘНӘ ЯДРОЛЫҚ ҚАРУЛЛАРДЫҢ ТАРАТЫЛАТЫН ЕМЕС МӘСЕЛЕЛЕРІ»

2 ШЫҒАРМА, МАУСЫМ 2000 ЖЫЛ

NNC RK Bulletin

«GEOPHYSICS AND NON-PROLIFERATION PROBLEMS»

ISSUE 2, JUNE 2000



ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Министерство энергетики, индустрии и торговли РК

Национальный ядерный центр РК

LDEO – Ламонт Дохети обсерватория Земли, США

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: Черепнин Ю.С.

Зам. председателя: P. Richards

Члены организационного комитета: Тухватулин Ш.Т., Тихомиров Л.Н., Ахметов Т.З., Беляшова Н.Н., Ахметов М.А.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: Беляшова Н.Н.

Зам. председателя: W-Y. Kim.

Члены программного комитета:

Ситников А.В., Беляшов Д.Н., Михайлова Н.Н., Птицкая Л.Д., Тюпкина О.Г., Ан В.А.

РАСПИСАНИЕ РАБОТЫ

21 августа, понедельник

день заезда

- 22 августа, вторник
- открытие конференции
- 23 августа, среда

٠

- заседания
- 24 августа, четвер
 - завершение конференции, экскурсии

25 августа, пятница

• день отъезда

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МОНИТОРИНГ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЕ

21-25 августа 2000 года п. Боровое Акмолинской области, Республика Казахстан

ТЕМАТИКА

- 1. Мониторинг ядерных испытаний глобальный и региональный аспекты контроля Договора ВЗЯИ
 - Международная система мониторинга ОВЗЯИ настоящее будущее.
 - Региональный мониторинг и инспекции на местах.
- 2. Технологии мониторинга ядерных испытаний
 - Технологии наземного геофизического мониторинга.
 Космические технологии мониторинга.
 - Обнаружение и идентификация ядерных испытаний
 - Теория и методы обнаружения и идентификации.
 Базы данных как основа эффективного мониторинга.
- 4. Геоэкологические последствия ядерных взрывов
 - Изучение и мониторинг последствий ядерных взрывов
 - и катастроф.

3.

Геоэкологический мониторинг ядерных технологий.

ЗАЯВКА НА УЧАСТИЕ

Заявка на участие вместе с тезисами доклада в электронном варианте представляются по адресу:

490021, Семипалатинск-21, «Меридиан»

- Факс: (32251) 23422 Тел: (32251) 23742
- E-mail: igr@nnc.kz

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ

Геофизическая обсерватория «Боровое» (ГО «Боровое») Института геофизических исследований НЯЦ РК, пос. Боровое Акмолинской области, Республика Казахстан.

Аэропорт прибытия – Кокчетав, жеезнодорожная станция – Курорт-Боровое.

РАЗМЕЩЕНИЕ УЧАСТНИКОВ

Участники конференнции будут проживатиь в гостиничном и жилом фонде ГО «Боровое», а также в пансионатах курорта Боровое. Стоимость одного дня проживания 20-150 долларов США.

РАБОЧИЕ ЯЗЫКИ КОНФЕРЕНЦИИ

Рабочими языками конференции являются русский и английский.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ ВЗНОС

Организационный взнос участников конференции из стран СНГ составляет 50 долларов США, из других стран 200 долларов США по курсу Нацбанка РК. В сумму регистрационного взноса входит стоимость сборника тезисов докладов, транспортные расходы по доставке участников к месту конференции из аэропорта/вокзала, организация экскурсий.

Оргкомитет семинара

СОДЕРЖАНИЕ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР РК. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ	5
ИНСТИТУТ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ. НОВЫЕ И СТАРЫЕ ЗНАКОМЫЕ Тюпкина О.Г.	9
Раздел 1 – Геофизический контроль ядерных испытаний	13
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ	13
МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «МАКАНЧИ» Комаров И.И., Синева З.И., Михайлова Н.Н., Абдрахманова Г.С.	17
ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ ЦИФРОВЫХ СТАНЦИЙ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕТИ Синева З.И., Михайлова Н.Н., Комаров И.И.	24
КАЛИБРОВОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДВЗЯИ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ. 1997-2000 ГГ. W. Leith, L.J. Kluchko, C.P. Knowles, D.A. Linger, L. Gabriel, Беляшова Н.Н., Тухватулин Ш.Т., Демин В.Н., Коновалов В.Е.	31
ОПЫТ ЗАКРЫТИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ Демин В.Н., Малахова М.Н.	37
ХИМИЧЕСКИЕ ВЗРЫВЫ ПЕРИОДА 1961-1988 гг. НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ V.I. Khalturin, T.G. Rautian, P.G. Richards	41
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СКОРОСТНОГО РАЗРЕЗА ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ	45
Синева З.И., Беляшов А.В., Малахова М.Н. ИНДИЙСКИЙ И ПАКИСТАНСКИЙ ПОДЗЕМНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ 1998 г. ПО ДАННЫМ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И.	53
РАСПОЗНАВАНИЕ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ ДЛЯ ПОЛИГОНА ЛОБНОР	65
О ВЫБОРЕ ПРИЗНАКОВ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	78
КОНТРОЛЬ НАЗЕМНЫХ ХИМИЧЕСКИХ И ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ РАДИОЗОНДИРОВАНИЕМ ИОНОСФЕРЫ НАД МЕСТОМ ВЗРЫВА Краснов В.М., Дробжева Я.В.	86
О МЕХАНИЗМЕ ОТРАЖЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ Краснов В.М.	95

Раздел 2 – Изучение состояния блоков земной коры после подземных ядерных
взрывов и в связи с крупным строительством
РАЗМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ БАЛАПАН СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА101 Коновалов В.Е., Грязнов О.В.
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА ОКРУЖАЮЩИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТАХ
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ111 Беляшова Н.Н., Смирнов А.А., Крылов Г.Г., Абишев К.М., Синева З.В.
ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ МИРНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ
ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТА "ЛИРА" И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕСТРУКЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СЕРИИ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА УЧАСТКЕ БАЛАПАН
СТРОЕНИЕ БЛОКА ЗЕМНОЙ КОРЫ ПОД РЕАКТОРОМ ВВР-К В пос. АЛАТАУ (ПО ДАННЫМ МЕТОДОВ ПАССИВНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ)
Раздел 3 – Изучение минерально-сырьевых ресурсов Семипалатинского
испытательного полигона
КОНВЕРСИОННЫЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА
О КОМПЛЕКСНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА
ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И МОРФОЛОГИИ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАЙМАНЖАЛ153 Бирюлин В.В.
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА

УДК 550.3/623.4

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР РК. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ

¹⁾Черепнин Ю.С., ²⁾Беляшова Н.Н., ¹⁾Тухватулин Ш.Т.

¹⁾ Национальный ядерный центр Республики Казахстан ²⁾Институт геофизических исследований

В статье приводится информация о деятельности НЯЦ РК, относящейся к геофизическим аспектам проблемы ядерного нераспространения и конверсии в Республике Казахстан

Долгий путь ядерного разоружения ведет отсчет с конца 40-х - начала 50-х годов - с инициативных предложений о запрещении разработки и применения этого вида оружия, установления временных мораториев на ядерные испытания. В 1963 году был подписан многосторонний Договор о запрещении испытаний в трех средах - космосе, воздухе и под водой. Пороговый Договор 1974, 1976 гг. (ДОПИЯО) предусматривал запрет на проведение подземных ядерных взрывов мощностью более 150 килотонн (в тротиловом эквиваленте). Однако протоколы к договору, конкретизирующие меры контроля мощности подземных испытаний, были подписаны только в 1989, 1990 гг. после подведения итогов беспрецедентного Советскоамериканского эксперимента. Сопоставлялся научно-технический уровень предлагаемых телесейсмических и гидродинамических методов контроля соблюдения 150-килотонного порога ограничения мощности подземных ядерных взрывов [2]. На испытательном полигоне Невада (эксперимент «Кирсадж», 17 августа) и на Семипалатинском испытательном полигоне (эксперимент «Шаган», 14 сентября) проведены два подземных ядерных взрыва и проведен натурный опыт по контролю будущих испытаний, выработке процедур сбора необходимых геолого-геофизических данных для осуществления ограничений в одной из самых существенных для национальной безопасности областей оборонной деятельности. Несмотря на сложность процедур и различие условий испытаний, эксперимент выполнил главное назначение и дал практическую основу пороговым Договорам. Ратификация договоров в 1991 г позволила СССР и США приступить к контролю ядерных испытаний на территории этих стран. Меры контроля ДОПИЯО были применены при проведении двух ядерных испытаний в США на полигоне Невада (эксперимент Хойя», 1991 г.инспекция на месте; эксперимент Джакшн», 1992 г. - гидродинамический и телесейсмический методы измерения мощности взрывов).

С 24 сентября 1996 г., через 51 год после первого ядерного взрыва и после около 2000 заре-

гистрированных ядерных испытаний, Генеральной Ассамблеей ООН был открыт для подписания принятый на ее 50 сессии беспороговый Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). К настоящему времени Договор подписан 155 странами, 56 из которых ратифицировали его¹ [6]. В связи с подписанием ДВЗЯИ общими задачами всех стран – участниц стали отказ от любых испытательных взрывов и создание и применение полноценных мер и средств контроля беспороговых ядерных событий. Практические меры по организации соблюдения Договора осуществляет созданная ОДВЗЯИ - Организация ДВЗЯИ (Вена, Австрийская республика) с ее Подготовительной Комиссией и Временным Секретариатом.

Общая отличительная особенность контроля ядерных испытаний до 1991 г. – это выполнение его национальными средствами, с 1991 г. – согласованными средствами двустороннего договора, заключенного между двумя странами – США, СССР, а с 1996 г. - средствами международного контроля. Меры международного контроля, разработанные ОДВЗЯИ, включают создаваемую и функционирующую Международную Систему Мониторинга, инспекцию на месте, консультации и разъяснения, меры укрепления доверия.

Международная система мониторинга предусматривает [3] набор методов и технологий контроля во всех средах и по всей территории земного шара: сейсмические измерения (глобальная сеть из 50 первичных и 120 вспомогательных станций), радионуклидные измерения (80-ю станциями, включая 40, фиксирующих радиоактивные благородные газы), гидроакустические измерения (6-ю гидрофонными и 5-ю Т-фазными станциями), инфразвуковые измерения (60-ю станциями). Инспекция на месте также включает комплекс мер: визуальные наблюдения с воздуха, наблюдения на месте, отбор и измерение радиоактивности поверхностных и приповерхностных проб, геофизические измерения (пассивный сейсмологический монито-

¹ По состоянию на 17.04.2000

ринг, резонансная сейсмометрия и активные сейсмические наблюдения, гравиметрия, магнитометрия, электрометрия, подповерхностная радиолокация), бурение и отбор глубинных проб. Организация Договора предусматривает работу Международного центра данных, национальных центров данных, глобальной коммуникационной системы. Однако предусмотренные международные меры контроля не являются равнозначными и обладают различной чувствительностью. События лет, последовавших после подписания Договора, показали, что международная система сейсмических станций достоверно фиксирует ядерные взрывы мощностью более 10 кт. Не полностью зафиксированы подземные ядерные взрывы, имевшие меньшую мощность или проведенные на фоне землетрясения (Пакистан, Индия). Проблемой является выявление гидроядерных испытаний – взрывов сверхмалой мощности. Поэтому, несмотря на огромные затраченные усилия, нераспространение все еще остается проблемой и необходимы новые усилия мирового сообщества.

Республика Казахстан, объявившая себя безъядерным государством, первой в мире закрыла ядерный полигон, выступила с инициативой о полном и всеобщем запрещении ядерных испытаний, активно поддерживает переориентацию бывших военных комплексов и решает проблемы ядерного нераспространения в соответствии с взятыми на себя международными договорами и обязательствами Республика присоединилась к Договору о всеобъемлющем запрещении испытаний, к Протоколу о сокращении и ограничении стратегических наступательных вооружений, вступила в МАГАТЭ и поставила свои ядерные объекты под гарантии МАГАТЭ. Она проводит конверсию инфраструктуры бывших испытательных полигонов и научнотехнического потенциала, используемого на бывших военных комплексах. Республика придает большое значение международному сотрудничеству в этой своей деятельности. Практическое осуществление комплекса мер по проблеме ядерного нераспространения поручено Национальному ядерному центру Республики Казахстан.

Национальный ядерный центр Республики Казахстан проводит работы по проблемам ядерного нераспространения и конверсии с 1993 г. Спектр этих работ в настоящее время представляет собой Республиканскую научно-техническую программу, предусматривающую параллельные исследования по направлениям, прямо или косвенно связанным с соблюдением режима нераспространения в Казахстане [5,7]. Значительная часть мер поддержания ядерного нераспространения и контроля за ядерными испытаниями имеет геофизические аспекты. Это, прежде всего:

 геофизический мониторинг испытания ядерного оружия;

- инженерно- геофизическое сопровождение ликвидации ядерной инфраструктуры научно-технологических комплексов бывших военных полигонов;
- геофизическое обоснование безопасности выбора участков под строительство объектов атомной энергетики и других крупных ответственных сооружений;
- инженерно- геофизическое обеспечение хранения и захоронения радиоактивных материалов;
- геофизическое изучение территории ядерных испытательных полигонов для прогнозирования опасных поствзрывных явлений, а также для поиска и разведки месторождений полезных ископаемых. (там, где это не делалось ранее)

Геофизическими исследованиями занято специализированное подразделение НЯЦ РК – Институт геофизических исследований. Институт создан в 1993г. на базе казахстанских подразделений Института физики Земли Академии наук (обсерватория «Боровое») и Министерства геологии (Южный филиал Специальной Региональной Геофизической Экспедиции) бывшего СССР. Позднее в состав Института включены геофизические обсерватории, ранее обслуживаемые воинскими частями, выведенными в 1994 г. с территории Казахстана. Это обсерватории Курчатов, Актюбинск, Маканчи, которые, как и обсерватория «Боровое», в течение 1960 - 1992 гг. получали высококачественные данные о ядерных взрывах, проводимых в разных районах мира, включая ядерные и химические взрывы на Семипалатинском испытательном полигоне [1,4].

Основными направлениями деятельности, охватывающими перечисленные выше геофизические аспекты проблемы ядерного нераспространения и конверсии, являются *наблюдательная геофи*зика, геофизическое изучение строения земли, инженерная геофизика и инженерная геология. Наблюдательная геофизика включает:

- развитие и обслуживание казахстанской сети мониторинга ядерных испытаний, состоящей из стационарных и мобильных групп (станций)., а также Центра сбора и обработки сейсмических данных, созданного в 1999 г. Состав в настоящее время стационарной наблюдательной сети – это три сейсмические группы (большеапертурная - Боровое, среднеапертурная - Курчатов, малоапертурная - Маканчи), одна трехкомпонентная станция (Актюбинск), две инфразвуковые станции (Курчатов, Боровое, магнитометрическая станция, радионуклидная лаборатория, метеостанция (Курчатов). Техническое оснащенение сейсмических станций включает широкополосные трехкомпонентные цифровые сейсмические станции, однокомпонентные вертикальные короткопериодные сейсмометры. Стационарные станции и Центр данных входят в Международную систему сейсмического мониторинга (IMS) Договора о всеобъемлюшем запрешении испытаний ядерного оружия (СТВТ). Эти же станции, кроме того, входят в глобальную систему сейсмических наблюдений GSN.

Мобильная группа наблюдательной сети представлена 40 сейсмическими станциями KARS, используемыми для организации наблюдений на выносных и временных профилях. Инфразвуковые станции² оснащены микроборографами и микрофонами с собственной и специальной системами шумоподавления, цифровыми станциями сбора данных;

- выполнение непрерывного круглосуточного мониторинга сейсмических событий (mb ≥4.0 при расстояниях более 3000 км, mb <4.0 при расстояниях менее 3000 км). Выполнение непрерывного круглосуточного мониторинга инфразвуковых акустических событий и метеорологических параметров атмосферы;
- создание и пополнение базы исходных записей казахстанских станций (подземных ядерных взрывов, химических взрывов, землетрясений) и результатов их обработки;
- развитие средств и методов обнаружения, локализации и идентификации сейсмоакустических событий (применение нейронных сетей, создание магнитудных шкал, использование соотношений динамических и кинематических параметров продольных и поперечных волн);
- модернизация оборудования для сейсмоакустического мониторинга (замена аналоговых средств регистрации цифровыми, создание телекоммуникационных сетей с использованием спутниковой системы связи между сейсмическими станциями и Центром данных);
- калибровка казахстанских сейсмических станций с использованием калибровочных химических взрывов 1999-2000 гг., проведенных для ликвидации ядерной инфраструктуры Семипалатинского испытательного полигона, а также по параметрам отобранных достоверных сейсмических событий;
- развитие³ дистанционного ионосферного способа контроля, обеспечивающего регистрации слабых ударных волн непосредственно над эпицентром взрыва радиофизическими методами.

Изучение строения земли для повышения достоверности и точности локализации, идентификации подземных ядерных взрывов на региональных и телесейсмических расстояниях. С этой целью ведется:

- совершенствование скоростной модели Центрального Казахстана (с привлечением записей 25-тонного и 100-тонного калибровочных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне 1998-1999 гг, данных ГСЗ, полученных в предыдущие годы, а также записей промышленных взрывов и местных землетрясений;
- изучение строения верхней мантии и литосферы с использованием обменных волн землетрясений.

Инженерная геофизика, и инженерная геология, благодаря применению широкого комплекса методов, обеспечивают:

- изучение динамики процессов и прогноз опасных геоэкологических проявлений на участках подземных ядерных взрывов (на Семипалатинском испытательном полигоне, на участках проведения мирных ядерных взрывов – на нефтяных месторождениях и др.);
- контроль за безопасной ликвидацией подземных ядерных инфраструктур (штолен и скважин бывшего ядерного полигона);
- успешное проведение учений Инспекции на месте;
- сейсмические исследования на участках проектирования и строительства особо ответственных объектов мониторинг состояния участков недр для обеспечения сейсмической безопасности крупных сооружений (действующего атомного реактора Алатау близ Алматы, участков для захоронения радиоактивных отходов на территории Семипалатинского испытательного полигона);
- использование результатов наблюдений за сильными движениями для разработки современных безопасных строительных норм республики Казахстан;
- использование данных сейсмического мониторинга для сейсмического районирования территории Казахстана, включая слабоактивные районы и районы возможного проявления техногенных землетрясений.

Выполнении этих работ осуществляется при активном сотрудничестве и поддержке казахстанских и зарубежных организаций, работающих в области сейсмологических и других геофизических методов исследований таких как: Институт сейсмологии, Институт ионосферы, Институт ядерной физики, Институт радиационной безопасности и экологии, Казахстан; Институт динамики геосфер, Объединенный институт Физики Земли, Россия; Ламонт-Дохертская земная обсерватория Колумбийского университета, IRIS, USGS, США; NORSAR, Norway., PTS CTBTO и др.

² Станция Боровое после восстановления работает в испытательном режиме

³ Совместно с Институтом ионосферы МОиН РК

Литература

- 1) Беляшова Н.Н., Тухватулин Ш.Т. Значение калибровочных взрывов, проводимых на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне, для задач мониторинга ядерных взрывов. Там же, с.23.
- 2) Верджино Э.С. Обеспечит ли ДОПИЯО и СЭК основу для эффективной проверки? Там же, с.41
- Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. Подготовительная комиссия ОДВЗЯИ..Вена,1998, с.165
- Ким В.Я., Беляшова Н.Н., Ричардс П.Дж. Совместная программа по эксплуатации сейсмических станций в Республике Казахстан. II Международная конференция по проблемам нераспространения ядерного оружия. Тезисы докладов. 14-17.09.1998 г.Курчатов, с. 42
- 5) Республиканская целевая научно-техническая программа «Развитие атомной энергетики в Казахстане».НЯЦ РК, 1999 г.
- 6) CTBTO PrepCom Open Web Site. http://www.ctbto.org/ctbto/summary.shtml
- 7) Такибаев Ж.С. Черепнин Ю.С. Атомная наука Казахстана и бывший ядерный полигон. Там же, с.19

Қазақстан Республикасы Ұлттық Ядролық Орталық Геофизикалық таратпау аспектілерінің мәселелері

¹⁾Черепнин Ю.С. ²⁾Беляшова Н.Н. ¹⁾Тухватулин Ш.Т.

¹⁾ Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық орталығы ²⁾ Геофизикалық зерттеу институты

Мақалада ҚР ҰЯО- ның қызметі, сондай-ақ Қазақстан Республикасында конверсия және ядроны таратпау мәселелерінің геофизикалық аспектіге қатысы туралы ақпараттар келтірілген.

National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan. Geophysical Research and Problems of Non-proliferation

¹⁾ Yu. S. Cherepnin, ²⁾ N.N. Belyashova, ¹⁾ Sh. T. Tukhvatulin

¹⁾ National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan ²⁾ Institute of Geophysical Research

The paper gives us information on the activity of National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan, concerning geophysical aspects of problem of nuclear non-proliferation and conversion in Republic of Kazakhstan. УДК 622.236/621.039.9(24)

ИНСТИТУТ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ. НОВЫЕ - СТАРЫЕ ЗНАКОМЫЕ

Тюпкина О.Г.

Ассоциация "Институт нераспространения"

Ассоциация «Институт нераспространения» создана как независимая структура, которая поддерживает режимы ядерного нераспространения и конверсии в Казахстане, содействует осуществлению проектов по нераспространению в национальных и международных интересах и выполняет информационную поддержку деятельности по нераспространению и конверсии.

Ассоциация "Институт нераспространения" создана как независимая структура, которая поддерживает режимы ядерного нераспространения и конверсии в Казахстане, содействует осуществлению проектов по нераспространению в национальных и международных интересах и выполняет информационную поддержку деятельности по нераспространению и конверсии.

Все страны бывшего Советского Союза получили в наследство неадаптированную к нуждам рынка экономику и отдельные фрагменты производств и научно-технических комплексов. С этой точки зрения Казахстану досталось богатое наследие от бывшей военной индустрии СССР в виде полигонов испытаний различного рода оружия массового уничтожения, а также научнотехнических комплексов их разработки. Это предопределило, что одними из основных стратегических направлений внешней и внутренней политики Казахстана стали нераспространение и конверсия. Нераспространение оружия массового уничтожения, материалов и технологий двойного назначения является одним из основных механизмов обеспечения как национальной, так и международной безопасности. Конверсия бывших военных комплексов решает проблемы ликвидации угрозы, оздоровления экологической ситуации и использования научно-технического потенциала для нужд мирных производств.

Деятельность в области нераспространения и конверсии – это многофакторный процесс, включающий в себя различные аспекты, начиная от создания соответствующих государственных и негосударственных структур и заканчивая разработкой необходимых методик и технологий. Сложившаяся в настоящее время ситуация в азиатском регионе, а также потребность в структурах, оперативно реагирующих на мировые тенденции и события, способных анализировать, прогнозировать и предлагать действенные способы устранения возможных опасностей в области нераспространения, показывают своевременность и актуальность создания в Казахстане Института нераспространения. Ассоциация "Институт Нераспространения" основана 18 августа 1998 года. Идея создания независимой структуры для поддержания режимов нераспространения в Казахстане возникла в 1996 году на II Заседании Казахстанско-Американской Совместной Комиссии. Следуя рекомендациям международных экспертов из США, Швеции и России, Казахстанский Институт Нераспространения является неправительственным некоммерческим объединением юридических лиц в форме ассоциации.

Ассоциация "Институт нераспространения" сформирована на базе структур, занимающихся научно-технической деятельностью в области нераспространения. В число учредителей Института вошли Национальные центры Казахстана:

- РГП "Национальный Ядерный Центр Республики Казахстан",
- Национальный Центр по Биотехнологиям Республики Казахстан,
- Национальный Центр радиоэлектроники и связи Республики Казахстан.

Основными целями деятельности Института являются:

- изучение и развитие процессов нераспространения, используя научно-технический потенциал и методы политического анализа в сфере нераспространения ядерного, биологического и химического оружия, материалов и технологий двойного использования;
- оказание содействия в ликвидации и конверсия инфраструктуры ядерного, биологического, химического оружия;
- оказание содействия в реализации мер поддержания международных режимов в области нераспространения и контроля за вооружениями; использования материалов и технологий двойного назначения в мирных целях; защиты человека и окружающей среды от техногенного воздействия при использовании технологий риска;
- координация деятельности участников Ассоциации;
- повышение эффективности международного сотрудничества в сфере нераспространения и выполнения совместных проектов.

Основными направлениями деятельности Института являются:

- исследования, разработка и реализация перспективных научно-технических проектов, содействие промышленным технологиям, связанным с проблемами нераспространения и охраны окружающей среды;
- конверсия бывших военно-технических комплексов и использование научно-технического и интеллектуального потенциала этих комплексов для нужд народного хозяйства;
- экспертиза проектов, нормативных и законодательных ных документов, регламентирующих деятельность стран в сфере нераспространения;
- анализ и моделирование политических, демографических и социальных процессов в регионах "риска";
- организация республиканских и международных семинаров, встреч, конференций и программ обучения;
- издание печатного, информационно-справочного материала, производство и размещение теле-радио продукции;
- международная деятельность.

Приоритетом деятельности Института является научно-техническая поддержка развития режимов нераспространения. Деятельность Института опирается на решение задач, имеющих в качестве конечного результата конкретный продукт – интеллектуальный, технологический или научный.

Основные стратегические задачи, которые ставит перед собой Институт:

- анализ ситуации в Казахстане;
- выполнение научно-технических проектов в поддержку режимов нераспространения;
- содействие выполнению международных договоров в области CTR;
- содействие в области развития систем оперативного реагирования;
- подготовка информационных аналитических изданий;
- обсуждение проблем нераспространения на международных встречах..

За время своего существования Институт выполнил работы по ряду договоров и контрактов с казахстанскими и зарубежными партнерами: подготовка отчетов о выполнении проектов Программы Совместного Сокращения Угрозы (CTR); обработка и анализ данных дистанционного зондирования, полученных во время проведения миссии AMPS летом 1997г.; совместно с Центром Совместного Мониторинга Сандийских Национальных Лабораторий США провел (29.06-3.07.99) Центрально-Азиатский Семинар по мониторингу; организовал подготовку рабочих документов и программу встреч с делегацией Генерального Совета Всемирных Миссий Объединенной Методистской Церкви США (19-24.08.99); провел ряд других мероприятий, лежащих в рамках своей деятельности. Общий объем работ за 1999 год составил более 15.0 млн. тенге, из которых 56% составляют расчеты с субподрядными организациями и временными

творческими коллективами. Для выполнения проектов Институт активно привлекает к работе специалистов из разных областей. Являясь одним из учредителей Института, а также стратегическим партнером, Национальный Ядерный Центр Республики Казахстан участвует практически во всех проектах Института. Следует отметить проекты, связанные с развитием и демонстрацией методик контроля за проведением ядерных испытаний в рамках Договора о Всеобъемлющем Запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Их реализация:

- способствует развитию технологий контроля ДВЗЯИ в целях сохранения устойчивого мира;
- позволяет Правительствам стран-участников иметь лидирующие позиции в области контроля ДВЗЯИ, демонстрируя свою приверженность стратегии запрещения ядерных испытаний и возможности мирного использования бывших оборонных комплексов;
- часть инфраструктуры ядерных испытаний бывшего Семипалатинского испытательного полигона не была задействована для проведения испытаний. Это дает возможность проведения крупномасштабных калибровочных и других экспериментов в поддержку ДВЗЯИ без расходов на строительство специализированных подземных шахт и сооружений;
- правительство Казахстана заинтересовано в переориентации бывших военных комплексов на мирную деятельность. Семипалатинский полигон все больше становится международным мирным полигоном, "нейтральной полосой" решения "чувствительных" вопросов деятельности ядерных стран в области нераспространения, предлагая участие или присутствие наблюдателей от различных стран в экспериментах и программах, проводимых на его территории.

Эксперименты по проведению калибровочных взрывов химических ВВ мощностью до 100 тонн в скважинах на площадке Балапан и в штольнях горного массива "Дегелен" на бывшем СИП были начаты в 1998 году и продолжаются в настоящее время.

В связи с этим, летом 1999г. было подписано Соглашение между Подготовительной Комиссией Организации Договора о Всеобъемлющем Запрещении ядерных испытаний и Министерством Науки и Высшего образования Республики Казахстан относительно проведения эксперимента Инспекции на местах на территории СИП. По приглашению Республики Казахстан с 1 по 11 октября 1999 года на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне был проведен эксперимент инспекции на местах. Это первый эксперимент такого рода, проводимый в поддержку Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, предоставивший экспертам Организации ДВЗЯИ возможность отработки методики проведения инспекции на местах в реальных условиях. Основой для данного эксперимента послужил 100-тонный неядерный калибровочный взрыв, проведенный в шахте горного массива Дегелен. Инспекционная команда состояла из 12 участников-представителей Китая, Франции, Израиля, Казахстана, России, Великобритании, США и Технического Секретариата Организации ДВЗЯИ. Институт Нераспространения, совместно с Институтом Геофизических Исследований НЯЦ РК, обеспечил организацию, проведение и техническую поддержку на всех этапах эксперимента, по окончании эксперимента была организована прессконференция участников с представителями средств массовой информации.

В настоящее время в рамках Института выполняются следующие проекты и контракты:

- Издание Информационного бюллетеня Министерства энергетики, индустрии и торговли Республики Казахстан. Данный бюллетень учрежден в целях пропаганды новейших достижений в экономике и науке, повышения уровня информированности общественности, обсуждения актуальных проблем энергетики, индустрии и торговли, проведения опросов общественного мнения по проблемам Министерства и обеспечения доступности информации.
- Формирование технической основы для создания 2. базы данных по нераспространению биологических материалов двойного использования в Республике Казахстан. Участниками данного проекта являются предприятия, занимающиеся вопросами биотехнологий. Целью данного проекта является создание телекоммуникационной системы, обеспечивающей работу данных предприятий в глобальной сети Интернет, а именно: возможность создания Web-серверов, организации собственных почтовых ящиков, использования технологии IР-телефонии для ведения международных и междугородних переговоров. Данный проект является первым этапом для решения задачи, порученной Институту: создание распределенной базы данных по проблемам биотехнологий в Республике Казахстан.
- Контракт на демонтаж оборудования и реконструкцию зданий в целях усиления физической и биологической защиты объектов Научно-

исследовательского сельскохозяйственного Института (НИСХИ, Отар). НИСХИ является генеральным субподрядчиком Оборонного Агентства по Сокращению Угрозы (DTRA) Департамента Обороны США по данному контракту. Принимая во внимание, что комплекс объектов НИСХИ находится в г.Отар, в 200 км. от г.Алматы, Институт Нераспространения выполняет функции сотрудничеству координатора по между участниками Контракта, осуществляет согласование документов в различных органах, в том числе надзорных, занимается оформлением таможенных процедур, техническим работ, сопровождением оформлением И переводонущенствойсловутентасцоликид. деятель-

переводокументновкдожументноциалысида. Деятельность, направленную на развитие режимов нераспространения в Республике Казахстан, и надеется принять активное участие в реализации проектов по:

- проведению учебной инспекции на местах группой экспертов Организации ДВЗЯИ;
- созданию базы данных по проблемам нераспространения;
- эпидемиологическим исследованиям регионов "риска" РК;
- мониторингу водного бассейна одной из трансграничных рек в целях нераспространения;
- совместному мониторингу переноса ядерных продуктов по воздуху;
- организации информационной поддержки проектов СТR в Казахстане.

В заключение следует отметить ключевую роль проблем нераспространения и конверсии в деле сохранения мира. Только совместными усилиями можно добиться обеспечения безопасности в рамках национальных и международных интересов и в полной мере предотвратить возможные негативные последствия технологического прогресса. Здравый смысл и профессиональный подход, подчиненные главной цели – сохранению человека и среды его обитания, помогут нам найти необходимые решения и реализовать их.

Таратпау институты. Жаңа-ескі бейнелер

Тюпкина О.Г.

Таратпау институтың қауымдастығы

«Таратпау институтың қауымдастығы- Қазақстанда конверсия және ядроны таратпау режимін қолдайтын, ұлттық және халықаралық мүддеде таратпау жобаларының барысына әсерін тигізетін, таратпау және конверсия қызметіне ақппараттық қолдау жасайтын тәуелсіз құрылым.

Institute of Non-Proliferation. New – Old Acquaintances

O. G. Tyupkina

Institute of Non-proliferation" Assosiation

"Institute of Non-proliferation" Assosiation was created as an independent structure, which supports regimes of nuclear non-proliferation and conversion in Kazakhstan, assists in implementation of the projects for non-proliferation in the national and international concerns, and does information support of non-proliferation activity and conversion.

Раздел 1 – Геофизический контроль ядерных испытаний

УДК 550.34(574):504.064.36(100)

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Беляшова Н.Н., Малахова М.Н.

Институт геофизических исследований

В статье описывается состояние станций казахстанской сети мониторинга и проводимая модернизация, которая обеспечивает возможность передачи и получения сейсмической информации в режиме реального времени, что важно не только для мониторинга ядерных испытаний, но и для проблемы сейсмической безопасности.

Сейсмологическая сеть контроля ядерных испытаний Национального ядерного центра Республики Казахстан включает в себя три площадные расстановки сейсмических станций: КУРЧАТОВ в восточном Казахстане, БОРОВОЕ в северном Казахстане, МАКАНЧИ в юго-восточном Казахстане, и одну трехкомпонентную сейсмическую станцию АКТЮБИНСК в западном Казахстане (рис.1).



Рис. 1. Сейсмологическая сеть контроля ядерных испытаний НЯЦ РК (АКТО (АКТ)-Актюбинск, BRVK (BRV)-Боровое, (CHK)-Чкалово, (VOS)-Bocmoчное, (ZRN)-Зеренда, KURK (KUR)-Курчатов, МАК, (MAKZ)-Маканчи, (TLG)-Талгар, NDS-Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации. (коды станций в составе Международной системы мониторинга ДВЗЯИ – без скобок, в составе Глобальной сейсмической сети IRIS/IDA- в скобках))

Основу сейсмологической сети составили геофизические обсерватории (ГО) Боровое, Курчатов, Актюбинск, Маканчи, созданные в советское время специально для контроля за ядерными испытаниями, проводимыми в разных районах мира. В

1994 г. после вывода с территории Казахстана российских воинских частей, в ведении которых находились геофизические обсерватории, они были переданы Институту геофизических исследований НЯЦ РК. Советская наука имела сильные традиции в разработке сейсмометров, в развитии эффективных методов мониторинга. Записи сейсмограмм проводились в течение 1960-1992 гг., цифровых сейсмограмм в геофизической обсерватории Боровое - начиная с 1966 года. Расположенные внутри огромного континента, в районах с очень низким уровнем сейсмических шумов, в пределах массивов, сложенных горными породами с прекрасными передаточными характеристиками, сейсмические станции Казахстана идеально подходят для осуществления мониторинга на региональных и телесейсмических расстояниях.

Сейсмологическая сеть НЯЦ РК, действующая в настоящее время, - это результат международного сотрудничества при ее восстановлении и модернизации. Летом 1994 года в рамках «Соглашения по вопросам сотрудничества в области мониторинга подземных ядерных испытаний» между университетов Консорциумом IRIS CIIIA И НЯЦ РК. начала действовать Совместная Сейсмическая Программа (JSP). Основная идея Программы. - это конструктивное использование оставленных в Казахстане средств мониторинга ядерных испытаний, а именно, шахт, скважин, сотен километров коммуникаций, сейсмометров, переоснащение станций мощными компьютерами, цифровыми системами получения данных, телекоммуникациями, программными продуктами. В соответствии с JSP в период с июля по октябрь 1994 г. в геофизических обсерваториях Актюбинск, Боровое, Курчатов, Маканчи, а также в Талгарской Комплексной Сейсмологической Экспедиции (южный Казахстан), находящейся под управлением Объединенного Института Физики Земли РАН, были размещены 8 широкополосных трехкомпонентных сейсмографических станций: АКТ, BRV, ZRN, VOS, CHK, KUR, MAKZ, TLG. Они были оснащены сейсмометрами STS—2 и CMG—3 и цифровыми системами сбора данных типа IRIS/PASSCAL с разрешением 16 или 24 бита (Рис.2). Установленные технические средства обеспечили возможность ведения записи сейсмических данных на диск 24 часа в сутки со скоростью опроса 40 отсчетов в секунду.



Рис. 2. Оборудование ГО Курчатов

В октябре 1994 года в ГО Курчатов была восстановлена уникальная сейсмическая группа «КРЕСТ» (рис.3), представленная двумя ортогональными плечами, каждое из которых включает в себя по одиннадцать скважинных однокомпонентных сейсмических датчиков. Расстояние между элементами группы 2.25 км, общее число элементов группы - 21. Группа относится к среднебазовым с общим апертурным размером 22.5 км. Глубина скважин для размещения сейсмических датчиков меняется от 35 м до 55 м в зависимости от глубины залегания коренных пород.



Рис. 3. Сейсмическая группа «КРЕСТ» ГО Курчатов.

Группирование сейсмических станций, концепция применения которого в целях мониторинга ядерных испытаний впервые была предложена на Конференции экспертов-сейсмологов в Женеве в 1958 г, обеспечивает, во-первых, уменьшение отношения сигнал/шум, что очень важно для обнаружения слабых сейсмических сигналов, во-вторых, создает возможность определения направления распространения сейсмических волн, что позволяет изучать рассеивающие источники на пути их распространения и негомогенную структуру среды.

Система сбора, анализа и архивации оцифрованных данных, получаемых сейсмической группой «КРЕСТ», модернизирована посредством установки 32-канального 16-битового АЦП модели IASPEI и двух рабочих станций UNIX. Емкость внешних дисков (4 Gb) позволяет хранить записи семи последних дней. Программное обеспечение, поддерживающее рабочие станции UNIX и PC, предоставлено специалистами IRIS Консорциума в рамках JSP для определение азимута и кажущейся скорости выхода сейсмических волн.

Большебазовая система ГО Боровое (Рис.4) представляет собой систему типа «ТРЕУГОЛЬНИК», состоящую из четырех пунктов: Боровое - центральный, Зеренда, Восточное, Чкалово – в вершинах треугольника. Вокруг каждого из периферийных пунктов расположено по шесть пунктов с однокомпонентными сейсмометрами (так называемые «ОЖЕРЕЛЬЯ»). Диаметр подгрупп «ОЖЕРЕЛИЙ» равен 6 км. Общий апертурный размер системы – 135 км.



Рис. 4. Большебазовая система ГО Боровое.

История цифровых систем, работающих в ГО Боровое, началась в 1965 году, когда станция получила статус обсерватории Института Физики Земли, АН СССР. В общей сложности в ГО Боровое работало 50 цифровых каналов с общим динамическим диапазоном 135 dB. В архиве обсерватории - цифровые данные ядерных взрывов, проводимых как на региональных (Семипалатинск), так и телесейсмических (Невада) расстояниях. Перезапись уникальных цифровых данных в форматы, общепринятые в мировом сейсмологическом сообществе, является одной из важнейших задач в связи с Договором о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных Испытаний. В 1994 году в обсерватории установлена трехкомпонентная широкополосная сейсмическая станция Глобальной Сейсмической Сети IRIS/IDA. Этот тип станций оснащен широкополосными сейсмоприемниками STS-VBB и вертикальными короткопериодными сейсмоприемниками GS-13.

Станция автоматически записывает несколько потоков 24-битовые цифровых данных на магнитную ленту со скоростью опроса 20, 1 и 0.1 отсчетов в секунду. Кроме того, по отдельным каналам информация записывается на диск рабочей станции UNIX и используется для первичного анализа.

Весной 1995 года в ГО Курчатов была установлена цифровая широкополосная станция IRIS/IDA (Рис. 4).

Осенью 1996 года начала работать трехкомпонентная станция IRIS/USGS в Маканчи. Станция оснащена сейсмометрами STS-1, STS-2, GS-13, установленными на отметке порядка 10 м от поверхности земли.



Рис. 4. Станция GSN IRIS/IDA.

Таким образом, в течение 1994-1996 гг. в рамках JSP проведено техническое переоснащение двух групп станций Курчатов и Боровое и двух трехкомпонентных станций Актюбинск и Маканчи, обеспечившее их включение в Глобальную сеть сейсмических наблюдений (GSN) и проведение экспериментов совместно с Ламонт-Дохерти обсерваторией Земли Колумбийского университета США (LDEO).

В 1996 г, согласно Протокола к Договору о Всеобъемлющем Запрещении Испытаний Ядерного Оружия (*CTBTO*), четыре станции НЯЦ РК включены в Международную Систему Мониторинга (*IMS CTBTO*). Станция в Маканчи является сейсмической группой первичной сети (MAK, PS23), три остальные входят во вспомогательную группу станций: сейсмогруппа в Боровом (BRVK, AS57), сейсмогруппа в Курчатове (KURK, AS58) и трехкомпонентная станция в Актюбинске (AKTO, AS59) – рис. 1.

С апреля 1997 г. Институт Геофизических Исследований НЯЦ РК совместно с Институтом Динамики Геосфер, РАН (ИДГ РАН), Талгарской Комплексной Сейсмологической Экспелицией Объединенного Института Физики Земли (ОИФЗ РАН) и LDEO Колумбийского университета США осуществляют проект Международного Научно-технического Центра (ISTC K-063-97). Основной целью этого проекта является дальнейшая интеграция сейсмической сети НЯЦРК в Международную Систему Мониторинга, создаваемую по Договору о Всеобъемлющем Запрещении Испытаний Ядерного Оружия. По проекту ISTC К-063-97 в настоящее время проводится модернизация сети сейсмических станций НЯЦРК в соответствии с требованиями, предъявляемыми к станциям IMS, включая телеметрическую передачу и прием цифровой информации с использованием спутниковых систем связи. Работы поддерживаются Временным техническим секретариатом Подготовительной Комиссии СТВТО и Министерством обороны США.

В 1999 году в г.Алматы в составе Института Геофизических исследований НЯЦ РК создан Центр Сбора и Обработки Специальной Сейсмической Информации (ЦСОССИ). В его задачу входят сбор, обработка и хранение сейсмической информации от всех пунктов наблюдения, составляющих сейсмическую сеть контроля за ядерными испытаниями НЯЦ РК, а также обмен данными с Международным Центром Данных (*IDC*) в Вене и заинтересованными исследовательскими центрами.



Рис.5. Новая сейсмическая группа PS23 МАК, Маканчи (SP – сейсмоприемники)

Для удовлетворения техническим требованиям, предъявляемым к станциям вспомогательной сети IMS, все пункты большебазовой системы Боровое оснащены автоматическими станциями Quanterra. Ведется подготовка двух спутниковых каналов связи: Боровое - Центр данных (г.Алматы) - IRIS (США), LDEO (США), а также Курчатов - Центр данных (г.Алматы) - IRIS (США), LDEO (США).

В настоящее время в Маканчи закончена установка первичной площадной сейсмической группы, состоящей из 10 элементов (рис.5): один широкополосный трехкомпонентный сейсмометр и 9 однокомпонентных вертикальных короткопериодных скважинных сейсмометров, расположенных «ожерельем», размером 4 км.

Установлено оборудование для спутниковой системы связи с Центром данных в Алматы и IDC в

Вене. Проведено тестирование и начата пробная эксплуатация станции. Проект по строительству и оснащению станции осуществляется НЯЦ РК совместно с АFTAC, США, и Временным Техническим Секретариатом СТВТО.

Научный и технический потенциал НЯЦ РК, развиваемый при поддержке международного сообщества, позволяет надеяться, что станции сейсмической сети НЯЦ РК явятся весомым вкладом как в Международную систему мониторинга ядерных испытаний, так и в Национальную систему мониторинга сейсмической опасности.

ҚР ҰЯО сейсмологиялық жүйесі - халықаралық жүйе мониторингісінің құрамдас бөлігі

Беляшова Н.Н., Малахова М.Н.

Геофизикалық зерттеулер институты

Мақалада Қазақстан мониторингі жүйесіндегі станциялардың қазіргі жағдайы және белгілі уақыт режимінде сейсмикалық ақпараттарды қамтамасыз ететін модернизация баяндалады. Бұл ядролық зерттеу мониторингісіне ғана емес, сеймикалық қауіпсіздік мәселесінде де маңызды.

Seismological Network of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan as a part of International Monitoring System

N.N. Belyashova, M.N. Malakhova

Institute of Geophysical Research

The paper describes the present-day condition of Kazakhstan monitoring network stations and modernization now being carried out. The purpose is to transmit and receive seismic information in a real time mode, which is important both for monitoring of nuclear explosions, and for problems of seismic hazard. УДК 550.342.001.57

МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «МАКАНЧИ»

Комаров И.И., Синева З.И., Михайлова Н.Н., Абдрахманова Г.С.

Институт геофизических исследований

По цифровым данным геофизической обсерватории «Маканчи» изучен сейсмический шум в широком, более шести порядков значений, частотном диапазоне. Спектр плотности сейсмического шума сопоставлен с моделями сейсмического шума, полученными для Глобальной сети сейсмических наблюдений (GSN IRIS).. Оценены параметры, характеризующие вариации сейсмического шума под воздействием техногенных и природных факторов.

Станция Маканчи (MAKZ) расположена в Восточном Казахстане (рис. 1), примерно в 2.5 км от поселка Маканчи. Ее координаты: широта -46°48 '29 "N, долгота – 81°58 '37"Е, высота над уровнем моря - 600 м. Станция входит в Глобальную сеть сейсмических наблюдений (GSN IRIS), а также в состав первичной сети (PN) Международной системы мониторинга (IMS), учрежденной для контроля за соблюдением Договора о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных Испытаний (СТВТ). Географическое положение станции удобно, с одной стороны, для контроля за сейсмическими событиями, происхо-дящими на региональных расстояниях, например, на полигоне Китая Лобнор, находящемся примерно в 700 км от станции. С другой стороны, оно удобно для изучения сейсмичности близлежащих районов Джунгарского Алатау и Алтая. В последнее деся-тилетие здесь отмечено усиление сейсмической активности, что проявилось, например, в сильных Зайсанских землетрясениях 1990 г. (М=6,9 и М=6,3). Однако систематических инструменталь-ных наблюдений в этой части Казахстана до сих пор практически не проводилось. Публикуемые каталоги землетрясений не содержат информации о сейсмичности этой территории. Поэтому работа станции Маканчи имеет важное значение как для мониторинга подземных ядерных взрывов, так и для мониторинга сейсмической ситуации в близлежащих районах.

Основной целью настоящей работы являлось изучение динамических, прежде всего спектральных, характеристик микросейсми-ческого шума в районе обсерватории Маканчи. Структура сейсмических помех, его временные вариации позволят с большей достоверностью судить о чувствительности выполняемых наблюдений в разных частотных диапазонах. Учет выявленных закономерностей при анализе записей сейсмического сигнала позволит повысить эффективность использования станции при решении задач мониторинга.



Рис. 1. Расположение станции Маканчи.

Характеристика сейсмической аппаратуры и методика исследований

Сейсмическая информация, регистрируемая обсерваторией Маканчи, разнообразна как по диапазону эпицентральных расстояний событий, так и по диапазону их интенсивности. Это обеспечивается использованием современной регистрирующей и обрабатывающей аппаратуры. С 1994 г. по 1996 г. здесь была установлена сейсмическая станция Passcal с сейсмоприемниками STS-2. В октябре 1996 г. она заменена станцией IRIS-2 GSN с сейсмоприемниками STS-1 и STS-2, которая функционирует и в настоящее время. Для записи сильных движений использу- ется акселерометр FBA-23. Сейсмоприемники располагаются на глубине порядка 15м в штольне, пройденной в андезитовых лавах. Аппаратура обеспечивает регистрацию в одном непрерывном широкополосном канале всего спектра сейсмических сигналов, порождаемых событиями различной магнитуды. Так, основной канал VBB сейсмометра STS-1 регистрирует со-бытия в диапазоне временных периодов от 0,1 до 100 000 с и имеет динамический диапазон 138 дБ. Однако, несмотря на беспрецедентные полосу пропускания и динамический диапазон, канал не охватывает высокочастотную часть спектра, выше 7 Гц, а также не регистрирует сильные дви-жения грунта. Поэтому на станции дополнитель-но работают короткопериодный канал VSP сейсмометра STS-2 и канал акселерометра FBA-23 низкой чувствительности LG.

Амплитудно-частотные характеристики всех трех типов сейсмометров STS-1, STS-2, FBA-23, приведены на рис. 2.



Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики сейсмоприемников, установленных на станции Маканчи.

Сведения о сейсмических каналах, работающих на станции Маканчи, приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, помимо основного канала VBB, на станции функционируют длиннопериодный (LP), сверхдлиннопериодный (VLP) и ультрадлиннопериодный (ULP) каналы. Эти каналы не являются самостоятельными, они обеспечивают информацию путем преобразования данных канала VBB последовательной фильтрацией высоких частот и уменьшением числа отсчетов в секунду.

Каждый канал регистрирует сейсмические сигналы по трем компонентам: вертикальной (Z) и двум горизонтальным, ориентированным в направлениях север-юг (N) и восток-запад (E).

Для изучения сейсмического шума были использованы записи станции за период с октября 1996 г. по декабрь 1997 г. Структура микросейсмических помех изучалась путем построения спектров плотности сейсмического шума по каналам записи VSP, VBB и LP для всех трех компонент. Пример исходной трехкомпонентной сейсмической записи по каналу VBB приведен на рис.3.

Уже предварительный визуальный анализ сейсмограмм показал наличие на горизонтальных компонентах интенсивных длиннопериодных колебаний в дневное время, имеющих, как это видно на рис.3, форму «бабочки». В связи с этим, спектральная плотность сейсмического шума в дальнейших исследованиях рассчитывалась отдельно для дневных и ночных временных отрезков записей.

Канал	Число отсчетов в	Сейсмометр	Ррежим записи	Примечание
	секунду			
VSP	80	STS-2	триггерный	VSP
SSP	40	STS-2	непрерывный	VSP
VBB	20	STS-1	непрерывный	VBB
LP	1	STS-1	непрерывный	производный канал от VBB
VLP	0.1	STS-1	непрерывный	производный канал от VBB
VLP	0.01	STS-1	непрерывный	производный канал от VBB
LLG	80	FBA-23	триггерный	низкочувствительный (LG)
LLP	1	FBA-23	непрерывный	низкочувствительный (LG)

Таблица 1. Параметры сейсмических каналов станции Маканчи

Основным требованием при отборе участков записи для анализа являлось отсутствие в данном временном отрезке сейсмических событий или «хвостов» предшествующих сильных событий. Для этого использовались каталоги землетрясений мира, а также бюллетени землетрясений сейсмической станции Северного Тянь-Шаня «Талгар». По выбранным таким образом отрезкам записей длиной 8-12 часов сканировались данные канала LP. Далее просматривались записи каналов VBB и VSP, из которых отбирались участки длиной в один час (канал VBB) и 0,5 часа (канал VSP) - самые высокочастотные во всем диапазоне, свободные от аппаратурных «выскоков» и влияния даже слабых сейсмических событий.

Таким образом было отобрано всего около 40 дневных записей для каналов VBB и LP и при-

мерно столько же ночных записей. Для канала SP отобрано 20 ночных и 14 дневных записей.

Спектральная плотность сейсмического шума вычислялась по методике, приведенной в [1,с. 425-430]. Основные ее положения сводятся к следующему:

- Получаемые спектры корректируются с учетом амплитудно-частотных характеристик регистрирующих приборов.
- Расчеты производятся по сейсмограммам с последующим их пятидесятипроцентным перекрытием. Спектральные оценки по участкам перекрытия осредняются (для станции Маканчи в расчетах использовались сейсмограммы длиной 8192 отсчета, что соответствовало 7 минутам записи VBB-канала и 2,5 часам LP-канала).

3. Спектр вычисляется с применением быстрого преобразования Фурье.

Расчеты по этой методике позволили оценить спектральную плотность сейсмического шума в следующих частотных диапазонах:

- канал VSP 0.05 ÷ 200 сек;
- канал VBB 0.1 ÷ 400 сек;
- канал LP 2 ÷ 8000 сек;
- канал VLP 20 ÷ 80 000 сек.



Рис 3. Характерный пример исходной записи. Длина записи – 24 часа. Начало записи соответствует 6 часам местного времени. Сверху вниз компоненты: горизонтальная (север –юг), горизонтальная (восток-запад), вертикальная.

Результаты исследований

На рис.4 приведена модель сейсмического шума станции Маканчи - сводные кривые спектральной плотности сейсмического шума для трех его компонент в диапазоне временных периодов от 6*10⁻² с до 105 с, охватывающем более шести порядков значений. Как видно из рисунка, в диапазоне временных периодов до 15с. значения спектральной плотности вертикальной и горизонтальных компонентов шума относительно близки друг другу – расхождение между ними не превышает 5-7 дБ. С увеличением значений временного периода, в области значений >15с, отмечается существенное различие в уровне спектральной плотности сейсмического шума для различных компонент. Наиболее спокойна Z-составляющая, что согласуется с данными по другим сейсмическим станциям GSN [2].

Наряду с моделью сейсмического шума станции Маканчи, на рис.4 приведены аналогичные данные, полученные для представительных экспериментальных цифровых записей Глобальной сейсмической сети, заимствованные из [2]. Верхняя и нижняя границы модели сейсмического шума по мировым данным показаны сплошными черными линиями. По модели сейсмического шума для станции Маканчи четко выделяются главные экстремумы спектральной плотности шумов, отмечаемые и по мировым моделям: при T≈5 с, при T=18 с. Они объясняются естественными микросейсмами Земли, регистрируемыми практически в любой точке Земного шара [2]. Выявлен локальный максимум сейсмических шумов для временного периода 0,35 с, который специфичен для условий этой станции и, по-видимому, связан с техногенными помехами. Его проявление заметнее в дневное время и ослабевает в ночное. В области периодов от 0.5 с до 20 с значения спектральной плотности шумов на станции Маканчи близки к нижнеуровневой модели, что очень важно, поскольку чувствительность станции в этой частотной области в значительной степени определяет ее эффективность при решении задач мониторинга сейсмических событий на региональных расстояниях.

Результаты оценки сейсмического шума на станции Маканчи сравнивались с аналогичными данными для двух ближайших к ней станций, входящих в систему GSN IRIS и расположенных в зоне Тянь-Шань - Ала-Арча, Кыргызстан, и Урумчи, Китай. Аппаратура, используемая на этих станциях, аналогична установленной на станции Маканчи, месторасположение станций - коренные породы. В целом, станции близки друг другу по уровню шумов при регистрации сигналов на периодах менее 20 с. При регистрации сейсмических сигналов в области наиболее высоких частот (~10 Гц) станция Маканчи уступает станции Ала-Арча, но значительно выигрывает относительно станции Урумчи. На станции Маканчи отсутствует повышенный уровень сейсмического шума на периодах в районе значения 1.6 с, четко проявляющийся на всех компонентах станции Ала-Арча, объясняемый штормовыми явлениями озера Иссык-Куль. В области этих значений периодов уровень сейсмического шума на станции Маканчи ниже на 10 дБ, чем на станции Ала-Арча.



Рис 4. Сводная кривая спектральной плотности сейсмического шума по трем компонентам, составленная объединением данных, полученных по записям всех каналов.

Однако при регистрации наиболее длиннопериодных сигналов станция Маканчи проигрывает этим станциям из-за имеющих место в дневное время колебаний на горизонтальных компонентах.

Для более детального изучения вариаций сейсмического шума, вызванных как техногенными, так и природными факторами, были построены кривые спектральной плотности отдельно по дневным и ночным периодам наблюдений. В дневной период включены наблюдения по местному времени от 7 до 19 часов, в ночной – от 19 часов вечера до 7 часов утра. На рис.5 для сравнения даны результаты определения спектральной плотности в дневное и ночное время для вертикальной и одной из горизонтальных компонент (север-юг).

Устанавливаются следующие закономерности. Для вертикальной компоненты уровень сейсмических шумов станции в дневное время увеличивается только в области наиболее высоких частот, при значениях периодов 0,06 - 0,8 с. В остальных случаях значимого различия интенсивности шума в дневное и ночное время не отмечается. Для горизонтальных компонент в дневное время, также как для вертикальной компоненты, отмечается четкое усиление высокочастотных колебаний в том же диапазоне (0,06 - 0,8 с). Кроме того, по обеим горизонтальным составляющим дневной сейсмический шум на 5-10 дБ превышает ночной на периодах, превышающих 20 с - усиление длиннопериодных помех приурочено к рабочему времени дня. Помимо отмеченного, по всем трем компонентам наблюдается четкое увеличение сейсмических шумов при

временных периодах 0,3-0,35 с, что нами объясняется как вызванное местными техногенными факторами. Анализ временных суточных вариаций высокочастотной составляющей сейсмического шума показал, что абсолютный максимум интенсивности приходится на двенадцать часов местного времени. - эффект техногенного влияния на сейсмический фон. В диапазоне временных периодов 0.8- 20 с нет зависимости интенсивности сейсмического шума от времени суток ни по одной из компонент.





Рис 5а, б. Сравнение кривых спектральной плотности сейсмического шума - дневного и ночного: а) горизонтальная компонента; б) для вертикальной компоненты.

Интерес представляет изучение характера вариаций уровня спектра шума во всем частотном диапазоне в разные сутки года, а также расчет наиболее вероятной спектральной кривой шума.

Анализ проводился отдельно по дневным и ночным отрезкам сейсмограмм. Для каждого частотного диапазона построены распределения значений уровня спектра плотности сейсмического шума.

Эмпирические распределения описывались двумя параметрами, не зависящими от вида функции распределения: медианой MeS(T), где S(T) – спектр шума, и отклонениями от нее вправо и влево в пределах 90% интервала: $\sigma^{-}(T)$ и $\sigma^{+}(T)$. Построенные медианные спектры MeS(T), а также кривые

 $[MeS(T)+ \sigma^{+}(T)]$ и $[MeS(T)- \sigma^{-}(T)]$ представлены на рис. 6 и 7.

Можно отметить, что значения отклонений σ^+ и σ^- существенно зависят от изучаемого частотного диапазона. Они минимальны для той области временных периодов, где фон наиболее близок к нижней границе мировой модели шума – от 2,5 до 10 с. Кривая [MeS(T) - σ^- (T)] для Маканчи в этом диапазоне почти совпадает с мировой модельной кривой. За пределами этого диапазона временных периодов вариации σ гораздо более значительны, ее величина варьирует от $\sigma^+, \sigma^= 2,5$ дБ до σ^+ max=12 дБ, σ -max=7 дБ. То есть, естественные вариации шума во всех случаях (на всех компонентах, на всех изученных частотах) составляют порядка 8% от величины MeS(T).





Рис 6 а,б. Сравнение вариаций спектральной плотности сейсмического шума для вертикальной компоненты: а) день; б) ночь.



Рис 7а,б. Сравнение вариаций спектральной плотности сейсмического шума для горизонтальной компоненты: а) день; б) ночь.

Выводы

- 1. Впервые по цифровым записям станции Маканчи построена модель сейсмического шума в широком частотном диапазоне. В области временных периодов 0,5 – 20с спектральная плотность шума близка к нижней границе мировой модели сейсмического шума, что позволяет отнести станцию Маканчи к категории наиболее чувствительных станций Глобальной сейсмологической сети. Именно этому диапазону частот соответствуют по своему спектральному составу сейсмические колебания землетрясений и подземных ядерных взрывов, регистрируемые на региональных расстояниях. Для иллюстрации на рис. 8 и 9 приведены записи подземного ядерного взрыва, произведенного на полигоне Лобнор на расстоянии 754 км, и более близкого землетрясения, произошедшего на расстоянии ≈ 200 км от станции. Записи, зарегистрированные станцией Маканчи,, очень четкие, и это позволяет проводить временной и спектральный анализ сейсмических сигналов.
- Установлено, что в области длиннопериодных сейсмических колебаний, станция Маканчи является довольно шумной. Существует неизвестный источник, генерирующий в дневное время длиннопериодные помехи, поляризованные в горизонтальной плоскости.

- 3. Детально исследована структура вариаций уровня фона на разных частотах. Свой вклад в них вносят техногенные источники вблизи станции и естественные источники микросейсм. Количественно вариации за счет естественных и техногенных источников оцениваются примерно одинаковыми величинами, не превышающими 10% от уровня шума. Однако, техногенные помехи характеризуются четко установленным частотным диапазоном, а естественные вариации наблюдаются во всей изученной частотной области.
- Построены наиболее вероятные спектры шумов для пункта наблюдения Маканчи по трем регистрируемым составляющим сейсмического поля.

Благодарность

Авторы выражают глубокую признательность доктору В.Ё. Киму (Ламонт-Дохертская Земная обсерватория Колумбийского университета, США) за любезно предоставленную им программу POWER, а также за помощь и консультации, оказанные им в ходе выполнения данной работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке USAFE.



Рис. 8. Пример записи ядерного взрыва, произведенного на полигоне Лобнор 29 июня 1996 года в 1 час 48 мин 57 сек, mb=4.9, расстояние до станции Маканчи Д=754 км.



Рис 9. Пример записи сейсмического события, произошедшего в 200 км к северо-востоку от станции Маканчи 29 декабря 1997 года в 12 часов 29 минут, Ms=2,7.

Литература

- 1) William H. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teulkolsky, William T. Vetterling. Numerical Recipes. Cambridge University Press, 1987 year, 818 pp.
- 2) Jon Peterson, Observation and Modeling of Seismic Background Noise. Open-File Report 93-322, Albuquerque, New Mexico, 1993 year, 42 pp.

«Мақаншың геофизикалық обсерваториясының бақылауы бойынша шығарылған сейсмикалық шудың моделі

Комаров И.И., Синева З.И., Михайлова Н.Н., Абдрахманова Г.С.

Геофизикалық зерттеу институты

«Мақаншың геофизикалық обсерваториясының берген есептеулері бойынша алтыдан астам реттілік маңызы бар жиі диапазондағы сейсмикалық шу кеңінен зерттелген. Сейсмикалық шудың тығыз спектірі Глобальды жүйедегі сеймикалық бақылаудан алынған сейсмикалық шудың моделімен салыстырылған. Техногендік және табиғи факторлардың әсерімен сейсмикалық шудың вариациясын сипаттайтын параметрлерге баға берілген.

Seismic Noise Model from Observations at Geophysical Observatory Makanchi

I.I. Komarov, Z.I. Sinyova, N.N. Mikhailova, G.S. Abdrakhmanova

Institute of Geophysical Research

Seismic noise has been studied in a wide range of frequencies (more than 6 orders). The seismic noise density spectrum was compared with seismic noise models, obtained for observations of the Global Seismic Network (GSN IRIS). The parameters, characterizing variations of seismic noise from technological and natural sources were estimated.

УДК 550.342.001

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ ЦИФРОВЫХ СТАНЦИЙ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕТИ

Синева З.И., Михайлова Н.Н., Комаров И.И.

Институт геофизических исследований

Для станций сейсмологической сети контроля ядерных испытаний, расположенных на восьми площадках Казахстана, впервые дана сравнительная оценка характеристик сейсмического шума. По каждой из трех компонент сейсмического шума рассчитаны спектральные кривые плотности, изучены его временные вариации. Установлено, что различие в уровне шума между станциями зависит от частоты: оно максимально (до 19 дБ) на частотах ≈10 Гц, статистически незначимо в диапазоне частот 0,2-0,05 Гц. Выстроен ряд казахстанских станций по мере возрастания сейсмического шума - от самой «тихой» до самой «шумной»: Восточное, Чкалово, Зеренда, Боровое, Курчатов, Маканчи, Талгар, Актюбинск.

Основной целью настоящей работы являлось сравнительное изучение спектральных характеристик и временных вариаций различных частотных составляющих микросейсмического фона на всех пунктах территории Казахстана, где установлены цифровые станции сейсмологической сети контроля ядерных испытаний. Для данного исследования были использованы записи восьми сейсмических станций, обслуживаемых НЯЦ РК и Комплексной сейсмологической экспедицией ОИФЗ РАН, расположенных в разных районах Казахстана [3, рис 1]. Все станции размещены на удалении от крупных промышленных предприятий, в относительно малонаселенных местах. Местная сейсмичность может быть охарактеризована по результатам сейсмического районирования территории Казахстана. Согласно последней карте сейсмического районирования Казахстана [2], станции Курчатов, Боровое, Восточное, Зеренда, Чкалово и Актюбинск находятся в асейсмичной зоне, станция Маканчи в зоне возможной интенсивности сотрясений до 7 баллов, станция Талгар – в наиболее сейсмичной зоне с возможной интенсивностью сотрясений до 9 баллов.

В табл. 1 приведены некоторые другие данные по станциям, имеющие отношение к обсуждаемой теме: наименование и код станций [3], координаты места расположения, тип пород в основании, условия размещения и тип сейсмометров, дискретность записей. Как следует из табл.1, цифровые записи получены с использованием современных широкополосных сейсмометров STS – 2 и CMG – 3, обеспечивающих возможность исследовать характеристики шума в беспрецедентном по широте частотном диапазоне (0,06 с – 300 с). На всех станциях, за исключением станции Актюбинск, сейсмометры установлены в штольнях и шахтах, на глубине 20 и более метров, а на станции Талгар – на глубине 70 м. Эти условия размещения сейсмометров обеспечивает достаточно хорошую защиту от внешних воздействий, таких, как ветер, изменения температуры, изменение давления. Только на станции Актюбинск сейсмометр находится в оборудованном помещении, практически на уровне дневной поверхности.

Методика изучения спектрально-временных характеристик сейсмического шума включала:

- отбор сейсмических записей, пригодных для анализа,
- расчет спектральной плотности сейсмического шума,
- анализ результатов расчета и временных вариаций сейсмического шума в сравнении с известными мировыми моделями,
- сравнительную оценку уровня сейсмического шума для всей совокупности изучаемых казахстанских станций.

Отбор сейсмических записей.

Сейсмические записи отбирались с учетом выполнения следующих условий:

- обеспечение одновременности записей на всех станциях. Записи за один и тот же период времени выбраны из данных за 1995 год длиной 6 суток (260-265 дни). В этот период времени работали все 8 изучаемых сейсмических станций;
- отсутствие сильных далеких и более слабых близких землетрясений, а также "хвостов" землетрясений, произошедших ранее. Для этого каждый отрезок записей первоначально контролировался визуально, затем привлекались каталоги землетрясений мира, составляемые различными службами. С учетом этой информации из записей выбирались участки без сейсмических событий длиной по 10 минут каждый. Было отобрано примерно по 70-80 таких отрезков для каждой станции.

Наименование станции (обоз-	Широта (N),	Долгота (Е),	Высота над уровнем	Геологическая характеристика	Условия раз- мещения сейс-	Тип сейсмоме	Дискрет- ность запи-
на-чение в составе GSN)	градусы	градусы	моря, м	пород фундамента	мометров	тров	си (отсчеты в сек)
Актюбинск (АКТ)	50.433	58.017	360	Габбро- амфиболиты	Оборудованное помещение	STS-2	40
Боровое (BRV)	53.058	70.283	315	Граниты	Шахта	STS-2	40
Курчатов (KUR)	50.715	78.621	240	Песчаники	Шахта	STS-2	40
Маканчи (MAKZ)	46.808	81.977	600	Андезиты	Штольня	STS-2	20
Восточное (VOS)	52.723	70.980	450	Граниты	Шахта	CMG-3	40
Зеренда (ZRN)	52.951	69.004	420	Граниты	Шахта	STS-2	40
Чкалово (СНК)	53.676	70.615	240	Граниты	Шахта	CMG-3	40
Талгар (TLG)	43.249	77.223	1120	Граниты	Штольня	CMG-3	40

T . C 1	\cap				
гаолина г	ОСНОВНЫЕ У	апактепистик	и ооспелуемых	сеисмических	станции
таолица т		apartepretrin	и обследуемыл	A CONTONINI ICCANA	станции
1			1 1.1		,

Расчет спектральной плотности сейсмического шума.

Спектральная плотность сейсмического шума рассчитывалась для каждой станции, для каждой из трех компонент сейсмических записей, отдельно для ночного и дневного времени. Во всех случаях учитывались амплитудно-частотные характеристики сейсмометров [1, рис. 2]. В основу расчетов была положена методика, приведенная в [4].

Для расчетов использовалась программа, любезно предоставленная доктором В.Ё.Кимом (Ламонт-Дохертская Земная обсерватория Колумбийского университета, США). После получения для данной станции набора спектров, оценивался медианный спектр, который принимался за наиболее вероятный спектр сейсмического шума для данной выборки.

Анализ результатов расчета и временных вариаций сейсмического шума в сравнении с известными мировыми моделями.

На рис. 1 приведены медианные значения спектральной плотности вертикальной компоненты сейсмического шума по всем обследованным станциям. Аналогичные кривые построены по двум другим, горизонтальным составляющим регистрируемого сейсмического поля. Выделены результаты расчетов спектральной плотности сейсмического шума по дневным и ночным сейсмическим записям. Здесь же, для удобства сопоставления, представлены мировые модели сейсмического шума нижнеуровневая (NLNM) и верхнеуровневая (NHNM).

Выводы, которые были сделаны при анализе полученных спектров, следующие.

 Различие в уровне сейсмического шума между станциями Казахстана зависит от рассматриваемой частоты (периода). Так, для периода 0,1с оно максимально и составляет 19дБ, на периоде 1с – различие уменьшается до 7дБ. В диапазоне значений периодов 5с – 20с между станциями почти нет никакой разницы в уровне сейсмического шума: все изменения лежат в пределах точности оценок уровня спектральной плотности, равной ±2дБ.

- Самыми "тихими" на территории Казахстана являются станции большебазовой группы Боровое Восточное, Зеренда и Чкалово. Сама станция Боровое оказалась немного более шумной, особенно, в дневное время. Довольно "тихой" является и станция Курчатов. Затем по степени возрастания уровня шума идет станция Маканчи. Наиболее "шумными" являются станции Талгар и Актюбинск.
- Сопоставление кривых спектральной плотности, 3. построенных отдельно для дня и ночи, явно показало, что существуют суточные вариации сейсмического шума, которые характеризуются совершенно четкой частотной полосой, одинаковой для всех станций, и различными значениями амплитуды вариаций по разным станциям. Наибольшие суточные вариации отмечены на станциях группы Боровое. Все они сосредоточены в полосе частот выше 1Гц и достигают на вертикальной компоненте в экстремуме 10дБ по станции Боровое. По станциям Зеренда, Восточное, Чкалово различие не превышает 5 дБ. По другим станциям суточные вариации заметно меньше и практически не заметны на станциях Талгар и Маканчи (рис.2).
- 4. На частотах меньше 1Гц (период T>1c) различие в уровне шума не превышает 2дБ, максимальный разброс между самыми «шумными» и самыми «тихими» записями из выбранных 6 дней составляет лишь 4-5дБ. Общим правилом для рассмотренного частотного диапазона является то, что дневной уровень шума практически всегда выше или равен ночному уровню шума.

5. При сравнении полученных кривых спектральной плотности с мировыми моделями сейсмического шума видно, что в диапазоне периодов 1с – 20с станционные кривые сейсмического шума близки к нижнеуровневой модели. Если принять во внимание еще и слабо выраженную вариабельность сейсмического шума в течение суток, то можно считать, то полученные данные подтверждают вывод о необычайно подходящих условиях выбранных мест регистрации сейсмических полей для целей ядерного мониторинга.

Четкое представление о статистических характеристиках распределения уровня спектральной плотности сейсмического шума на различных частотах дают гистограммы, построенные для фиксированных частот 0,1; 1; 5 Гц. На рис. 2 приведены гистограммы уровня сейсмического шума для вертикальной компоненты сигналов на частоте 0,1 Гц. Стрелками разных цветов на них показано значение медианы спектральной плотности сейсмического шума по каждой из станций для выборок из дневных и ночных записей. Отмечено, что с уменьшением частоты сейсмический шум, соответствующий дню и ночи, сближается по уровню, что свидетельствует о практическом отсутствии суточных вариаций на малых частотах. Наименьшим является разброс значений уровня сейсмического шума для частоты 1 Гц, где и сам уровень спектральной плотности проходит через минимум.

На рис. 3 представлены вариации вертикальной компоненты сейсмического шума на частоте 0,1 Гц в течение исследуемых шести суток Подобные данные подготовлены и проанализированы для частот 1 Гц и 5 Гц. Рассчитаны коэффициенты корреляции между парами временных рядов изменений спектральных уровней шума. Полученные результаты приведены в табл.2. Из нее следует, что коэффициенты попарной корреляции довольно значительны на частоте 0,1 Гц. Такие высокие коэффициенты, по нашему мнению, объясняются океанической природы микросейсм [5]. Исключение составляет станция Талгар, для которой установлены наиболее низкие коэффициенты корреляции 0.063-0.417, что объясняется, по-видимому, превалирующим влиянием местных сейсмических и других локальных условий.



Рис. 1. Спектральная плотность сейсмического шума (PSD) для дневного и ночного времени по вертикальной компоненте.

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ ЦИФРОВЫХ СТАНЦИЙ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕТИ



Рис. 2. Гистограмма распределения уровня сейсмического шума, частота 0.1 Гц.

Сводные данные по обследованным казахстанским станциям - значения спектральной плотности сейсмического шума на четырех фиксированных периодах для всех компонент используемых станций, - приведены в табл. 3.

Τ. ζ	IC 1 1		U			0.1
Гаолина 2.	Коэффиниенты	коррелянии	вариании уровня	сеисмического	шума на ч	астоте 0.11 п.
		pp		••••••		

Станции	AKT	СНК	KUR	MAKZ	TLG	VOS	ZRN
AKT	-	0,359	0,430	0,468	0,120	0,697	0,424
СНК	0,359	-	0,377	0,219	0,417	0,509	0,309
KUR	0,430	0,377	-	0,539	0,250	0,651	0,140
MAKZ	0,468	0,219	0,539	-	0,063	0,521	0,437
TLG	0,120	0,417	0,250	0,063	-	0,329	0,214
VOS	0,697	0,509	0,651	0,521	0,329	-	0,335
ZRN	0,424	0,309	0,140	0,437	0,214	0,335	-
BRV	0,672	0,543	0,151	0,183	0,445	0,561	0,613

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ ЦИФРОВЫХ СТАНЦИЙ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕТИ



Рис. 3. Вариации уровня сейсмического шума по вертикальной компоненте за шесть дней на частоте 0.1 Гц.

Таблица 3. Спектральная плотность сейсмического шума (в дБ, относящихся к (м/c²)²/Гц) по станциям казахстанской сети.

C	T, c	День			Ночь		
Станции		E-W	N-S	Ζ	E-W	N-S	Ζ
	0,1	-142	-142	-142	-144	-142	-142
Курчатов (KUR)	1	-156	-156	-153	-156	-156	-153
	5	-130	-130	-128	-129	-130	-130
	20	-146	-157	-157	-150	-158	-158
	0,1	-133	-150	-130	-133	-150	-130
Маканчи	1	-148	-150	-147	-150	-150	-146
(MAKZ)	5	-130	-133	-130	-132	-133	-130
	20	-158	-158	-155	-160	-100	-157
	0,1	-129	-129	-128	-130	-129	-157
Талгар	1	-146	-130	-148	-148	-130	-128
(TLG)	5	-130	-132	-128	-130	-132	-148
	20	-149	-136	-156	-145	-137	-128
	0,1	-125	-126	-126	-129	-128	-128
Актюбинск (АКТ)	1	-149	-145	-146	-149	-148	-148
	5	-130	-130	-130	-131	-133	-130
	20	-150	-130	-159	-156	-143	-158

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ДАННЫМ ЦИФРОВЫХ СТАНЦИЙ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕТИ

Станин	Та	День	День			Ночь		
Станции	1, c	E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z	
	0,1	-142	-142	-142	-143	-142	-143	
Зеренда	1	-155	-156	-153	-157	-157	-153	
(ZRN)	5	-132	-133	-129	-133	-133	-129	
	20	-155	-155	-157	-158	-159	-157	
	0,1	-145	-146	-143	-148	-148	-148	
Восточное	1	-155	-156	-155	-157	-158	-155	
(VOS)	5	-134	-135	-130	-135	-135	-130	
	20	-153	-156	-158	-156	-158	-160	
	0,1	-142	-142	-142	-145	-145	-145	
Чкалово	1	-156	-156	-155	-157	-156	-155	
(СНК)	5	-133	-135	-131	-135	-134	-130	
	20	-145	-154	-155	-151	-153	-155	
Боровое (BRV)	0,1			-130			-140	
	1			-152			-152	
	5			-130			-130	
	20			-162			-162	

Выводы

Таким образом, впервые по данным восьми широкополосных цифровых сейсмических станций, для территории Казахстана рассчитаны и проанализированы значения уровней сейсмического шума, а также количественно оценены их вариации в течение суток. Низкий уровень шума и его малые временные вариации делают казахстанские станции уникальным инструментом сейсмического мониторинга. Сейсмическая группа Боровое и станция Курчатов выделяются наилучшими условиями для регистрации сейсмических сигналов среди всех казахстанских станций.

Благодарность

Авторы выражают глубокую признательность доктору В.Ё. Киму (Ламонт-Дохертская Земная обсерватория Колумбийского университета, США) за любезно предоставленную им программу POWER, а также за помощь и консультации, оказанные им в ходе выполнения данной работы.

Литература

- Комаров И.И., Синёва З.И., Михайлова Н.Н., Абдрахманова Г.С.. Модель сейсмического шума по наблюдениям геофизической обсерватории «Маканчи» В этом сборнике, с.
- 2) Сейсмическое районирование территории СССР, Москва, Наука, 1980. 307 с.
- 3) Беляшова Н.Н., Малахова М.Н. . Сейсмологическая сеть Национального ядерного центра Республики Казахстан как составная часть международной системы мониторинга ядерных испытаний. В этом сборнике, с.
- 4) Peterson Jon. Observations and modeling of seismic background noise. Albuquerque, New Mexico, 1993. 49p.
- 5) Аки К., Ричардс П., Количественная сейсмология. Москва, Мир, 1983. С. 468-470

Қазақстан сейсмологиялық жүйе цифрлық станциясының мәліметі бойынша динамикалық сипаттауын зерттеу

Синева З.И., Михайлова Н.Н., Комаров И.И.

Геофизикалық зерттеу институты

Осы жұмыста Қазақстандағы барлық сегіз сейсмикалық станциялардың сейсмикалық шудың мінездемелері зерттелген. Үш компанентің спектральдік қисықтары есптелген, барлық зерттелген ауқымда уақытша өзгермелі нұсқалары зерттелген. Станциялардың арасында шудың деңгеі әртүрлі болуы жиілікке байланысты екені белгіленген. 10 Гц жиілікте барынша көп айырмашылақтар байқалады, ол 19 дБ-ға жетеді. 0,2-0,05 Гц жиілікте сынақтық мәнділігі бар айырмашылықтар шудың деңгейінде байқаланбайды. Ең тынышынан бастап ең гуілдегіш станциялардың тізімі: Восточное, Чкалов, Зеренда, Боровой, Курчатов, Мақаншы, Талғар, Ақтөбе.

Study of Dynamic Characteristics of Seismic Noise Basing on Data from Kazakhstan Network Digital Seismic Stations

Z.I. Sinyova, N.N. Mikhailova, I.I. Komarov

Institute of Geophysical Research

This paper shows the results of research on seismic noise characteristics for 8 Kazakhstan seismic stations. Spectral three component density curves were calculated, and the temporal variations of noise were studied for the whole range under investigation. It was found that the difference in the noise level from station to station depends on frequency. Maximum difference can be observed at the frequency of 10Hz, when it reaches 19db. At the frequencies of 0.2-0.05Hz statistically significant differences in the noise level were not observed. The following list of stations starts with the quietest station and ends with the noisiest one: Vostochnoe, Chkalovo, Zerenda, Borovoe, Kurchatov, Makanchi, Talgar, Aktubinsk.

УДК [550.34:541.126] (574.41)

КАЛИБРОВОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДВЗЯИ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ. 1997-2000 ГГ.

¹⁾W. Leith, ²⁾L.J. Kluchko, ²⁾C.P. Knowles, ²⁾D.A. Linger, ²⁾L. Gabriel, ³⁾Беляшова Н.Н., ³⁾Тухватулин Ш.Т., ³⁾Демин В.Н., ³⁾Коновалов В.Е.

¹⁾Геологическая Служба США ²⁾ Агенство по снижению угрозы безопасности США ³⁾Институт геофизических исследований

В статье приведены результатах испытаний, выполненных совместно американскими и казахстанскими исследователями на Семипалатинском испытательном полигоне при проведении шести и подготовки седьмого химических калибровочных взрывов в 1997-2000 гг. Основной целью испытаний является калибровка Международной системы мониторинга для Договора о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных испытаний и развитие понимания взрывов как сейсмических источников.

Калибровочные взрывы предусматриваются ДВЗЯИ как меры по установлению доверия, а также как средство для совершенствования работы и прозрачности технической системы мониторинга. Калибровочные взрывы могут:

- служить в качестве региональных калибровочных точек для сейсмической и инфразвуковой сетей международной системы мониторинга (МСМ) ДВЗЯИ;
- использоваться для проверки эффективности и методик Международного Центра Данных (МЦД);
- использоваться для проверки Протоколов и материально-технической базы Инспекции на месте.

В 1992 году Семипалатинский полигон перешел под контроль Республики Казахстан, а в 1995 г. правительство Республики заключило соглашение с Министерством обороны США об уничтожении ядерной инфраструктуры полигона. Это соглашение осуществляется Агентством по Снижению Угрозы Безопасности, США, и Национальным ядерным центром, Казахстан, по двусторонней совместной программе уменьшения угрозы (СТR).

Программа уменьшения угрозы CTR на Семипалатинском полигоне включает:

- закрытие скважин на участке Балапан,
- закрытие штолен в горном массиве Дегелен,
- часть проводимого по всей стране уничтожения пусковых шахт для ракет CC-18.

При поддержке инфраструктуры, предоставленной программой СТR, Агентство по Снижению Угрозы Безопасности совместно с Министерством Энергетики с целью улучшения контроля ДВЗЯИ осуществило совместные с Национальным ядерным центром Республики Казахстан исследовательские эксперименты:

- при разноглубинных взрывах в скважинах участка Балапан,
- при взрывах в штольнях горного массива Дегелен.

В период с 1997 г. по 1999 г. на Семипалатинском испытательном полигоне было произведено шесть сильных не ядерных взрывов, объединенных в 2 серии:

- из четырех 25-тонных взрывов в скважинах большого диаметра на участке Балапан;
- из двух 100-тонных взрывов в штольнях горного массива Дегелен.

Первыми двумя официальными международными калибровочными взрывами, осуществленными в рамках ДВЗЯИ, были 100-тонные химические взрывы 22 августа 1998 г. и 25 сентября 1999 г. В июле 2000 г. планируется провести третий 100-тонный калибровочный взрыв той же серии.

Основное назначение проводимых взрывов состоит в том, чтобы:

- охарактеризовать область сейсмического источника в месте подземного взрыва с учетом различных геологических условий;
- выполнить калибровку действующих первичных станций МСМ, а также участков будущих первичных станций;
- выполнить калибровку региональных сейсмических станций казахстанской национальной сейсмической сети;
- испытать несейсмические методы ядерного мониторинга, например, инфразвуковые.

В этих целях во время проведения экспериментов было размещено значительное число датчиков для регистрации данных об эффективности взрывчатых веществ, о подземном давлении газов и температуре, о распространении ударной волны и сейсмических волн на различном расстоянии и в различных азимутах, о распространении инфразвуковых волн в атмосфере. Кроме того, после взрыва в сентябре 1999 г. были проведены учения Инспекция на месте (ИНМ) для получения знаний по практическим и материальным аспектам.

Эксперименты на участке Балапан

Будучи калибровочными тестами, взрывы на участке Балапан проведены для оценки влияния различной глубины взрыва на результирующие сейсмические сигналы. В качестве калибровочных взрывов ДВЗЯИ, они предоставляли возможность проведения калибровки станций МСМ и сейсмических мониторинговых исследований.

Четыре 25-тонных взрыва произведены в скважинах, ранее неиспользованных для ядерных испытаний, и пройденных в разных геологических средах. Два из них произведены на глубине 50 метров в рыхлых отложениях, (эксперименты DOB-1), один —на глубине 300 м (эксперимент DOB-2) и один — на глубине 550 м (эксперимент DOB-3) в изверженных и метаморфических породах (рис. 1). Эти взрывы были записаны станциями сейсмических сетей на локальных, региональных и телесейсмических расстояниях. Взрывы, произведённые на глубине 50 м, зарегистрированы и локализованы станциями МСМ ДВЗЯИ, в то время как взрывы, произведенные на глубинах 300, 550 м не были обнаружены станциями действовавшей тогда MCM.



Puc.1. Схема проведения серии взрывов в скважинах участка Балапан

На рис. 2 приведен эллипс погрешности определения местоположения взрыва, произведённого 3 августа 1997 в скважине участка Балапан на глубине 50 м. Это событие, с магнитудой mb, равной 5, было легко обнаружено и локализовано прототипом Международного Центра Данных по записям станций существовавшей в то время глобальной сейсмической сети МСМ. Как следует из рисунка, эллипс погрешностей - относительно большой (около 10000 км²) и не включает реальное местоположение события. Несмотря на это, испытания на участке Балапан были важны, так как позволили получить первый опыт проведения сильных взрывов в Казахстане (например, знания об экологических нормах, о взрывчатых веществах, о разработке технологии взрыва, о системе измерения времени и т. д.) и внесли большой вклад в организацию последующих 100-тонных взрывов.



Рис 2. Результаты определения местоположения неглубокого 25-тонного взрыва в эксперименте DOB-1

Эксперименты на горном массиве Дегелен Горный массив Дегелен - один из наиболее активных бывших советских подземных ядерных полигонов. С использованием 181 горизонтальных штолен,пройденных в интрузивном массиве, было произведено 207 ядерных взрывов, что почти в 2 раза больше, чем на любом другом советском ядерном полигоне. В экспериментах, проведенных в 1998 и 1999 гг. на горном массиве Дегелен, и получивших названия Омега-1 и Омега-2, использованы 100-тонные химические взрывы. Эксперименты имели целью оценить эффективность технологий мониторинга ДВЗЯИ и обеспечить калибровку части станций Международной Системы Мониторинга ДВЗЯИ.

Калибровочный взрыв Омега-1 проведен в штольне 214 (рис. 3), прежде не использованной для ядерных испытаний и не имевшей радиационного заражения.



Рис 3. Эксперименты серии "Омега" на горном массиве Дегелен

Расположенная на западном склоне горы, штольня, пройденная в конце 80-х годов, имела

сложную внутреннюю структуру сдвигов, и включала глубокую галерею, идеально подходившую для размещения заряда сильного взрывчатого вещества (рис 4). Для учета местных геологических условий были проведены небольшие испытательные взрывы в туннелях, пройденных в стене камеры. Сигналы от них регистрировались близко расположенной сейсмической аппаратурой.



Puc 4. Схема размещения измерительной аппаратуры вблизи камеры взрыва.

Особый интерес в эксперименте представляло получение количественной информации об эффективности источника взрыва, состоящего из 100тонн сильного взрывчатого вещества, и передаче сейсмической энергии от места взрыва. Для этого на расстоянии 10-50 метров от камеры взрыва был установлен ряд измерителей скорости, напряжения и сдвига. Кроме того, для получения данных о скорости и направлении ударной волны внутри взрывчатого вещества в процессе взрыва, была использована система CORRTEX. Для ее размещения в направлении к камере взрыва была пройдена серия из 9 горизонтальных скважин (рис. 4), в которых были забетонированы сенсоры и кабели. 100-тонн гранутолуола, подготовленного для взрыва, были упакованы в ящики и размещены в камере, размеры которой были увеличены для этой цели с 3х3 метра до 5х3 метра. Со стороны входа была построена стальная перегородка, закрывавшая взрывчатые материалы. После этого камера была запечатана двумя массивными бетонными заглушками, разделёнными шебнем.

Одной из важных технических задач являлось получение сейсмических записей взрыва в возможно большем диапазоне расстояний — от нескольких десятков метров до тысяч километров. С этой целью точно над местом взрыва, на выходе из туннеля, и на разном расстоянии от него, вплоть до 10 км, было установлено 10 портативных станций мобильной сети. На расстояниях, равных тысячам километров, взрыв записывался стационарными станциями казахстанской региональной сейсмической сети, а также 12 портативными станциями мобильной сети, развёрнутой на время эксперимента. Дополнительно к сейсмическим измерениям, двумя портативными инфразвуковыми группами станций производились измерения звуковых волн в атмосфере для оценки эффективности инфразвуковой аппаратуры при регистрации сигнала относительно малой амплитуды от источника, находящегося под землёй.

Взрыв Омега-1 произведён в полдень 22 августа 1998. Событие имеет магнитуду mb 4.8, превосходно записано всеми локальными станциями и сейсмическими группами, даже на Аляске и в Африке. Прототип Международного Центра Данных (ПМЦД) определил местоположение события на горном массиве Дегелен при относительно небольшом уровне погрешности. Тем самым ПМЦД проверил свои методики по событию, месторасположение, время и сила которого были известны. Подтвердилось значительное улучшение точности локализации сейсмического события (рис. 5) за период со времени взрывов на участке Балапан, которая годом раньше была недостаточной (рис.2).



Рис 5. Результаты определения местоположения 100-тонного взрыва в штольне 214 (эксперимент Омега-1) в сравнении с результатами эксперимента DOB-1



Рис 6. Условия проведения эксперимента "Омега-2"

Второй широкомасштабный эксперимент Омега-2 проведён 25 сентября 1999 г. с использованием калибровочного взрыва в штольне № 160. В него были внесены изменения, необходимые для лучшей имитации сейсмического источника, порождаемого ядерным взрывом. Проходка штольни № 160, также как и штольни № 214, была осуществлена ранее, в штольне никогда не производилось взрывов, и она не была заражена радиацией. Проект взрыва предусматривал использование двухтуннельной конфигурации штольни (рис. 6), которая позволяла расположить приборы для контроля волн непосредственно под зарядом, размещенным в коротком туннеле, и измерить часть сейсмического сигнала, направленную вниз (рис 7).

В этом эксперименте особое внимание было уделено изучению характеристики горных пород, в которых производился взрыв, и их роли в распределении энергии между продольными и поперечными сейсмическими волнами. Частью работы по изучению характеристики горных пород было получение данных сейсмической томографии, показанных на рис.7. В приведенной скоростной сейсмической модели обращает на себя внимание область низких скоростей непосредственно под гребнем хребта, сложенная выветрелыми и разрушенными породами. Данные сейсмической томографии получены до и после взрыва, что позволяет использовать их для оценки возможностей сейсмических методов при обнаружении мест бывших подземных взрывов. Последнее необходимо, например, при проведении Инспекции на месте.



Рис 7. Схема наблюдений и результаты сейсмической томографии до взрыва. Эксперимент Омега-2

В отличие от эксперимента Омега-1, в эксперименте Омега-2 сильный заряд взрывчатого вещества был полностью открытым, и газы, созданные 100-тонным зарядом, свободно вырывались из туннеля. Это лучше моделировало среду вокруг сейсмического источника ядерного испытания, так как, хотя ядерные взрывы производят во много раз меньше газов, чем обычные взрывчатые вещества, но зато избыточные газы создают аномальные по-

перечные упругие волны в районе сейсмического источника за счет гидравлического разрушения пород. Во время проведения взрыва не функционировали многие из ключевых первичных групп МСМ, например, такие как Норильск, Пеледуй, ARC ESS и FINESA. Это имитировало "слепой" взрыв - операторы станций не были предупреждены заранее. Тем не менее, событие было записано многими станциями, в том числе и станциями Казахстанской национальной сейсмической сети. Рассматривая относительно плохую работу первичной сети МСМ во время эксперимента Омега-2 и относительно малую магнитуду события- mb 3.7, интересно отметить относительно высокую и увеличившуюся точность определения эпицентра силами ПМЦД (рис.8). Как видно из рисунка, эллипс погрешности определения местонахожения взрыва составляет около 2000 км², он включает в себя местоположение события Омега-2, несмотря на то, что его магнитуда меньше по сравнению с событием на участке Балапан в августе 1997г. и событием Омега-1 на горном массиве Дегелен.



Рис 8. Эллипс ошибок определения места взрыва при эксперименте Омега –2 в сравнениии с аналогичными эллипсами ошибок при экспериментах Омега-1 и DOB-1

Проведенный эксперимент показал, что:

- относительно небольшое событие по размеру эквивалентное ядерному испытанию силой, равной 1/5 килотонны, — может быть быстро локализовано и охарактеризовано МЦД даже несмотря на то, что создание сети МСМ ещё далеко не завершено и часть ключевых станции в регионе не функционировала;
- при особом внимании и при использовании всех доступных источников сейсмических данных, можно довольно точно определить местоположение эпицентра события.

Во время подготовки эксперимента Омега -2, в период с 1 по 11 октября 1999 г., по приглашению Республики Казахстан на Семипалатинском испытательном полигоне были проведены учения

Инспекции на месте. Инспекционная группа состояла из 12 человек, прибывших из Китая, Франции, Израиля, Казахстана, Российской Федерации, Великобритании, Соединённых Штатов Америки и Временного Технического Секретариата (ОДВЗЯИ). Были созданы условия, максимально приближенные к реальности, такие, с какими может столкнуться инспекционная группа, развёрнутая в соответствии с ДВЗЯИ. Реальность была достигнута и тем, что группа инспекторов находилась в неведении относительно местоположения и других деталей взрыва. Учения начались с обнаружения и локализации взрыва Международной Системой Мониторинга. Далее, за время, обозначенное в ДВЗЯИ, были развёрнуты инспекционная группа и оборудование, обнаружен и локализован взрыв, подготовлен предварительный доклад об обнаружении события, аналогичного указанным в ДВЗЯИ. Проведенные учения включали сбор предварительной информации, необходимой для планирования инспекции, проведение собственно инспекции с использованием визуальных и пассивных сейсмических методов, применение мер безопасности для минимизации риска подвергнуться радиации, или другой опасности, и наблюдение феноменологии малых подземных взрывов. Встретившиеся проблемы, метрика различной деятельности во время инспекции и полученные уроки, относительно эффективности применения различных приёмов, станут основой для разработки Инструкции процедур действий, усовершенствования Программ тренировочных курсов, будущих полевых экспериментов и будущих оперативных проверок. Сотрудничество Республики Казахстан в развитии плана экспериментов, в исполнении роли инспектируемого государства и поддержке полевой деятельности группы инспекторов способствовало успеху эксперимента.

В итоге калибровочный взрыв Омега-2 предоставил:

- дополнительные данные по эффективности МЦД и калибровке станций МСМ (например, калибровочные данные для станций на участке новой сейсмической группы Маканчи);
- полезные данные для проверки изменчивости распространения сейсмических волн в зависимости от расстояния до источника взрыва, для сравнения событий на участках, расположенных рядом;
- характеристики района сейсмического источника, порожденного сильным взрывом;
- данные для исследований в области сейсмологии, акустики и механики пород;
- возможность проведения частичной Инспекции на месте в соответствии с протоколом ДВЗЯИ, что стало проверкой одновременно и методик ДВЗЯИ и международного сотрудничества.

В 2000 г. США и Казахстан запланировали проведение третьего калибровочного взрыва Омега-3. Эксперимент также будет являться 100тонным взрывом и также будет проведён в штольне № 160 горного массива Дегелен. Однако в этом эксперименте место взрыва выбрано вблизи от места предыдущего взрыва для исследования влияния разрушенных пород на распространение сейсмических волн.





В целом, проведенные калибровочные эксперименты в Казахстане показали:

- успешность безопасного проведения 6 сильных калибровочных взрывов при максимальном развитии новых технологий и оперативных методов;
- возможность калибровки данных станций Международной системы мониторинга (МСМ) и проверки эффективности процедур Международного Центра Данных (МЦД);
- эффективность научной деятельности в рамках существующей программы CTR;
- возможность получения сейсмической характеристики эпицентра взрыва;
- успешность проведения процедур Инспекции на месте;
- работоспособность МСМ и способность МЦД локализовать сейсмические события.

Наконец, следует отметить, что выполненные работы являлись широкими многоцелевыми научными исследовательскими экспериментами. Многие методы и примененные инженерные приёмы не потребовались бы для простого калибровочного взрыва. Это означает, что, основываясь на опыте работ в Казахстане, можно разработать более простой и недорогой проект для калибровки станций MCM.
Тыйым салу тегіс қамти алатын келісіміне қарай, Семей сынақ полигонында өткізілген калибрлық байқаулар. 1997-2000 ж

¹⁾W. Leith, ²⁾L.J. Kluchko, ²⁾C.P. Knowles, ²⁾D.A. Linger, ²⁾L. Gabriel, ³⁾ Беляшова Н.Н., ³⁾Тухватулин Ш.Т., ³⁾ Демин В.Н., ³⁾ Коновалов В.Е.

¹⁾АҚШ геология қызметі ²⁾АҚШ қаупсіздігіне қауып-қатерін төмендету агентствосы ³⁾Геофизикалық зерттеулер институты

Осы жұмыста Қазақстандағы барлық сегіз сейсмикалық станциялардың сейсмикалық шудың мінездемелері зерттелген. Үш компанентің спектральдік қисықтары есптелген, барлық зерттелген ауқымда уақытша өзгермелі нұсқалары зерттелген. Станциялардың арасында шудың деңгеі әртүрлі болуы жиілікке байланысты екені белгіленген. 10 гц жиілікте барынша көп айырмашылақтар байқалады, ол 19 дБ-ға жетеді. 0,2-0,05 гц жиілікте сынақтық мәнділігі бар айырмашылықтар шудың деңгейінде байқаланбайды. Ең тынышынан бастап ең гуілдегіш станциялардың тізімі: Восточное, Чкалов, Зеренда, Боровой, Курчатов, Мақаншы, Талғар, Ақтюбе.

CTBTO Calibration Explosions at the Semipalatinsk Test Site (1997-2000)

¹⁾W. Leith, ²⁾L.J. Kluchko, ²⁾C.P. Knowles, ²⁾D.A. Linger, ²⁾L. Gabriel, ³⁾N. N. Belyahsova, ³⁾Sh. T. Tukhvatulin, ³⁾V. N. Demin, ³⁾V. E. Konovalov

¹⁾United States Geological Survey ²⁾US National Threat Reduction Agency ³⁾Institute of Geophysical Research

The article shows the results of experiments, conducted together by American and Kazakhstan researchers at the Semipalatinsk Test Site during 6 chemical calibration explosions and preparation of the seventh between 1997 and 2000. The main goal of the experiments is calibration of International Monitoring System for Comprehensive Test Ban Treaty and development of understanding of explosions as seismic sources.

УДК [621.039: 550.822] (574.41)

ОПЫТ ЗАКРЫТИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Демин В.Н., Малахова М.Н.

Институт геофизических исследований

«Испытания ядерного оружия – это процесс, обусловленный разработкой ядерного оружия»

Дональд Керр, Директор Национальной Лаборатории Лос Аламос

Приведена информация о разработке технологии закрытия и о закрытии трех неиспользованных испытательных скважин на площадке Балапан Семипалатинского испытательного полигона. Работы проведены в соответствии с межправительственными Соглашениями между РК и США.

В декабре 1993 года между США и Республикой Казахстан было подписано Соглашение об уничтожении шахтно-пусковых установок межконтинентальных баллистических ракет и систем аварийной готовности. Позже, в октябре 1995 года, между Министерством Обороны США и Министерством Науки и Академией Наук Республики Казахстан подписано Соглашение об уничтожении инфраструктуры оружия массового уничтожения. Решением Правительство РК ОТ 13 августа 1996 года Национальный Ядерный Центр (НЯЦ) официально утвержден исполнительным агентом всех программ по уничтожению инфраструктуры

ядерного оружия на Семипалатинском испытательном полигоне, включая программы по закрытию штолен горного массива Дегелен и скважин испытательной площадки Балапан. За период с 1965 по 1989 год на территории Балапан было осуществлено 108 подземных ядерных взрывов в 96 скважинах на глубинах от 0 до 600 м.с использованием зарядов мощностью от 20 до 160 кт. Первый ядерный взрыв в скважине относится к 15 января 1965 года. Часть скважин не была использована по своему назначению. Расположение этих неиспользованных испытательных скважин показано на рис. 1.



Рис. 1. Площадка Балапан. План расположения неиспользованных испытательных скважин

Выполнение предварительных работ по закрытию и полному запечатыванию первых трех испытательных скважин, из 13 неиспользованных скважин на опытной площадке Балапан, началось в 1996 году. Конструктивно испытательные скважины представляют собой практически вертикальные подземные горные выработки круглого сечения диаметром от 820 мм и глубиной до 640 м. предназначенные для размещения испытываемых ядерных устройств. При выполнении предварительных работ было охарактеризовано геологическое строение, гидрогеологические условия и радиологическая ситуация в районах закрытия скважин, состояние стволов и предложены методы их закрытия. Учитывая, что в мировой практике отсутствуют примеры проведения взрывов с использованием промышленных взрывчатых материалов (ВМ) в аналогичных условиях – в скважинах большого диаметра, на глубинах более 600 м, при давлении водяного столба более 6.0 МПа, - были проведены предварительные лабораторные и экспериментальные работ по изучению работоспособности промышленных ВМ в данных условиях. Выполненные эксперименты подтвердили возможность использования гранулотола, шашек-детонаторов и детонирующего шнура для производства взрывов. Действия по закрытию скважин начинались с работ по планированию площадки, обрезке обсадных труб, засыпке скважин грунтом или щебнем до определенного интервала, установке цементной пробки в основании заряда, изготовлению контейнеров для боевика, завоза необходимого количества ВМ с базисного склада. Далее выполнялись работы по заряжанию скважины Они включали заливку воды до уровня устья скважины, засыпку в скважину гранулотола, монтаж боевика и магистральной линии детонирующего шнура, спуск контейнера с боевиком и монтаж электровзрывной линии. Производился подрыв заряда, после которого обследовалось состояние скважины, проводилась топографическая съемка поверхности участка в окрестности скважины, засыпка скважины грунтом и планирование площадки.

Для изучения влияния геологической структуры на сейсмические волны, вызванные взрывами, а также с целью проверки работоспособности ВМ была проведена серия геофизических взрывов.

Геофизические взрывы проведены в испытательных скважинах, предназначенных для последующей ликвидации на следующих глубинах:

- скважина №1381 глубина 500 м;
- скважине №1381 глубина 300 м;
- скважине №1311 глубина 210 м;
- скважине №1311 глубина 50 м;
- скважине №1349 глубина 585 м.

Заряд массой от 51.2 до 106.8 кг опускался на проектную глубину на троссе в металлическом контейнере. В контейнер помещался полипропиленовый мешок, в который опускался боевик с двумя нитями детонирующего шнура и засыпалось расчетное количество гранулотола. Шашки - детонаторы и концы шнура тщательно изолировались резиновыми оболочками с солидолом. После проведения геофизических взрывов была аыполнена кавернометрия скважин.

Сейсмическое поле взрывов регистрировалось созданной на площадке Балапан временной сетью из 8-ми сейсмических станций. План расположения станций показан на рис. 2. Использовались короткопериодные трехкомпонентные сейсмометры L4C-3D, которые располагались в горных выработках круглого сечения диаметром 900 мм и глубиной до 0.8 м. Дно выработки было залито 5-ти сантиметровым слоем цемента. Вблизи скважины помещался акселерометр сильных движений FBA.

Был выполнен еще один экспериментальный взрыв 5000 кг взрывчатого вещества на глубине 600 м в скважине 1389, заполненной водой. Целью этого взрыва была проверка способности гранулотола выдержать влияние давления и погружения в жидкую среду, проверка сохранения взрывчатых свойств, определение технологии заряжания скважины, проверка технологии изготовления, установки и доставки боевика на забой, проверка удовлетворительного подрыва всей массы взрывчатого вещества. В процессе взрыва наблюдался выброс газа, воды и цементного камня из скважины, обсадная колонна скважины поднялась на 10 м над поверхностью земли.



Рис. 2. План размещения временных сейсмических станций на площадке Балапан.

Стендовые лабораторные исследования, полевые эксперименты, проведение пяти геофизических взрывов и одного экспериментального позволили разработать технологию, обеспечивающую безопасное и эффективное проведение опытных 25-тонных взрывов на различных глубинах.

Результаты кавернометрии позволили определить следующие глубины взрывов:

- Опытный взрыв в скважине №1311 на глубине 50 м;
- Опытный взрыв в скважине №1381 на глубине 300 м;
- Опытный взрыв в скважине №1349 на глубине 550 м.

При подготовке скважины №1311 к опытному взрыву ствол был засыпан природным материалом до отметки - 51,0 м от поверхности земли. На засыпанный грунт была установлена цементная пробка мощностью 1,0 м. В скважину было опущено 22000 кг основного заряда гранулотола. Формирование и спуск контейнера с боевиками осуществлялся за 3 часа до взрыва. Подрыв заряда в скважине был произведен 3/08/97 в 15:07:20 местного времени. Объем выброшенной в результате взрыва породы составил 1250 м³, максимальный диаметр образовавшейся воронки - 55 м, глубина - 9,5 м от поверхности земли. В процессе взрыва наблюдался выброс воды, газа, породы и обсадных труб. Воронка была ликвидирована 20/10/97.



Рис. 3. Конструкция заряда при опытном взрыве в скважине № 1349.

1-щебень, 2-бетонное перекрытие, 3- основной заряд гранулотона, 4- кумулятивная полость в контейнере, 5- контейнер с инициирующим зарядом, 6- боевик, 7- ДШУ-33Н, 8- трос, 9- трубка для спуска ДШУ-33Н, 10- ролик для спуска контейнера с боевиком.

Подобным же образом были проведены опытные взрывы в скважине №1381 31/09/97 в 14:08:39 местного времени и в скважине №1349 28/09/97 в 14:30:15 местного времени. Конструкция заряда для опытного взрыва в скважине №1349 приведена на рис. 3. Максимальный диаметр воронки, образовавшейся в результате этого взрыва, составил 20 м, глубина от поверхности земли – 10 м, объем выброшенной породы достиг 260 м3 (Рис. 4). Воронка ликвидирована 11/11/97. Ликвидация воронки и планирование участка бывшей скважины №1381 были закончены 21/11/97.



Рис. 4. Кратер воронки, образовавшийся после опытного взрыва в скважине № 1349.

Все опытные 25-тонные взрывы были зафиксированы 8-ю временными сейсмическими станциями временной сети. Сейсмограмма, полученная при проведении взрыва в скважине №1349, приведена на рис. 5.



Рис. 5. Фрагмент сейсмической записи опытного взрыва в скважине № 1349 временными станциями 1, 2, 3, 6, 7, 8 и 9.

Таким образом, в результате проведенных работ были ликвидированы и полностью запечатаны испытательные скважины №1311, №1349 и №1381 на площадке Балапан бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Разработана и впервые в мире применена технология заряжания и взрыва промышленных взрывчатых материалов в условиях гидростатического давления до 6,0 Мпа в скважинах большого диаметра (более 1,0 м). Сейсмические волны, вызванные взрывами, зафиксированы сетью временных сейсмических станций, размещенных на площадке Балапан, равно как и обсерваториями Института геофизических исследований НЯЦ РК.

Все работы проводились при финансовой поддержке Агентства DSWA и LANL.

Ухудшения экологической обстановки, в том числе и радиоэкологической, в результате проведенных работ по закрытию трех испытательных скважин не произошло.

Семей сынау полигонындағы сынау скважиналарын жабу тәжірибесі

Демин В.Н., Малахова М.Н.

Геофизикалық зерттеу институты

Семей сынау полигонындағы Балапан алаңындағы пайдаланылмаған үш сынау скважиналарын жабу және жабу технологиясын өңдеу туралы информациясы келтірілген. Жұмыстар ҚР мен АҚШ арасындағы үкіметаралық келісіміне сәйкес өткізілген.

Test Hole Closure Experience at the Semipalatinsk Test Site

V.N. Demin, M.N. Malakhova

Institute of Geophysical Research

This article presents the information on development of the closure technology and closure of three never-used test boreholes at the Balapan test field of the Semipalatinsk test site. The work is performed under a cooperative agreement between the United States and Kazakhstan governments.

УДК [541.126<<1961/1988>>.621.039.55](574.4)

ХИМИЧЕСКИЕ ВЗРЫВЫ ПЕРИОДА 1961-1988 ГГ. НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

¹⁾V.I. Khalturin, ¹⁾T.G. Rautian, ²⁾P.G. Richards

 ¹⁾ Институт Физики Земли Российской Академии наук
 ²⁾ Ламонт-Дохертская Земная Обсерватория и Департамент Земли и экологических наук Колумбийского университета США

Приводится информация о времени в источнике, координатах, магнитудах и энергетических классах для 29 химических взрывов, произведенных в бывшем СССР на территории Семипалатинского испытательного полигона в период 1961-1988 гг. Использованы результаты расчетов авторов, а также данные Российских официальных публикаций, обсерваторий NORSAR (Норвегия), Hagfors(Швеция).

Подземные ядерные взрывы на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) описаны в многочисленных публикациях (например, в [6,7,10]). Довольно подробно изучено землетрясение 1976 года [9], происшедшее вблизи от испытательного полигона. Два других землетрясения в этом регионе были описаны в [4, 6]. Однако химическим взрывам на полигоне уделено меньше внимания. Здесь мы приводим информацию о 29 химических взрывах, произведенных на СИП в советский период времени: время в источнике, координаты, магнитуда. Химические взрывы выполнялись бывшими советскими военными организациями для обеспечения строительных проектов, а также в технических и научных целях. Большинство взрывов были слабыми и характеризовались сейсмическими магнитудами в диапазоне от 3.2 до 4.4. До сегодняшнего дня не было каких-либо официальных объявлений и публикаций по техническим деталям проведения этих взрывов. Однако химические взрывы порождали сейсмические сигналы, которые записывались региональными станциями, как это описано в наших предыдущих работах [4, 6], где акцент был сделан на изучение 340 подземных ядерных испытаний на СИП. Сейсмические сигналы от 29 сейсмических событий имеют все признаки взрывов, и мы определяем их как химические взрывы отчасти по результатам сравнения времени в источнике и даты проведения со списком дат и времен проведения ядерных взрывов согласно Российским официальным публикациям в [8, 14]. Следует заметить, что названные публикации не содержат информацию о времени в источнике ядерных взрывов, эти времена приводятся в [6] на основе сейсмических данных. На рис. 1 показана схема эпицентров обсуждаемых химических взрывов на территории Семипалатинского испытательного полигона.



Рис. 1. Расположение 29 химических взрывов, прведенных в таблице, в пределах Семипалатинского испытательного полигона

Параметры 29 химических взрывов приведены в нижеследующей таблице. Более половины из взрывов, согласно некоторым публикациям конца 80-х, предположительно были отнесены к подземным ядерным взрывам на СИП. В этой связи было бы уместным все события, предположительно считавшиеся ядерными взрывами, включить в проекты, которые направлены на оценку возможностей мониторинга.

Дата	Время	Широта	Долгота	K	m(NOR)	mb(K)	Примечание
1961 Jun 05	03:50:00	49.77	77.98	11.0	-	4.42	A
1973 Mar 23	06:30:00	49.94	79.06	9.53	3.7	3.74	
1974 Sep 27	07:34:00	49.98	79.00	10.47	4.0	4.16	
1978 Jul 31	08:00:00	50.42	77.87	10.2	3.9	4.05	В
1979 May 24	04:07:00	49.94	78.79	10.33	3.9	4.05	SR-1
1979 Sep 14	07:33:00	49.95	78.84	10.75	4.4	4.30	SR-2
1979 Sep 15	04:07:00	49.94	78.82	8.85	3.8	3.44	
1980 Jul 13	08:10:00	49.91	78.84	10.33	(5.0)	4.10	SR-3
1980 Sep 20	10:40:01	49.96	78.88	9.83	3.8	3.88	SR-4
1980 Sep 30	05:57:12	49.95	78.40	-	3.6		SR-5
1980 Sep 30	05:57:17	49.95	78.40	11.03	4.4	4.42	SR-6
1980 Nov 06	17:42:58	50.14	78.76	9.17	3.9	3.56	
1981 May 28	04:08:28	50.00	78.00	7.70	-	2.90	
1981 Jun 05	03:22:18	49.84	78.72	10.30	4.0	4.10	SR-7
1981 Jul 05	03:59:14	49.87	78.99	10.47	(4.6)	4.17	SR-8
1981 Sep 30	12:55:10	49.94	78.90	10.70	4.3	4.28	SR-9
1981 Nov 19	05:57:14	50.11	78.95	9.60	4.0	3.78	
1982 Jun 11	10:59:07	49.90	77.90	10.65	4.1	4.26	SR-10
1982 Jul 12	10:29:18	49.90	77.90	10.67	3.9	4.27	SR-11
1982 Sep 04	05:47:17	50.06	78.56	9.47	3.6	3.72	SR-12
1982 Sep 15	04:33:19	49.85	78.85	10.86	4.2	4.36	SR-13
1983 Jul 28	03:41:28	50.07	78.60	10.74	4.3	4.34	SR-14
1984 Jun 23	02:57:16	49.92	78.93	11.06	4.4	4.44	SR-15
1984 Sep 15	06:15:10	49.99	78.88	11.17	-	4.48	C and SR-16
1985 Jun 27	11:57:04	49.78	77.97	8.5	-	3.27	D
1987 Jun 29	04:55:08	49.78	77.97	8.5	-	3.27	D
1987 Sep 02	09:27:05	50.00	70.34	-	2.7		E
1987 Sep 16	07:30:01	49.86	78.73	10.64	4.3	4.26	SR-17
1988 Sep 26	07:45:04	50.08	78.80	10.41	4.3	4.15	F

Таблица. Сводные данные по химическим взрывам, произведенным на Семипалатинском испытательном полигоне в 1961-1988 гг.

Практически по всем взрывам в таблице приводятся рассчитанные значения времени в источнике, координат и энергетического класса К, которые получены по результатам анализа наблюдений Комплексной Сейсмологической Экспедиции бывшей Академии Наук СССР. Значения т (NOR) являются магнитудами событий по данным обсерватории NORSAR, полученными из Норвегии через F. Ringdal [личное общение, 1994]. Магнитуды, указанные в скобках, определены Шведской станцией в Hagfors (HFS), обычно они значительно выше, чем значения m (NOR). Значения mb (K) это магнитуда по объемной волне, вычисленная, исходя из энергетического класса К и с использованием соотношения между магнитудой и энергетическим классом в виде [5]:

mb(K) = 0.46K - 0.64.

Примечания, сделанные в последнем столбце таблицы, несут следующую дополнительную информацию о взрывах:

А – полностью изолированный взрыв мощностью 600 тонн ТНТ, произведенный в штольне горного массива Дегелен до начала ядерных испытаний [11]. Задачами взрыва являлись калибровка сети сейсмических станций и оценка ожидаемых значений сейсмического сигнала на разных расстояниях.

В – сильный экспериментальный наземный химический взрыв мощностью 5000 тонн.

С – химический взрыв с магнитудой mb (ISC) = 4.7, mb (HFS) = 5.2, ошибочно отнесенный к подземным ядерным испытаниям, в некоторых случаях с характеристикой mb = 5.04 (например, см. [7,10).

D – два экспериментальных химических взрыва, каждый мощностью по 500 тонн ТНТ, проведены Институтом Динамики Геосфер (ИДГ) РАН на одном и том же участке горного массива Дегелен рядом с устьем штольни 160, имеющей координаты 49.7841[°] N, 77.96722[°] E [1].

Е – химический взрыв мощностью 20 тонн, произведенный на глубине 25 м в подзоне горного массива Дегелен во время совместного Американо-Советского Эксперимента, осуществленного бывшей Академией Наук СССР и Советом по Охране Природных Ресурсов США [2].

F – по предположению Hansen и др. [3], сделанному при изучении среднеквадратичных отклонений Lg волн, этот химический взрыв является подземным ядерным испытанием. SR – в [12] перечислено 15 химических взрывов как подземных ядерных испытаний на СИП со следующими значениями mb:

1 - 4.9: 2 - 5.2. 3 - 504 - 4.9; 5 - 4.6; 6 - 5.2; 9 - 4.6; 7 - 4.7; 8 - 4.6; 10 - 4.6; 11 - 4.6; 12 - 4.1; 13 - 5.0; 14 - 5.0; 15 - 4.4; 16 - 5.2; 17 - 5.0.

Большая часть значений магнитуд приведена по данным Hagfors Observatory (HFS). В среднем, HFS- магнитуды больше, чем NORSAR- магнитуды приблизительно на 0.6-0.8 единиц.

Литература

Все 29 химических взрывов являются сейсмическими событиями, данные по которым полезны при изучении возможностей обнаружения событий, а также для оценки различных методов идентификации одиночных взрывов и землетрясений.

Благодарность

Мы благодарим Dr. Frode Ringdal из NOR-SAR и доктора Юрия Копничева из КСЭ ОИФЗ РАН, которые внесли значительный вклад в обнаружение взрывов и определение магнитуд каждого события.

- Adushkin, V., Pernik, L., and Spivak, A. (1997), *Degelen Mountain chemical explosion cratering experiment*, Institute for Dynamics of the Geospheres, Technical Report No 97-3011 to DSWA, 110 p.
- Given, H.K., Tarasov, N.T., Zhuravlev, V.V., Vernon, F.L., Berger, J., and Nersesov, I.L., (1990), High-frequency seismic observation in Eastern Kazakhstan, USSR, with emphasis on chemical explosion experiments, J. Geophys. Res., 95, 295 – 307.
- Hansen, R.A., Ringdal, F., and Richards, P.G. (1990), The stability of RMS Lg measurements and their potential for accurate estimation of the yields of Soviet underground nuclear explosions, Bull. Seism. Soc. Am., 80, 2106 2126.
- Khalturin, V.I., Rautian, T.G., and Richards, P.G. (1994), A study of small explosions and earthquakes during 1961-1989 near the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan, technical report for subcontract B239589 with Regents of Univ. of Calif., 64 p.
- Khalturin, V.I., Rautian, T.G., and Richards, P.G. (1998), The seismic signal strength of chemical explosions, Bull. Seism. Soc. Am., 88, 1511 – 1524.
- 6) Khalturin, V.I., Rautian, T.G., and Richards, P.G. (2000), A study of small magnitude seismic events during 1961 1989 on and near the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan, paper accepted for publication, Pure and Applied Geophysics, 2000.
- Lilwall, R.C., and Farthing, J. (1990), Joint epicentre determination of Soviet underground nuclear explosions 1973-1989 in Eastern Kazakhstan, AWE Report No. O 12/90, H.M. Stationery Office, London.
- Mikhailov, V.N. (editor) and 14 co-authors, (1996), USSR Nuclear Weapons Tests and Peaceful Nuclear explosions, 1949 through 1990, RFNC-VNIIEF, Sarov, 96 p.
- 9) Pooley, C.I., Douglas, A., and Pearce, R.G. (1983), The seismic disturbance of 1976 March 20, East Kazakhstan: earthquake or explosion? Geophys. J.R. Astr. Soc., 74, 621 – 631.
- Ringdal, F., Marshall, P.D., and Alewine, R.W. (1992), Seismic yield determination of Soviet underground nuclear explosions at the Shagan River test site, Geophys. J. Int., 109, 65 – 77.
- Sultanov, J.J., Adushkin, V.V., Danilova, T.V., Kaazik, P.B., Kuznetsov, O.P., Nedoshivin, N.I., and Rubinshtein, N.D. (1995), Completion of data base of PNE and large-scale chemical blasts conducted inside the territory of FSU. Institute for Dynamics of Geospheres Report to IRIS, subcontract 201, 144 p.
- 12) Sykes, L. and Ruggi, S. (1986), Soviet Nuclear Testing. Natural Resources Defense Council, Working Paper NWD 86-4, November 1986.
- Sykes, L. and Ruggi, S. (1989), Soviet Nuclear Testing. Chapter 10 in Nuclear Weapons Databook, Vol.IV, eds. Cochran, T.B., Arkin, W.M., Norris, R.S., and Sandes, J.I.
- 14) USSR Nuclear Tests (1997), Mikhailov, V.N. (editor) and 29 co-authors, UZDAT Publishing House, Moscow, 248 p.

Семей сынақ полигонында өткізілген химикалық жарылыстар

¹⁾Халтурин В.И., Раутиан ¹⁾Т.Г., Ричардс ²⁾П.Г.

¹⁾Расей ғылыми Академиясының Жер Физикасы Институты ²⁾Ламонт-Дохерт Жер Обсерваториясы мен АҚШ Колумбия университетінің Жер және экология ғылымдары Департаменті

Семей сынау полигонының териториясында 1961-1988ж.ж. кезенінде СССР одағында өткізілген 29 химиялық жарылыстардың уақыты, координаттары, магнитудалары және энергетикалық тобы туралы мәліметтері келтірілген. Авторлар есептерінің нәтижелері, және де Расей ресми жарияуларының, NORSAR(Норвегия), Hagfors (Швеция) обсерваторияларының мәліметтері қолдалынған.

Chemical Explosions During 1961 - 1988 on the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan

¹⁾V.I. Khalturin, ¹⁾T.G. Rautian, ²⁾P.G. Richards

Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades, NY 10964, and Department of Earth and Environmental Sciences, Columbia University

The paper gives us information about the time in the origin, coordinates, magnitudes and energy classes of 29 chemical explosions, conducted on the Semipalatinsk Test Site during the soviet times between 1961 and 1988. The estimates of authors, data from Russian official publications, NORSAR and Hagfros observatories were used.

УДК 541.126: 551.14] (574.41)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СКОРОСТНОГО РАЗРЕЗА ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

¹⁾Беляшова Н.Н., ²⁾Шацилов В.И., ¹⁾Михайлова Н.Н., ¹⁾Комаров И.И., ¹⁾Синева З.И., ¹⁾Беляшов А.В., ¹⁾Малахова М.Н.

¹⁾Институт геофизических исследований ²⁾Институт сейсмологии Министерства образования и науки Республики Казахстан

В статье описано использование калибровочных взрывов, произведённых на Семипалатинском испытательном полигоне в 1997 и 1998 г.г., для создания годографа и обобщённых скоростных одномерных моделей земной коры и верхней мантии платформенной части Казахстана. Приведены таблицы времен пробега P, Pn, Pg, S, Sn, Lg-волн в диапазоне от 0 до 740 км, скоростные модели: земной коры - до глубины 44 км, верхней мантии - до глубины 120 км. Новый годограф сравнен с годографами, полученными ранее КСЭ ИФЗ АН СССР и IASPEI-91.

В 1997 г. и 1998 г. на Семипалатинском испытательном полигоне проведены химические взрывы, основной целью которых было уничтожение ядерной инфраструктуры и калибровка сейсмических станций международной системы мониторинга [1]. После проведенных в 1997 г. 25тонных взрывов был построен сводный схематический годограф для расстояния до 400 км и определен в первом приближении одномерный скоростной разрез исследуемого блока земной коры Центрального Казахстана [2].

Настоящая работа посвящена уточнению полученного годографа и распространению его на большие расстояния путем дополнения данными, полученными в результате регистрации сейсмических волн от взрывов, произведенных в 1998 г. – 25-тонного на площадке Балапан и 100-тонного на горном массиве Дегелен. Общие сведения об этих взрывах приведены в табл. 1.

N₂	Дата	Время взрыва	Macca	Глубина основания	Координаты		
скважины		по GMT	заряда, кг	заряда в м от поверх-	Широта	Долгота	
				ности земли			
214	22.08.1998	05.00.18,904	100 000	146	49°46′00,0″	77°59′27,0″	
1071-бас	17.09.1998	07.19.40,55	25 000	28	49°58′51,7″	78°45′21,2″	

Таблица 1. Общие сведения об использованных калибровочных взрывах 1998 г.

Для построения годографа использовались записи стационарных сейсмических станций Национального ядерного центра Республики Казахстан Курчатов, Маканчи, Восточное, Боровое, Чкалово и Зеренда. Кроме того, была организована регистрация взрывов на близких расстояниях - от 0.1км до 15км специальной сейсмической сетью из четырех временных станций, а также регистрация взрывов еще двумя временными станциями, расположенными в районе селений Баянаул и Каркаралинск (эти станции функционировали при проведении советско-американского эксперимента в 1988 году). Сейсмические сигналы на близких расстояниях (от 0.1 км до 15 км) регистрировались с использованием оборудования лаборатории Los-Alamos и при сотрудничестве с учёными этой лаборатории. Доктора В.Ё.Ким и М.Хаггерти (Ламонт-Дохертская земная обсерватория (LDEO), Колумбийский Университет США) принимали участие в записи региональных сигналов на временных и постоянных сейсмических станциях в рамках соглашения между Консорциумом университетов (IRIS) и Национальным Ядерным Центром Республики Казахстан. Оборудование, использованное на временных станциях, являлось собственностью LDEO.

Регистрация взрывов производилась цифровой сейсмической аппаратурой по трем компонентам – Z, N-S и E-W. На временных станциях регистрацию вели станции PASSCAL, на стационарных – сейсмоприемники STS-2, REFTEK, на станциях Чкалово и Восточное – сейсмоприемники CMG-3, REFTEK, что обеспечило высокую точность определения времен, широкий частотный и большой динамический диапазон регистрации сейсмических сигналов. В табл. 2, в порядке возрастания эпицентральных расстояний, приведен перечень станций, записи которых использованы в данной работе.

Таблица 2. Временные и стационарные сейсмические станции, регистрировавшие калибровочные взрывы 1998 г., и соответствующие эпицентральные расстояния (Δ , км).

Станция	Код	Δ, км.
Взрыв 100 тонный, Дегелен.		
Выносная	S ₃	3,3
Выносная	S ₆	5,9
Выносная	S_4	11,5
Выносная	S_5	13,6
Курчатов	KUR	102
Каркаралинск	KKL	194
Баянаул	BAY	210
Маканчи	MAKZ	442
Восточное	VOS	589
Боровое	BRV	652
Чкалово	CHK	670
Зеренда	ZRN	719
Взрыв 25 тонный, Балапан.		
Каркаралинск	KKL	254
Баянаул	BAY	246

На рис.1 приведены записи Z-компоненты сейсмического поля 100- тонного взрыва, выполненные наиболее близкими станциями S₃, S₄, S₅, S₆ (табл.2), на которых по результатам анализа выделены продольные, поперечные и поверхностные волны. На рис.2 дана аналогичная запись станции Курчатов на удалении 102 км. На записи этой станции четко выделяются два вступления от 100тонного взрыва продольных Р - волн с разницей во времени 3,3с, причем второе из них по интенсивности превосходит первое. В поперечных S -волнах также выделяются два вступления, после которых наблюдаются очень интенсивные поверхностные волны. В записях 25-тонного взрыва 1997г. вторые Р и S вступления выделены не были. Как выяснилось, это отраженные от границы Мохоровичича волны P_M^{omp} и S_M^{omp} , которые чрезвычайно редко удается столь отчетливо наблюдать на сейсмических записях.

К наиболее интересной части годографа в пределах расстояний 180-250км, где происходит смена типов волн, вступающих на записи первыми, относятся записи станций Каркаралинск и Баянаул. Трехкомпонентные записи 100-тонного взрыва этих станций приведены на рис.3. Зарегистрированные продольные волны имеют сложную структуру. Начало группы продольных волн связано с малоинтенсивными низкочастотными колебаниями, продолжающимися 0,6с – 0,8с. Вслед за ними вступает высокочастотная Pn-волна, превосходящая их по интенсивности. Максимальные колебания в Рволнах связаны с Pg-волной. Их интенсивность в несколько раз превосходит интенсивность Pnволны и ее низкочастотного предшественника. В группе S волн удается выделить Sn-волну, характеризующуюся смещением доминантных периодов в более длиннопериодную область и некоторым ростом амплитуд по сравнению с P-кодой. Затем отмечается Lg-волна, с которой связан максимум интенсивности этой части записи.

На записи станции Маканчи волновая картина в Р-волнах также сложная. В течение первой секунды отмечены низкочастотные колебания слабой интенсивности. Затем четко выделено вступление высокочастотной Рп-волны. Через 8,8 с отмечено начало Рд-волны - наиболее интенсивной в группе продольных волн. В группе поперечных волн отмечены два типа волн – Sn и Lg.



Рис. 1. Записи 100-тонного взрыва выносными станциям Вертикальная компонента. (между вертикальными линиями 2 сек).



Рис.2. Запись 100-тонного взрыва. Станции Курчатов. Вертикальная компонента. (между вертикальными линиями 5 сек)

На наибольшем удалении - в сейсмической группе Боровое (рис. 4) структура записей сходна для всех станций. В Р-волнах в основном наблюдаются три вступления: низкочастотное первое, после него примерно через секунду - высокочастотное второе (Pn) и, наконец, через 10-12 секунд Рд-волна. Соотношение интенсивностей Рд и Pn волн изменилось в пользу Pn-волны. В группе S-волн

выделены Sn- и Lg- волны. Максимальные колебания относятся к Lg- волне.



Рис.3. Записи 100-тонного калибровочного взрыва. Станци Баянаул, Каркаралинск. Вертикальная и горизонтальные компоненты. (между вертикальными линиями 15 сек).



Рис.4. Записи 100-тонного взрыва. Станции сейсмической группы Боровое. Вертикальная компонента. (между вертикальными 20 сек).

Сейсмограммы всех станций были использованы для пополнения годографа, составленного по данным калибровочных взрывов 1997 г.[2]. Новые данные позволили построить годограф СК-98, приведенный на рис. 5. При его построении заполнены диапазоны расстояний, в которых у первого варианта годографа оставалась неопределенность - в области выхода в первые вступления Рп-волн (до и после). Удалось продолжить годограф до 740 км с волной Рп в первых вступлениях примерно с равномерным шагом по расстоянию. Поле дискретных значений вступлений всех типов Р и S волн переводится в систему времен пробега при помощи метода графической интерполяции соответствующих сейсмических фаз.

В начальной части годографа СК-98, на расстоянии 0-160км (станции S_3 - S_6 , Курчатов) получена уникальная для района информация о докритических отражениях волн P_M^{orp} и S_M^{orp} по так называемой "начальной точке", которая разделяет годо-

граф отраженной волны на части - докритическую и закритическую, а также контролирует начало волн Pn и Sn во вторых вступлениях. Уникальность полученных данных заключается в том, что благодаря значительной мощности взрыва и преимуществам используемой сейсмологической аппаратуры, реализованы условия выделения докритических отраженных волн от границы М, которые практически никогда не регистрируются на малых эпицентральных расстояниях при наблюдениях типа ГСЗ из-за неблагоприятных характеристик регистрирующих каналов (малый динамический диапазон, узкополосная частотная характеристика). Эти волны обычно подменяются экстравагантным набором спорадических осей синфазностей, регистрируемых на ожидаемых временах. Выделение абсциссы начала волн Pn и Sn также весьма важно и информативно, поскольку дает возможность раздельно и корректно вычислять скоростные модели земной коры и мантии.

Полученный годограф основных сейсмических волн для расстояний 0-740 км - СК- 98, в цифровом виде представлен в табл. 3. Здесь с шагом 10км-20км приведены численные значения времен пробега волн P, Pn, Pg, S, Sn, Lg.

Таблица 3. Обобщенные годографы основных сейсмических волн СК-98

Δ, км	P, Pg	Pn	S, Lg	Sn
0	0,0		0,0	
10	1,8		3,3	
20	3,5		6,3	
30	5,2		9,3	
40	7,0		12,1	
60	10,4		17,4	
80	13,6		22,9	
100	16,7	20,2	28,3	35,6
120	20,0	22,3	34,0	39,1
140	23,2	24,8	39,6	43,2
160	26,4	27,3	45,4	47,5
180	29,6	29,9	51,0	51,9
200	32,8	32,6	56,8	56,4
220	35,8	35,2	62,2	60,9
240	39,0	37,9	68,0	65,6
260	42,2	40,5	73,4	70,1
280	45,4	43,1	78,8	74,5
300	48,5	45,6	84,2	79,0
320	51,7	48,2	89,5	83,5
340	54,7	50,9	94,9	87,9
360	57,8	53,5	100,3	92,4
380	60,8	56,2	105,6	97,0
400	63,8	58,8	110,9	101,3
420	66,8	61,4	116,2	105,6
440	69,9	63,8	121,6	109,9

Δ, км	P, Pg	Pn	S, Lg	Sn
460	73,0	66,3	126,8	114,0
480	76,0	68,6	132,0	118,2
500	79,0	71,1	137,4	122,5
520	82,0	73,5	142,8	126,6
540	85,0	75,9	148,1	130,9
560	88,0	78,3	153,3	135,0
580	91,1	80,7	158,5	139,0
600	94,1	83,0	163,7	142,8
620	97,1	85,4	168,9	146,5
640	100,2	87,6	174,3	150,2
660	103,3	90,0	179,6	154,1
680	106,2	92,4	184,6	158,3
700	109,2	95,0	189,4	162,4
720	112,2	97,5	194,1	166,6
740	115,3	100,0		

Было проведено сопоставление полученного годографа СК-98 с используемым для исследуемого района годографом, составленным в Комплексной сейсмологической экспедиции (КСЭ) Института Физики Земли АН СССР в 1964 г. [3], а также с годографом IASPEI-91.

Все три модели практически одинаковы для Pn- и Sn- волн во всём изучаемом диапазоне расстояний. Для Рд волны существуют значительные отклонения вычисленных времён пробега годографов IASPEI и КСЭ. Скорость этой волны по годографу СК-98 превышает соответствующие значения в двух других моделях. В меньшей степени, но это также свойственно и Lg -волне. Расхождения в годографах становятся понятными, если учесть, что годографы, составленные по землетрясениям, характеризуют орогенную нижнюю часть земной коры, где по сравнению с платформой скорости V_р и V_s имеют меньшие значения. Новый годограф, построенный по калибровочным взрывам, является характеристикой именно платформенной коры. Совпадение годографов Рп свидетельствует о примерно равных значениях V_р в диапазоне глубин 45-120 км мантии на платформе и в орогенах.

Достигнутой длины годографов с избытком хватает для того, чтобы изучать скоростную модель земной коры на платформе на всю ее мощность по годографам P+Pg и S+Lg, описывающим «прямые» рефрагированные волны, проникающие до ее подошвы. Так, на Семипалатинском испытательном полигоне. где средняя глубина границы М - 44 км (по данным МОВЗ и ГСЗ), для ее изучения достаточна длина годографа порядка 600 км. Далее прослеживаются кулисообразные оси синфазностей, напрямую соответствующие типам волн Pg и Lg и генезису, приписываемому им в экспериментальной сейсмологии. Таким образом, реализована возможность изучения скоростных характеристик платформенной коры, а также, что особенно важно, мощного слоя верхней мантии (80км), что недоступно ГСЗ с обычной длиной годографа до 250-300км, а также сейсмологии в связи с отсутствием на платформе сильных землетрясений для ее детального изучения.

При вычислениях одномерной обобщенной скоростной модели раздельно для соответствующих годографов земной коры и мантии применено решение обратной задачи рефрагированных волн «ИНВЕРС» [4]. Алгоритм позволяет вычислить участки сечения с положительными и отрицательными значениями градиента $\partial V / \partial z$. В нашем случае среда для получения одномерного сечения была представлена в виде плоскопараллельных скоростных слоёв. Это позволило использовать алгоритм решения двумерной обратной задачи для вычисления скоростной модели. Полученные скоростные модели представлены на рис. 6 и в табл. 4, 5, 6. На рис. 6, для сравнения, показаны обобщённые модели продольных и поперечных волн земной коры, полученные ранее методом ГСЗ.

В ближайшем будущем предполагается провести проверку новой модели на тестовых примерах, в качестве которых предполагается использовать следующие данные, полученные на территории Семипалатинского испытательного полигона: новых калибровочных взрывов, проведенных в 1999 -2000 г.г., подземных ядерных и химических взрывов, проведенных в советское время; землетрясений с эпицентрами вблизи полигона. Результаты тестирования позволят оценить, насколько новая модель улучшит локализацию сейсмических событий при использовании записей различно расположенных сейсмических станций. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАЛИБРОВОЧНЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ СКОРОСТНОГО РАЗРЕЗА ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ



Рис.5. Обобщенный годограф продольных и поперечных волн для Центрального Казахстана по записям калибровочных взрывов



Рис.6. Обобщенная скоростная модель продольных и поперечных волн земной коры и верхней мантии для Центрального Казахстана по записям калибровочных взрывов (сплошная линия) и данным ГСЗ (пунктирная линия).

Таблица 4. Обобщенная скоростная модель земной коры по данным ГСЗ.

Н, км	40	37.5	35	32.5	30	27.5	25	22.5	20	17.5	15	12.5	10	7.5	5	2.5	0	Δ, км
Vs	3.99	3.93	3.91	3.89	3.85	3.82	3.79	3.77	3.78	3.77	3.70	3.67	3.64	3.63	3.60	3.45	2.90	V _s , км/с
Vp	6.74	6.75	6.80	6.86	6.87	6.75	6.57	6.45	6.35	6.28	6.30	6.30	6.30	6.20	6.15	6.00	5.25	V _р , км/с

Таблица 5. Расчетная скоростная модель земной коры по годографам от калибровочным взрывам.

	Vs	Vp			Vs		Vp
Н, км	V, км/с						
0.1	3.18	0.1	5.72	32.0	3.76	37.8	6.64
2.6	3.39	1.8	5.78	36.7	3.77	39.7	6.62
6.0	3.73	5.2	6.06	40.4	3.82	41.9	6.62
8.2	3.67	8.6	6.24	42.4	3.78	44.0	6.66
11.0	3.61	10.9	6.29	44.0	3.79		
14.4	3.60	14.3	6.31				
17.3	3.61	17.3	6.45				
21.9	3.68	18.8	6.36				
26.0	3.73	23.6	6.40				
28.6	3.73	32.1	6.52				

	$\mathbf{V}_{\mathbf{s}}$			Vp	
Н, км	Н, км	Vs	Н, км	Н, км	Vp
от поверхности	от М		от поверхности	от М	*
44.1	0.1	4.88	44.1	0.1	8.0
44.4	0.4	4.88	44.4	0.4	8.0
47.2	3.2	4.77	45.9	1.9	7.94
52.	8.6	4.70	49.7	5.7	7.84
58.4	14.4	4.65	54.3	10.3	7.81
63.9	19.9	4.67	57.6	13.6	7.88
68.7	24.7	4.67	60.9	16.9	7.82
73.9	29.9	4.65	65.1	21.1	7.80
78.6	34.6	4.70	68.8	24.8	7.82
82.0	38.0	4.74	76.2	32.2	8.05
85.1	41.1	4.75	84.6	40.6	8.24
88.2	44.2	4.77	88.4	44.4	8.31
99.7	55.7	4.93	92.6	48.6	8.35
116.2	72.2	5.16	101.2	57.2	8.47
122.2	80.2	5.25	107.6	63.6	8.62
			110.9	66.9	8.46
			115.4	71.4	8.41

Таблица 6. Расчетная скоростная модель мантии по годографам от калибровочных взрывов.

Литература.

- 1) Беляшова Н.Н., Тухватулин Ш.Т.и др .Калибровочные испытания ДВЗЯИ на Семипалатинском испытательном полигоне. 1997-2000 гг. Настоящий сборник.
- 2) Шацилов В.И., Беляшов А.В., Малахова М.Н. Использование калибровочных взрывов для уточнения скоростного разреза земной коры бывшего Семипалатинского ядерного полигона. // Тезисы докладов II Международной конференции по проблемам нераспространения ядерного оружия. Курчатов, 14-17 сентября 1998 г. С. 58.
- Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500км. Труды Института Физики Земли, М., 1964. Том 32, с. 63-87.
- Мишенькина З. Р., Шелудько И. Ф., Крылов С. В.. Использование линеаризованной постановки обратной кинематической задачи для двухмерных полей времени t(x,1) рефрагированных волн. В кн. Численные методы в сейсмических исследованиях. Изд. "Наука". Сиб. Отдел., 1983, Новосибирск, с. 140-152.

Жоғарғы мантияның және жер қыртысының шапшандық қабатын дәлдеу үшін, Семей сынақ полигонында калибрлық жарылыстардың пайдалануы

¹⁾Беляшова Н.Н., ²⁾Шацилов В.И., ¹⁾Михайлова Н.Н., ¹⁾Комаров И.И., ¹⁾Синева З.И., ¹⁾Беляшов А.В., ¹⁾Малахова М.Н.

¹⁾Геофизикалық зерттеу институты ²⁾ҚР Білім және ғылыми министрлігінің сейсмология институты

1997 және 1998 жылдары бұрынғы Семей полигонында 25 және 100 тонналық зарядпен жасалған дәлдіктеу жарылыстарды, 0-ден бастап 720 км ара қашықта орналасқан Қазақстан аумағында бір қатар сандылық сейсмикалық станциялар тіркеді.Қазақстанның тұғырнамалық бөліміндегі қыртыстың және жоғарғы жақтағы мантияның годографын және бір өлшемдегі жылдамдықтардың жинақталған моделін жасау үшің, сейсмограммалар қолданылған. 0-ден бастап 740 км ауқымда P, Pn, Pg, S, Sn, Lg толқындардың өту уақыты кестемелері, қыртыстың 44 км тереңдікке шеін және жоғарғы жақтағы мантияның 120 километр тереңдікке шеін жылдамдылық моделі көрсетілген. Жаңадан жасалған годографты қолданып жүрген КСЭ және IASPEI - 91 годографтармен салыстыру жұмысы өткізілді.

Using Calibration Explosions at Semipalatinsk Test Site for Adjustment of Velocity Cross-Section of Earth Crust and Upper Mantle

¹⁾ N.N. Belyashova, ²⁾V.I. Shatsilov, ¹⁾N.N. Mikhailova, ¹⁾ I.I. Komarov, ¹⁾ Z.I. Sinyova, ¹⁾A.V. Belyashov, ²⁾M.N. Malakhova

¹⁾Institute of Geophysical Research ²⁾Institute of Seismology, Ministry of Education and science, Republic of Kazakhstan

The calibration explosions, conducted at former Semipalatinsk test site in 1997 and 1998, with charge of 25 tons and 100 tons, were recorded by a number of digital seismic stations, located in Kazakhstan at distances varying from 0 to 720 kilometers. The recorded seismograms were used for creation of travel time curves and generalized onedimensional velocity models of the crust and upper mantle of the platform region of Kazakhstan. The travel time tables were obtained for the P, Pn, Pg, S, Sn, Lg phases for a distance range from 0 to 740 kilometers, and velocity model of the Earth's crust to the depth 44 kilometers and the mantle to the depth up to 120 kilometers. A comparison of compiled hodograph with existing CSE and IASPEI-91 hodopraphs was made. УДК [550.34: 621.039.9 (24)] (54)

ИНДИЙСКИЙ И ПАКИСТАНСКИЙ ПОДЗЕМНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ 1998Г. ПО ДАННЫМ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ

Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И.

Институт геофизических исследований

По цифровым данным 8 сейсмических станций Казахстана, находящихся на расстояниях $16^{\circ} - 26^{\circ}$ от источников взрывов, проведено изучение Индийского (11.05.1998 г). и Пакистанского (28.05.1998 г.) взрывов: проанализирована волновая картина записей, определены кинематические и динамические характеристики волн P_n и S_n, азимуты на эпицентр. Локализация эпицентра Индийского взрыва проведена по данным как совместно с Пакистанской станцией NIL, так и только по казахстанской сети. Результаты сопоставлены с данными, приводимыми в каталогах REB и USGS. Различие в определениях эпицентра составляет для Индийского взрыва 7-12 км, для Пакистанского - 22-25 км.

Создание Международной системы мониторинга (IMS) за соблюдением Договора о всеобщем запрещении ядерных испытаний предполагало, что сетью IMS будут надежно обеспечены обнаружение и идентификация ядерных взрывов мощностью > 10 кТ (m_b >5). Более слабые взрывы могут быть зарегистрированы не всей сетью станций, а только станциями, расположенными на региональных расстояниях от испытательных полигонов. Сейсмические станции Казахстана относительно полигонов в Индии и Пакистане расположены именно на таких расстояниях. Поэтому интерес к опыту решения задач Международного мониторинга по событиям в Индии и Пакистане, достаточно велик.

В 1998 г. на казахстанских станциях получены цифровые записи от подземных ядерных взрывов (ПЯВ) Индии и Пакистана - первые записи ПЯВ из этих районов за все время работы станций в составе Национального ядерного центра Республики Казахстан, что очень важно для последующей разработки методик распознавания взрывов и землетрясений. В данной работе использовались записи сейсмических станций НЯЦ РК Боровое, Чкалово, Восточное, Зеренда, Курчатов, Маканчи [1, рис.1]. Дополнительно привлекались данные двух других станций, находящихся на территории Казахстана - Талгар и Подгорное, обслуживаемых Комплексной сейсмологической экспедицией Объединенного Института Физики Земли Российской Академии наук [1, рис.1]. Основные характеристики станций казахстанской сейсмической сети приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики станций казахстанской сейсмической сети

№	Станция	Код	Широта	Долгота	Высота над уровнем моря	Тип сейсмоприемника
1.	Боровое	BRV	53,0578	70,2828	315	CMG-3
2.	Чкалово	СНК	53,6758	70,6150	240	STS -2
3.	Восточное	VOS	52,7228	70,9800	450	STS -2
4.	Зеренда	ZRN	52,9508	69,0039	420	STS -2
5.	Курчатов	KUR	50,7150	78,6208	240	STS -1
6.	Маканчи	MAKZ	46,8078	81,9769	600	STS -1
7.	Талгар	TLG	43,2487	77,2237	1215	CMG -3
8.	Подгорное	PDG	43,3274	79,4849	1300	CMG -40T

Использовались также данные Пакистанской станции NIL, расположенной в 740-750 км к северу от Индийского испытательного полигона. Ее координаты: 33,6506N и 73,2686E. Эта станция входит в Глобальную сейсмическую сеть (GSN). Данные этой станции доступны для получения через каналы Internet.

Индийский подземный ядерный взрыв 11.05.1998 г.

По отношению к месту Индийского подземного ядерного взрыва сейсмические станции Казахстана расположены на расстояниях $\Delta = 16^{\circ} - 26^{\circ}$. Известно, что в этой зоне волновая картина отличается сложностью, затруднения в ее интерпретации связаны с трудностями идентификации отдельных

типов волн. На рис. 2 приведены записи вертикальной Z и горизонтальной E-W компонент сейсмического поля от подземного ядерного взрыва по всем восьми станциям.



Рис.2. Сейсмограммы подземного ядерного взрыва в Индии 11 мая 1998г. Казахстанская сейсмическая сеть станций (Z и E-W компоненты).

Продольные волны Рп.

В начальной части записей различных станций наблюдается существенно разный вид Pn волны. Как видно из рис.3, со слабых нечетких вступлений начинается P - волна на записях станций, наиболее близких к эпицентру взрыва, Талгар и Подгорное (∆=16,5° и 16,9°- соответственно). Затем, в течение первых 10 секунд, наблюдаются два более интенсивных вступления. Подобную форму имеют Pn -колебания на записи станции NIL. Эта станция наиболее близка к эпицентру взрыва, она находится в Пакистане на расстоянии 6,76°. Основному вступлению Pn - волн предшествует постепенное увеличение амплитуды на Z компоненте. Разница во времени между основным вступлением Рп и началом предшествующего роста амплитуды Р записи составляет 1,4 с. для станции NIL На записях станции Талгар эта разница составляет 1,3 с, станции Подгорная - 1,5с, т.е. приблизительно совпадает со станцией NIL. Возможное объяснение существования предшественника Pn - волны дали Халтурин В., Ричардс Р., Ким [2], считая, что наблюдаемый предшественник является длиннопериодной частью излучения, проходившего под слоем с высоким положительным скоростным градиентом и распространяющегося с более высокой скоростью, чем Рп.

На более далеких станциях - Маканчи, Курчатов, станциях группы Боровое, такого предшествующего Pn- волне вступления, не замечено. Начало записи Pn - волн четкое, особенно, на станциях Боровое, Зеренда, Чкалово, Восточное (рис. 4). Эти станции находятся на расстояниях $\Delta = 25^{\circ} - 25.9^{\circ}$. Здесь Pn - волна достигает максимума амплитуды в первые две секунды колебаний, на других станциях - в течение 4с - 7с.

С использованием первых вступлений Pn волны (примерно трех начальных периодов), рассчитаны азимуты на эпицентр Индийского взрыва. Полученные значения («наблюденные») были сопоставлены с азимутами, рассчитанными на основе каталога REB (назовем их «расчетными»), составляемого в PIDC -прототипе международного центра данных. В табл. 2 приведены результаты сопоставления азимутов.

Из таблицы видно, что по данным станций, расположенных в северной и восточной частях Казахстана - Боровое, Чкалово, Зеренда, Восточное, Курчатов, - получены достаточно точные значения азимута на эпицентр взрыва. Разница между значениями, определенными по наблюденным данным этих станций и по данным каталога REB, не превышает $0,4^\circ$ - 2° . Это может свидетельствовать о наличии четких горизонтальных границ, ответственных за образование Pn - волн. По другим станциям отличие в значениях азимута достаточно велико ($8-24,9^\circ$). Все эти станции расположены в сейсмичных районах с более сложным глубинным строением, что может повлиять на точность определения азимута.

Станция		Азимуты		Эпицентральное
	Наблюденный	Расчетный	δAz	расстояние 🛆
Талгар	204,7°	196,7°	8.0	16,4°
Подгорное	177,8°	202,7°	24.9	16,9°
Маканчи	191,0°	204,4°	13.4	20,3°
Курчатов	194,5°	194,1°	0.4	23,4°
Восточное	177,1°	176,3°	0.8	24,9°
Боровое	178,4°	176,4°	2.0	25,9°
Чкалово	177,3°	176,4°	0.9	25,9°
Зеренда	172,5°	172,0°	0.5	25,0°

Таблица 2. Сопоставление значений азимутов. Индийский взрыв 11.05.1998г.

Поперечные Sn - волны.

На рис. 5 –7 приведены трехкомпонентные записи Индийского ядерного взрыва, полученные станциями Талгар (рис.5), Курчатов (рис.6), Восточное (рис.7). На фоне Р - волн поперечные волны выделяются не очень уверенно. По интенсивности поперечные волны значительно уступают Р волнам. Однако об их вступлении свидетельствует изменение спектра колебаний: переход к S - волнам характеризуется увеличением периода колебаний. Для большей достоверности при выделении вступления Sn - волн использовался годограф, построенный для Средней Азии в КСЭ ИФЗ АН СССР Нерсесовым И.Л. и Раутиан Т.Г. [3]. Наиболее четко поперечные волны выделены по записям станций Курчатов, Восточное (рис.6, 7).

Кинематические и динамические характеристики сейсмических колебаний.

По выделенным на записях продольным и поперечным волнам с использованием программного пакета DIMAS [4] определены приведенные в табл.3 кинематические и динамические характеристики сейсмических волн.



Рис.3. Сейсмограммы Индийского подземного ядерного взрыва, 11 мая 1998. Сейсмические станции Талгар (TLG) и Подгорное (PDG). Р-фаза.



Рис. 4. Сейсмограммы Индийского подземного ядерного взрыва, 11 мая, 1998. Сейсмические станции большебазовой сейсмической группы Боровое. Р-фаза.



Рис. 5. Записи Индийского подземного ядерного взрыва 11.05.98 по станции Талгар.



Рис. 6. Записи Индийского подземного ядерного взрыва 11.05.98 по станции Курчатов.



Рис. 7. Записи Индийского подземного ядерного взрыва 11.05.98 по станции Восточное.

Таблица 3 Кинематические и динамические характеристики сейсмических колебаний в группах Р- и S- волн. Индийский подземный ядерный взрыв 11.05.1998 г.

N⁰	Станция	Компонента	Фаза	Время	А, мкм/с	T, c
				вступления		
1.	Талгар (TLG)	Z Z Z N-S E-W	$\begin{array}{l} + iP \\ eP_n \\ iP_2 \\ P_{max} \\ P_{max} \\ P_{max} \end{array}$	10.17.38,55 10.17.39,78 10.17.44,05 10.17.44,85 10.17.44,90 10.17.45,97	0,103 0,492 1,39 1,39 1,01 0,597	0,46 0,69 1,01 1,01 1,05 0,64
		N-S E-W	eS _n eS _n S _{max}	10.21.02,96 10.20.51,46 10.21.07,42	0,202	1,88
		N-S E-W Z	S _{max} S _{max}	10.21.06,46 10.20.52,93	0,20 0,169	2,00 2,50
		Z Z Z	eP eP _n iP ₂	10.17.45,2 10.17.46,7 10.17.50,4		
2.	Подгорное	Z N-S E-W	P _{max} P _{max} P _{max}	10.17.51,42 10.17.51,45 10.17.52,15	0,423 0,184 0,076	0,68 0,79 0,73
	(120)	E-W	iS _n	10.20.55,91		
		E-W N-S Z	S _{max} S _{max} S _{max}	10.20.55,8 10.20.55,6 10.20.56,6	0,029 0,0236 0,0125	1,49 1,16 0,85
		Z	+ iP _n	10.18.31,85		
	Mayanny	Z N-S E-W	P _{max} P _{max} P _{max}	10.18.35,65 10.18.35,74 10.18.35,2.	0,58 0,46 0,175	0,71 0,87 0,43
3.	(MAKZ)	N-S	eS _n	10.22.19,73		
		N-S E-W Z	$egin{array}{c} S_{max} \ S_{max} \ S_{max} \ S_{max} \end{array}$	10.22.20,89 10.22.20,89	0,015 0,015	0,85 0,95
		Ζ	$+iP_n$	10.19.00,53	0,15	0,45
		Z N-S E-W	P_{1max} P_{1max} P_{1max}	10.19.01,53 10.19.01,46 10.19.01,25	0,31 0,2 0,1	0,55 0,52 0,43
		Ζ	iP ₂	10.19.07,27		
4.	Курчатов (KUR)	Z N-S E-W	$\begin{array}{c} P_{2max} \\ P_{2max} \\ P_{2max} \end{array}$	10.19.07,79 10.19.08,36 10.19.10,91	0,46 0,40 0,20	0,87 0,94 0,74
		N-S	eS _n	10.23.23,07		
		N-S E-W Z	$\begin{array}{c} S_{max} \\ S_{max} \\ S_{max} \end{array}$	10.23.34,66 10.23.27,87 10.23.32,46	0,14 0,075 0,083	3,60 3,80 4,40

ИНДИЙСКИЙ И ПАКИСТАНСКИЙ ПОДЗЕМНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ 1998 г. ПО ДАННЫМ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ

N₂	Станция	Компонента	Фаза	Время	А, мкм/с	T, c
				вступления	,	,
		Ζ	+ iP _n	10.19.18,14		
		Z	Pmax	10.19.20.52	0.565	0.91
		N-S	Pmax	10.19.20.58	0.535	0.38
		E-W	Pman	10 19 20 16	0.067	0.38
5	Боровое	2.0	1 max	10.19.20,10	0,007	0,50
5.	(BRV)					
	(2111)	N-S	eeS.	10 23 59 51		
		110	ces _n	10.25.57,51		
		N-S	S	10 24 05 49	0.10	2.59
		F-W	S	10 24 03 23	0.093	4 69
		7	S S	10 24 03 55	0.12	3,23
			Umax	10.24.05,55	0,12	5,25
		7	+iP	10 19 18 02	0 344	0.32
			· II n	10.17.10,02	0,511	0,52
		Z	Р	10 19 19 88	0 553	0.91
		N-S	P max	10 19 19 92	0,426	0.91
		F-W	P max	10.19.19,92	0,720	0.48
	Зеренца	L- W	1 max	10.17.20,40	0,770	0,40
6.	(ZRN)	NS	See	10 23 51 10		
		11-5	ces _n	10.23.31,19		
		N-S	S	10 24 04 04	0.11	3 37
		F-W	S S	10 23 57 55	0.083	3 89
		7	S S	10.23.37,33	0.15	4 67
			Umax	10.24.10,72	0,15	4,07
		Z	+iP.	10 19 15 03	0 494	0.80
			· • • •	10.17.10,00	0,191	0,00
		Ζ	Pmax	10.19.17.07	1.05	0.72
		N-S	Pmax	10.19.17.10	0.656	0.78
		E-W	Pmax	10.19.18.1	0.216	0.46
7.	Восточное		- max		•, •	•,••
	(VOS)	N-S	eS.	10 23 54 53		
		11.0	•211	10.20.0 1,00		
		N-S	Smax	10.24.03.1	0.073	4.29
		E-W	Smax	10.24.07.22	0.087	2.74
		Z	S	10 23 57 5	0.14	3 94
			~ max		~,- ·	-,
		Ζ	+iP _n	10.19.23,48	0.439	0,56
	TT		11	,-		, · · ·
8.	Чкалово	Ζ	P _{max}	10.19.23,86	0,439	0,56
	(CHK)	N-S	Pmax	10.19.27.14	0.118	0.58
		E-W	Pmax	10.19.27.19	0.118	0.53
			- max		\$,110	0,00

Результаты локализации источника взрыва По полученным данным с использованием системы анализа сейсмических данных DataScope [5] были определены координаты места проведения Индийского взрыва. Выполнено два варианта расчетов: первый - только по данным казахстанских станций (Kaznet), второй - по данным пакистанской станции NIL и казахстанских станций (Kaznet + NIL). Результаты определений сведены в в табл. 4.

Таблица 4 Данные разных источников о локализации эпицентра Индийского подземного ядерного взрыва 11 мая 1998г.

Параметры взрыва	REB	USGS	Kaznet + NIL	Kaznet
Исходное время	10.13.42,0	10.13.42,0	10.13.43,714	10.13.43,121
Широта	27,072N	27,102N	27,098N	27,031N
Долгота	71,761E	71,851E	71,924E	71,947E
			Δ_{REB} =16km , Δ_{USGS} =7,5km	Δ_{REB} =19km, Δ_{USGS} =12km

Поскольку реальные координаты места взрыва оставались неизвестными, точность полученных нами оценок определялась по их сопостав-

лению с данными каталогов REB и USGS. На рис.8 приведен эллипс ошибок определения эпицентра, построенный по имевшимся данным. Различие ме-

жду решениями REB и (Kaznet + NIL) составляет 16 км, между решениями REB и Kaznet - 19км. С данными USGS наши решения согласуются лучше. Различие в определении эпицентра USGS и (Kaznet + NIL) составляет 7,5км, USGS и Kaznet - 12км.

Расчет значения магнитуды взрыва.

Для расчета значения магнитуды m_b подземного ядерного взрыва записи скорости были преобразованы в записи смещений короткопериодного канала СКМ. По этим смоделированным записям определялись амплитуды и периоды, необходимые для расчетов. Магнитуда МРVА (магнитуда по продольным волнам, вертикальная компонента каналов типа А) определялась с использованием калибровочной кривой, принятой в бывшем СССР, по записям, полученным на эпицентральных расстояниях >20°. Среднее значение m_b по данным казахстанских станций получилось равным 5,0.

Пакистанские подземные ядерные взрывы 28.05.1998 г. и 30.05.1998 г.

Перед проведением Пакистанского подземного ядерного взрыва 28.05.1998 г. пакистанская станция NIL прекратила передавать свои данные по обычным каналам связи в Международные центры данных. Сейсмические станции, расположенные на территории Казахстана, оказались одними из наиболее близко расположенных к району взрыва - их эпицентральные расстояния составляют 17,4° - 25,1°.

На рис. 9 приведена запись Пакистанского подземного ядерного взрыва 28.05.1998 г. станцией Чкалово. Волновая структура записей Пакистанского взрыва, как это можно видеть из рисунка, аналогична записям Индийского взрыва. Вся полученная от станций информация (кроме станции Маканчи) была проанализирована и обработана так же, как в случае Индийского взрыва. По записям станций были выделены две основные группы волн - Pn и Sn, определены их характеристики - времена вступлений, наступлений максимума, амплитуды и периода.

Координаты места проведения взрыва определены по временам вступлений Рп. Результаты расчетов приведены в табл 5.



Рис. 8. Сравнение локализации Индийского ядерного взрыва, полученной различными сейсмическими организациями (REB, USGS, KazNDC). 1. Решение, при котором использовались данные только казахстанских станций. 2. Решение, при котором использовались данные как казахстанских станций, так и станции NIL (Пакистан).

Таблица 5 Данные разных исто	очников о локализации эг	пицентра Пакистанского	подземного ядерного взрыва 28
мая 1998г			

Параметры взрыва	REB	USGS	Kaznet
Исходное время	10.16.17,0	10.16.151,2	10.16.18,0
Широта	28,903N	28,862N	28,753N
Долгота	64,893E	64,818E	65,046E
			Δ_{REB} =22km, Δ_{USGS} =25km

Так же как в случае Индийского взрыва оценки, полученные по данным станций, расположенных на территории Казахстана, сравнивались с данными каталогов REB и USGS. Как видно из табл. 5, результаты определения эпицентра Пакистанского взрыва несколько хуже соответствуют решениям REB и USGS. Различие между решениями REB и Kaznet составлет 22 км, между решениями USGS и Kaznet - 25км. Ухудшение результата может быть связано с использованием данных меньшего количества станций. На рис. 10 приведен эллипс ошибок определения эпицентра, отражающий полученные результаты.

Расчет значения магнитуды взрыва m_b дал значение 4,6.

Пакистанский подземный ядерный взрыв 30.05.1998 г. был произведен примерно в 06.54.57. Перед этим в пограничном районе Афганистан - Таджикистан произошло сильное землетрясение. Его основные параметры: t_0 =06.22.29,0 ϕ =37,1°N, λ =70,14°E, h=33км, M_b=6,1, M_s=6,7. На рис.11 при-

ведена запись Афганского землетрясения, зарегистрированная станцией Маканчи. На записи курсором отмечено время предполагаемого вступления Р - волны от Пакистанского взрыва 30.05.1998 г. Факт совпадения начала взрыва с "хвостом" записи землетрясения затруднял обнаружение Пакистанского подземного ядерного взрыва 30.05.1998 г.

Примеры трехкомпонентных записей Пакистанского подземного ядерного взрыва 30.05.1998 г. показаны на рис.12 по данным группы станций Боровое. Выделить на записях продольные волны удалось с помощью узкополосных высокочастотных фильтров. Времена вступлений определены с допустимой точностью и соответствуют расчетным по годографу IASPEI. Относительные времена вступлений по записям, выполненным разными станциями, аналогичны данным взрыва 28 мая 1998 г. Это подтверждает что анализируемые сигналы действительно относятся к событию 30.05.1998 г.



Рис. 9. Записи Пакистанского подземного ядерного взрыва 28.05.98 по станции Чкалово.



Рис. 10. Сравнение локализации Пакистанского подземного ядерного взрыва 28 мая 1998 г., полученной различ ными сейсмическими организациями (REB, USGS, KazNDC).

Таким образом, сейсмические станции, расположенные на территории Казахстана, зафиксировали три подземных ядерных испытания. Для них выполнен анализ сейсмических записей, определено местоположение, магнитуда событий. Выполнена оценка точности локализации событий. Дальнейшее повышение точности выявления и локализации подземных ядерных взрывов только по данным сейсмических станций Казахстана связано, вопервых, с привлечением информации локальных сейсмических групп – Боровое ("ожерелье"), Курчатов("крест") и новой сейсмической группы в Маканчи. Во-вторых, будут уточнены и использованы для анализа региональные скоростные модели среды Средней Азии и Казахстана, в частности, с привлечением специально проводимых для этих целей мощных калибровочных взрывов 1997-2000 г.г. После ввода в действие спутниковой системы связи, данные казахстанских сейсмических станций, переданные наряду с казахстанским Центром сбора и обработки данных в Международный центр данных (IDC IMS), будут совместно обрабатываться с данными других станций мира с привлечением более эффективных средств, что приведет к большей надежности контроля за выполнением Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.



Рис.11. Сейсмограммы Афганского землетрясения 30 мая 1998. Положение курсора показывает начало записи Пакистанского подземного ядерного взрыва.



Рис 12. Сейсмограммы Пакистанского подземного ядерного взрыва 30 мая 1998г. Применен полосовой фильтр 2 - 6 Гц.

Литература

- 1) Беляшова Н.Н., Малахова М.Н. Сейсмологическая сеть Национального ядерного центра Республики Казахстан как составная часть Международной системы мониторинга ядерных испытаний. В данном сборнике.
- 2) Vitaly I. Khalturin, Paul G. Richards, Won-Young Kim. Analysis of the Nilore, Pakistan, seismograms of the Indian nuclear explosions of 1998 May 11. Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University.
- Нерсесов И.Л., Раутиан Т.Г. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3 500. Труды Института Физики Земли, М., 1964. Том 32, с. 63-87.
- 4) DIMAS. Operations manual for USGS display, interactive manipulation and analisys of seismograms. Albuquerque Seismological laboratory U.S. Geological Survey, 1997.
- 5) IRIS Joint Seismic Program Center University of Colorado Physics Department,.

Қазақстан сейсмикалық жүйесінің бақылау мәліметтері бойынша, 1998 ж. Индия мен Пәкістанда өткізілген жер астындағы ядролық жарылыстардың сейсмограммаларың талдауы

Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И.

Геофизикалық зерттеу институты

Қазақстандағы сейсмикалық станциялардың (барлығы 8 станция) сандылық мәліметтері бойынша, жарылыстың шығу негізінен 16°-26° ара қашықта тұрған Индиядағы 11.05.1998ж. және Пәкістандағы 28.05.1998ж. жарылыстардың жазбасы бойынша толқын суреттерінің талдауы өткізілді, Рп және Sn толқындардың кинематикалық және динамикалық сипаттамалары, эпиорталыққа бағыттары анықталды. Қалай Пакистандық NIL станцияның, солай тек қана Қазақстандық торының мәліметтерімен бірге өткізілген жарылыстың эпиорталығын тәңіректеу, нәтижелерді көрсетті, ол REB жәңе USGS тізбелерімен айырмашылығын көрсетеді Индиядағы жарылыс үшін 7км - 12км, Пәкістандағыға 22км - 25км.

Indian and Pakistani Underground Nuclear Explosions of 1998, Basing on Data from Kazakhstan Seismic Observation Network

N.N. Mikhailova, I.I. Komarov, Z.I. Sinyova

Institute of Geophysical Research

The analysis of wave characteristics of Indian (May, 11 1998) and Pakistani (May, 28 1998) nuclear explosions records was made, using digital data from seismic stations, located in Kazakhstan (total number of 8 stations) at distances from 16° to 26° from the source of explosions; kinematics and dynamical characteristics of P_n and S_n phases, as well as azimuths from stations to epicenter were determined. The results of location of explosion epicenter, using data from Kazakhstan stations only, and also from Kazakhstan stations together with Pakistani NIL seismic station, differ by 7 - 12 kilometers for Indian explosion, and on 22 - 25 kilometers for the first Pakistani explosions from location results, given in REB and USGS catalogues. m_b magnitudes determined from Kazakhstan data, were equal to 5,0 for Indian explosion, and 4,6 for Pakistani explosion of May, 28 1998.

УДК [621.039.9+550.348]: 007(511)

РАСПОЗНАВАНИЕ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЯХ ДЛЯ ПОЛИГОНА ЛОБНОР

²⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Шепелев О.М., ¹⁾Соколова И.Н.

¹⁾Институт геофизических исследований ²⁾Комплексная сейсмологическая экспедиция ОИФЗ РАН

Приводятся результаты исследований по распознаванию ядерных взрывов на полигоне Лобнор (северозападная часть Китая) и близких землетрясений. Использовались записи периода 1976-1999 гг, полученные станциями на территории Казахстана - Талгар (TLG), Подгорное (PDG), Зеренда (ZRN), Маканчи (MAK) и Чумыш (CHM),- расположенными на региональных расстояниях от полигона Лобнор, Изучались амплитудные отношения Pg/Pn, Sn/Pn, Sm/Pn, Lg/Pn и отношения амплитуд в коде к Pn. Примененный метод показал высокую эффективность распознавания подземных ядерных взрывов в определенных частотных диапазонах, различных для разных станций: около 5 Гц - для станций Талгар и Зеренда, около 2,5 Гц - для станций Маканчи и Чумыш, около 1,25 Гц – для станции Подгорное.

Введение

Проблема сейсмического распознавания подземных ядерных взрывов и землетрясений приобрела особую актуальность после ядерных испытаний, проведенных Индией и Пакистаном в 1998 году [9]. Решение проблемы наиболее сложно для сравнительно слабых событий (mb<4.5) и на региональных расстояниях (от нескольких сотен до 2-2.5 тыс. км). При таких расстояниях регулярные сейсмические волны распространяются в земной коре и верхах мантии и на их динамических характеристиках значительно сказываются изменения скорости и поглощения, связанные с неоднородностью среды в литосфере и астеносфере [1, 7, 8, 13]. Это вынуждает сопоставлять сейсмические записи взрывов и землетрясений в пределах сравнительно небольших районов. В таком случае для получения более или менее представительной выборки данных приходится использовать записи, накопленные в течение относительно длительного периода времени. Однако анализ данных осложняет изменение технических характеристик аппаратуры, используемой в различные периоды времени.

В настоящей статье приведены результаты исследований по распознаванию ядерных взрывов на региональных расстояниях - на полигоне Лобнор, расположенном в северо-западной части Китая, и близких к нему землетрясений. Отличие выполненных исследований от приводимых в некоторых зарубежных публикациях последних лет [10– 12,14,16] состоит в следующем. Во-первых, использованы данные по взрывам и землетрясениям за значительно более длительный период времени (1976-1999 гг.). Во-вторых, обрабатывались записи сейсмических событий, полученные на станциях, ранее не использовавшихся для решения задачи распознавания (PDG, CHM). В-третьих, проведен более детальный частотно-временной анализ записей с целью выявления наиболее эффективных критериев распознавания. Отличие выполненных работ от описанных в [6] заключается в том, что использованы в основном записи станций, более близких к полигону Лобнор, а также сейсмические события из сравнительно небольшого района и только Центральной Азии, в пределах которого находится полигон (рис.1). Кроме того, при обработке записей, полученных разнородной аппаратурой, применялась узкополосная частотная фильтрация, что позволило исключить эффекты, связанные с различием частотных характеристик приборов и существенно уменьшило разброс данных.



Рис. 1. Карта расположения сейсмостанций и эпицентров событий. (Треугольниками обозначены сейсмостанции, звездочками – подземные ядерные взрывы, кружками – землетрясения.)

Система наблюдений и использованные материалы

Для изучения использовались записи, полученные на станциях Комплексной сейсмологической экспедиции Объединенного института физики Земли РАН (TLG, PDG), Института геофизических исследований Национального ядерного центра РК (MAKZ, ZRN), Института сейсмологии РК (PDG) и Института сейсмологии Республики Кыргызстан (СНМ). На рис. 1. приведена карта расположения сейсмических станций и эпицентров исследуемых событий.

Было обработано 60 записей по 35 событиям из района, ограниченного координатами 39°- 43° северной широты и 86°- 92° восточной долготы. Параметры обработанных событий приведены в табл.1. Диапазон магнитуд m_b для обработанных событий - 3,4 - 6,2. Эпицентральные расстояния составляли 550 - 2300 км.

В настоящей работе использовались данные, полученные с помощью сейсмических станциях разных типов, данные о которых приводятся в табл. 2 [2-5, 17].

Таблица 1. Параметры обработанных событий из района полигона Лобнор.

Широта	долгота	Глубина	Дата, время	тип	m _b	Ms	Ml	Станции
41,64	88,21	33	10/17/1976 (291) 5:00:03.8	-	4.90			TLG
40,76	89,66	33	11/17/1976 (322) 6:00:17.600	-	4.60			TLG
43,735	87,283	22	5/16/1983 (136) 16:30:01.400	-	4.90	3.60		TLG
39,7	90	0	6/09/1983 (160) 6:25:16.000	-	4.40			TLG
41,161	93,274	33	9/04/1984 (248) 5:23:32.100	-	4.90			TLG
41,54	88,67	0	10/03/1984 (277) 5:59:57.900	ex	5.40			TLG
42,042	84,394	50	11/20/1986 (324) 2:40:25.600	-	4.60			TLG
41,584	88,737	0	6/05/1987 (156) 4:59:58.300	ex	6.2	4.4		TLG
41,566	88,688	0	5/26/1990 (146) 7:59:57.800	ex	5.40			PDG
41,37	87,5	33	12/18/1991 (352) 13:44:03.900	-	4.50			TLG
41,604	88,81	0	5/21/1992 (142) 4:59:57.500	ex	6.50	5.0		PDG
42,904	87,045	33	4/14/1993 (104) 8:31:09.700	-	4.40		4.80	ZRN
41,54	88,74	0	6/10/1994 (161) 6:25:58.000	ex	5.80	4.1		PDG
41,58	88,77	0	10/07/1994 (280) 3:25:57.900	ex	5.9	4.5		CHM, MAKZ
42,422	87,199	22	3/18/1995 (077) 18:02:36.600	-	5.20		5.40	ZRN
41,59	88,82	0	5/15/1995 (135) 4:05:57.900	ex	6.0	5.00		ZRN
42,513	86,678	33	7/05/1995 (186) 23:38:48.900	-	4.50			MAKZ, TLG
41,631	88,447	10	8/02/1995 (214) 11:59:43.900	-	4.10			CHM, MAKZ, ZRN
41,56	88,79	0	8/17/1995 (229) 0:59:57.900	ex	5.9	5.7		CHM, ZRN, PDG
42,117	86,911	33	12/12/1995 (346) 17:31:16.800	-	4.30			TLG, ZRN
42,182	87,627	24	3/20/1996 (080) 2:11:21.900	-	4.80			CHM, MAKZ, ZRN
41,8	88,2	30	5/10/1996 (131) 11:26:05.000	-	3.80			MAKZ
41,60	88,66	0	6/08/1996 (160) 2:55:58.00	ex	5.7	4.4		CHM, MAKZ, ZRN
41,824	88,42	0	7/29/1996 (211) 1:48:57.800	ex	4.90			CHM, MAKZ, TLG
39,606	91,569	33	8/24/1996 (237) 12:15:26.200	-				TLG, ZRN
42,34	86,99	10	2/08/1997 (039) 17:12:09.100	-	4.60			TLG
39,197	90,598	33	5/13/1997 (133) 21:13:00.300	-	3.40			TLG
42,618	86,158	22	5/27/1997 (147) 1:56:24.800	-	4.90			TLG, ZRN
39,061	89,276	33	6/08/1997 (159) 20:25:53.600	-	4.70			MAKZ, TLG, ZRN
42,554	86,008	33	2/07/1998 (038) 22:42:44.000	-	4.1			MAKZ, PDG, TLG
42,076	91,587	33	1/25/1999 (025) 19:50:05.000	-	4.80			СНМ
41,624	88,36	33	1/27/1999 (027) 6:25:01.800	-	4.50			CHM, PDG, TLG
41,674	88,463	23	1/30/1999 (030) 3:51:05.400	-	5.90	5.30	5.50	CHM, PDG, TLG
41,624	90,823	33	4/29/1999 (119) 5:27:55.200	-	4.30			PDG, TLG
42,037	87,959	21	5/01/1999 (121) 13:48:52.000	-	4.20			PDG, TLG

Станция	Я	Коорд	инаты	Высота, м	Геологи-	Апп	аратура
Название	Код	φ°, Ν	λ°, Ε	Ī	ческие усло-	Тип	Полоса пропуска-
					ВИЯ		ния, Гц
Маканчи	MAKZ	46.808	81.977	600	андезит	STS-2	0,008-45
Подгорное	PDG	43.327	79.485	1300	гранит	СКМ-3	0,5-9
_					_	CMG-40T	0,03-80
						CMG-3	0,03-80
Талгар	TLG	43.249	77.223	1120	гранит	ЧИСС	0,022-45
_					_	ACC-6/12	0,5-16
						CMG-3	0,03-80
Зеренда	ZRN	52.951	69.004	420	гранит	STS-2	0,008-45
Чумыш	CHM	42.998	74.751	655	гранит	STS-2	0,008-45

Таблица 2. Описание сейсмостанций.

Методика обработки данных

Все сейсмические данные, кроме данных ЧИСС, приводились к цифровому виду. На спектр сигнала могут влиять различные факторы, в том числе магнитуда события. Чтобы иметь возможность сопоставлять события с различной магнитудой, измерения проводились только после частотной фильтрации с помощью узкополосных фильтров. Кроме того, вероятно, существует различие в качестве распознавания взрывов для разных частотных диапазонов. На некоторых частотах различие отношений S/P для взрывов и землетрясений может оказаться очень сильным, на других же частотах это различие может быть значительно слабее. Применение нескольких узких частотных диапазонов позволяет наиболее точно определить самые эффективные в смысле распознавания диапазоны частот для каждой станции. Определение частотных диапазонов, в которых наблюдается наиболее эффективное разделение подземных ядерных взрывов и землетрясений с помощью амплитудных отношений поперечных волн к продольным, также было предметом настояшего исследования. Общий частотный диапазон определялся характеристиками аппаратуры, магнитудой и эпицентральными расстояниями большинства отобранных событий. За пределами этого диапазона отношение сигнал/шум просто не позволяет проводить измерения. Использовались фильтры с центральными частотами 0,6 Гц, 1,25 Гц, 2,5 Гц, 5 Гц и полосой пропускания 2/3 октавы. Характеристики фильтров были подобраны таким образом, чтобы обеспечить сопоставимость с аналоговыми данными ЧИСС. Преобразование данных смещения (СКМ) в данные скорости (ЧИСС, АСС-6/12, СМС-3, СМС-40Т, STS-2) или наоборот не производилось, так как такое различие данных несущественно для амплитудных отношений при использовании узкополосных частотных фильтров [Rogers et al., 1997].

Измерялись максимальные амплитуды в волнах Pg, Sn, Sm, Lg, а также в коде на 300-й, 450й и 600-й секунде от момента излучения в очаге, которые обозначались соответственно с300, с450, с600 и измерялись во временном окне от 20 с в частотном диапазоне около 0,6 Гц, до 10 с в диапазоне около 5 Гц. Sm – условное обозначение волны, приходящей после вступления Sn до вступления Lg и имеющей максимальную амплитуду в этом временном интервале. Если амплитуда Sn превышала все амплитуды в этом интервале, то считалось, что Sm совпадает с Sn (рис.2, 3). Время вступления волны Sm для разных компонент определялось независимо, то есть фактически на каждой компоненте определялись различные волны, условно названные Sm. В тех случаях, когда волновые фазы не выделяются или выделяются очень слабо, замеры амплитуды соответствующей волны не проводились. Замеры амплитуд на 300-й, 450-й и 600-й секунде от времени в очаге не проводились, если на соответствующем интервале времени еще не наблюдается затухание или амплитуды колебаний уже соответствуют уровню фона.





В некоторых случаях после частотной фильтрации уровень сигнала становится слишком слабым по сравнению с уровнем фона. В этом случае замеры также не производились.

Для анализа были использованы только отношения соответствующих амплитуд к амплитуде Pn, измеренной на той же компоненте (вертикальной или горизонтальной). Преобразование горизонтальных осей координат по азимуту не производилось. Это связано с тем, что некоторые данные, особенно старые, не позволяют производить такое преобразование достаточно корректно.





Для распознавания рассматривались следующие характеристики амплитудных отношений:

- средние выборочные значения для взрывов и землетрясений;
- дисперсии по выборке;
- коэффициент качества разделения:

$$\mathbf{K}_{qd} = \frac{\overline{\mathbf{X}}_{eq} - \overline{\mathbf{X}}_{ex}}{\sqrt{\mathbf{S}_{eq}} + \sqrt{S_{ex}}}$$

где \overline{X}_{eq} и \overline{X}_{ex} - средние выборочные значения, а S_{eq} и S_{ex} - дисперсии для землетрясений и взрывов соответственно (чем выше абсолютная величина коэффициента качества разделения, тем соответственно меньше вероятность ошибки);

- пороговое значение, при котором происходит разделение взрывов и землетрясений;
- ошибки типа «ложная тревога» и «пропуск цели».
 Здесь «ложная тревога» это количество ошибочно распознанных взрывов (т.е. землетрясений) по отношению к общему количеству событий, распознанных как взрывы, а «пропуск цели» – количество взрывов, опознанных как землетрясения, по отношению к общему количеству взрывов, для которых были сделаны замеры соответствующих параметров.

Анализ экспериментальных данных

Станция Талгар

По станции Талгар было обработано 22 события с эпицентральными расстояниями от 700 до 1200 км и магнитудами m_b 3,4 – 6,2, из них 19 землетрясений и 3 подземных ядерных взрыва. По описанной выше методике проводились измерения

по всем перечисленным волновым фазам: Pn, Pg, Sn, Sm, Lg, c300, c450, c600. Фазы c300 и c600 исключены из дальнейшего рассмотрения, так как для большинства событий в соответствии с методикой, описанной выше, они не замерялись.

На количество замеров существенно повлияло отношение сигнал/шум в рассматриваемых частотных диапазонах. В диапазоне с центральной частотой 0,6 Гц было обработано 21 событие, в диапазоне с центральной частотой 1,25 Гц – 22 события, в диапазоне с центральной частотой 2,5 Гц – 21 событие, в диапазоне с центральной частотой 5 Гц – 13 событий.

Все статистические расчеты были сделаны по выборке, без аппроксимации кривых распределения. Наилучшее распознавание наблюдается при использовании частотной фильтрации с центральной частотой 5 Гц. Это хорошо видно и по коэффициенту качества разделения, и по количеству ошибок. Фаза Рд плохо выделяется на фоне других колебаний и, видимо, по этой причине погрешности замеров сильно ухудшают её ценность. Хорошая способность распознавания по остальным параметрам на частоте около 5 Гц дает возможность использовать их в комплексе и практически исключить вероятность ошибки. Единственным серьёзным ограничением является высокий уровень шумов на этой частоте, который не позволяет в некоторых случаях сделать соответствующие замеры. Как видно из количества обработанных событий, приблизительно 40% записей выпало из рассмотрения в диапазоне частот около 5 Гц из-за высокого уровня шума. Данные по эффективности распознавания приведены в таблицах 3-5 и рис. 4. Так как преобразование горизонтальных компонент по азимуту не производилось, то результаты обработки по этим компонентам носят вспомогательный характер. На вертикальной компоненте наилучшее качество распознавания дают параметры Sm/Pn и Lg/Pn. Коэффициент качества разделения равен соответственно 1,94 и 1,68.



Рис. 4. Распределение отношений Sm/Pn для взрывов и землетрясений. Станция Талгар, канал Z.

Фильтр, Гц	Параметр	Pg/Pn	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c450/Pn
0,6	Пороговое значение	1,747	2,412	3,557	7,032	1,187
	пропуск цели	0,667	0,333	0,667	0,667	0,333
	ложная тревога	0,800	0,800	0,875	0,800	0,600
	Пороговое значение	1,621	0,867	1,267	1,691	0,303
1,25	пропуск цели	0,333	1,000	0,667	0,667	0,333
	ложная тревога	0,333	1,000	0,667	0,667	0,333
	Пороговое значение	0,708	0,501	0,578	0,370	0,048
2,5	пропуск цели	0,333	0,333	0,333	0,667	0,000
	ложная тревога	0,333	0,600	0,600	0,667	0,000
5	Пороговое значение	0,608	0,220	0,314	0,263	0,079
	пропуск цели	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000
	ложная тревога	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица 4 Ошибки распознавания. Станция Талгар, канал E-W.

Фильтр, Гц	Параметр	Pg/Pn	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c450/Pn
0,6	Пороговое значение	3,954	3,042	6,860	15,300	2,046
	пропуск цели	1,000	1,000	0,500	1,000	1,000
	ложная тревога	1,000	1,000	0,889	1,000	1,000
	Пороговое значение	2,862	1,878	2,831	3,859	0,570
1,25	пропуск цели	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000
	ложная тревога	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000
	Пороговое значение	0,814	0,487	0,754	0,751	0,084
2,5	пропуск цели	0,000	0,500	0,000	0,500	0,000
	ложная тревога	0,000	0,500	0,000	0,500	0,000
	Пороговое значение	1,981	0,522	0,833	0,856	0,187
5	пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица 5 Ошибки распознавания. Станция Талгар, канал N-S.

Фильтр, Гц	Параметр	Pg/Pn	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c450/Pn
	Пороговое значение	3,428	11,266	7,619	20,229	2,952
0,6	пропуск цели	0,500	1,000	1,000	1,000	0,500
	ложная тревога	0,750	1,000	1,000	1,000	0,857
	Пороговое значение	3,225	3,371	4,081	5,725	1,156
1,25	пропуск цели	0,500	0,500	0,500	1,000	0,500
	ложная тревога	0,500	0,833	0,750	1,000	0,750
	Пороговое значение	1,041	0,330	0,541	0,418	0,093
2,5	пропуск цели	0,000	0,500	0,500	0,500	0,000
	ложная тревога	0,000	0,500	0,500	0,500	0,000
5	Пороговое значение	1,056	0,325	0,556	0,460	0,157
	пропуск цели	0,000	0,500	0,000	0,000	0,500
	ложная тревога	0,000	0,500	0,000	0,000	0,500

Станция Маканчи

По станции Маканчи было обработано 9 событий с эпицентральными расстояниями от 550 до 1050 км и магнитудами m_b 3,8 – 5,9, из них 6 землетрясений и 3 подземных ядерных взрыва. Фаза Pg плохо выделяется на фоне других колебаний, и поэтому далее не анализировалась.

Уровень шумов по отношению к полезному сигналу значительно меньше, чем на станции Талгар. В связи с этим практически все выбранные события были обработаны во всех рассмотренных частотных диапазонах. Наилучшее распознавание наблюдается при использовании частотной фильтрации с центральной частотой 2,5 Гц. Чуть хуже, но также достаточно эффективное распознавание наблюдается при фильтрации с центральной частотой 1,25 Гц. В целом возможность распознавания по станции Маканчи лучше, чем по станции Талгар, так как отношение сигнал/шум на наиболее эффективных, в смысле распознавания, частотах позволяет обрабатывать большее количество событий. Данные по эффективности распознавания приведены в таблицах 6-8 и рис. 5. По тем же причинам, что и на станции Талгар, результаты обработки по горизонтальным компонентам носят вспомогательный характер. На вертикальной компоненте наилучшее качество распознавания дают параметры Sm/Pn и Sn/Pn в частотном диапазоне около 2,5 Гц. Коэффициент качества разделения равен соответственно 2,4 и 2,3.



Рис. 5. Распределение отношений Sm/Pn для взрывов и землетрясений. Станция Маканчи, канал Z.

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c300/Pn	c450/Pn	c600/Pn
	Пороговое значение	1,486	2,574	8,642	1,461	0,415	0,247
0,6	пропуск цели	0,000	0,000	0,000	1,000	0,667	0,667
	ложная тревога	0,000	0,000	0,000	1,000	0,500	0,500
	Пороговое значение	1,263	1,480	3,691	0,507	0,104	0,068
1,25	пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,333	0,000	0,000
	ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,333	0,000	0,000
	Пороговое значение	1,034	1,242	1,384	0,137	0,029	0,008
2,5	пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	Пороговое значение	0,618	0,744	0,774	0,120	0,016	0,032
	пропуск цели	0,333	0,333	0,000	0,333	0,333	0,000
	ложная тревога	0,333	0,333	0,000	0,333	0,333	0,000

Таблица 6 Ошибки распознавания. Станция Маканчи, канал Z.

Таблица 7 Ошибки распознавания. Станция Маканчи, канал E-W.

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c300/Pn	c450/Pn	c600/Pn
	Пороговое значение	3,272	3,677	12,672	2,835	0,775	0,317
0,6	Пропуск цели	0,333	0,000	0,000	1,000	0,333	0,000
	Ложная тревога	0,500	0,000	0,000	1,000	0,333	0,000
	Пороговое значение	2,058	2,529	5,140	1,076	0,259	0,086
1,25	Пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Пороговое значение	1,834	1,691	1,799	0,280	0,037	0,013
2,5	Пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	Пороговое значение	0,848	1,271	0,826	0,162	0,021	0,033
	Пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,333	0,333	0,000
	Ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,333	0,333	0,000

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c300/Pn	c450/Pn	c600/Pn
0,6	Пороговое значение	2,419	3,605	11,821	2,901	0,709	0,293
	Пропуск цели	0,667	0,000	0,000	1,000	0,667	1,000
	Ложная тревога	0,500	0,000	0,000	1,000	0,667	1,000
	Пороговое значение	2,203	2,938	6,616	1,083	0,215	0,096
1,25	Пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Пороговое значение	2,692	1,999	1,424	0,320	0,050	0,018
2,5	Пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	Пороговое значение	0,774	1,018	0,706	0,143	0,018	0,027
	Пропуск цели	0,333	0,000	0,333	0,333	0,333	0,000
	Ложная тревога	0,333	0,000	0,333	0,333	0,333	0,000

Станция Зеренда

По станции Зеренда было обработано 11 событий с магнитудами $m_b 4,1 - 6,0$, из них 8 землетрясений и 3 подземных ядерных взрыва. Эпицентральные расстояния находились в пределах 1700-2300 км. Фаза Рд плохо выделяется на фоне других колебаний и в связи с этим далее не рассматривается. Так же не рассматриваются фазы с300 и с450, так как в соответствии с выбранной методикой они не замерялись. Для станции Зеренда во временных окнах, соответствующих этим фазам, еще не наблюдается затухание, что связано с большими эпицентральными расстояниями по сравнению с другими станциями.

В диапазоне с центральной частотой 0,6 Гц было обработано 10 событий, в диапазоне с центральной частотой 1,25 Гц - 11 событий, в диапазоне с центральной частотой 2,5 Гц – 10 событий, в диапазоне с центральной частотой 5 Гц – 7 событий. Необработанными в частотном диапазоне около 5 Гц оказались события с магнитудами m_b <4,5. Наилучшее распознавание наблюдается при использовании частотной фильтрации с центральной частотой 5 Гц, так же как и для станции Талгар. Как видно из приведенных в таблице данных, на этой частоте не было допущено ни одной ошибки при распознавании взрывов. Поведение коэффициента качества разделения также указывает на более высокую надежность распознавания по сравнению со станцией Талгар. Но большие эпицентральные расстояния практически не позволяют делать оценку событий с магнитудами m_b <4,5. Данные по эффективности распознавания приведены в таблицах 9-11 и рис. 6. Результаты обработки по горизонтальным компонентам также носят вспомогательный характер. На вертикальной компоненте наилучшее качество распознавания дают параметры Sm/Pn и Sn/Pn в частотном диапазоне около 5 Гц. Коэффициент качества разделения равен соответственно 2,7 и 2,6.



Рис. 6. Распределение отношений Sm/Pn для взрывов и землетрясений. Станция Зеренда, канал Z.
Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c600/Pn
	Пороговое значение	0,156	0,763	0,883	1,119
0,6	Пропуск цели	0,333	0,333	0,000	1,000
	Ложная тревога	0,333	0,750	0,000	1,000
1,25	Пороговое значение	0,139	0,274	0,328	0,145
	Пропуск цели	0,333	0,333	0,667	1,000
	Ложная тревога	0,333	0,333	0,667	1,000
	Пороговое значение	0,120	0,176	0,143	0,098
2,5	Пропуск цели	0,667	0,333	0,333	0,000
	Ложная тревога	0,500	0,333	0,333	0,000
5	Пороговое значение	0,159	0,203	0,136	0,086
	Пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица 9 Ошибки распознавания. Станция Зеренда, канал Z.

Таблица 10 Ошибки распознавания. Станция Зеренда, канал E-W.

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c600/Pn
	Пороговое значение	0,119	1,221	1,574	2,155
0,6	Пропуск цели	1,000	0,333	0,667	1,000
	ложная тревога	1,000	0,667	0,500	1,000
1,25	Пороговое значение	0,184	0,364	0,673	0,716
	пропуск цели	0,667	0,667	0,000	0,500
	ложная тревога	0,500	0,500	0,000	0,667
	Пороговое значение	0,228	0,275	0,219	0,158
2,5	пропуск цели	0,333	0,333	0,333	0,000
	ложная тревога	0,333	0,333	0,333	0,000
5	Пороговое значение	0,323	0,333	0,162	0,116
	пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000
	ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица 11 Ошибки распознавания. Станция Зеренда, канал N-S.

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c600/Pn
	Пороговое значение	0,479	1,409	3,315	3,294
0,6	пропуск цели	0,333	0,333	0,333	1,000
	ложная тревога	0,500	0,667	0,333	1,000
1,25	Пороговое значение	0,398	0,759	1,897	0,878
	пропуск цели	0,667	0,333	0,333	0,500
	ложная тревога	0,500	0,333	0,667	0,500
	Пороговое значение	0,252	0,371	0,244	0,206
2,5	пропуск цели	0,333	0,000	0,000	0,000
	ложная тревога	0,333	0,000	0,000	0,000
5	Пороговое значение	0,289	0,417	0,213	0,133
	пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000
	ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000

Станция Чумыш

По станции Чумыш было обработано 9 событий с эпицентральными расстояниями около 1150 км с магнитудами $m_b 4, 1 - 5, 9$, из них 5 землетрясений и 4 подземных ядерных взрыва. В диапазоне с центральной частотой 0,6 Гц было обработано 9 событий, в диапазоне с центральной частотой 1,25 Гц – 9 событий, в диапазоне с центральной частотой 2,5 Гц – 8 событий, в диапазоне с центральной частотой 5 Гц – 5 событий. Из-за малого количества данных результаты обработки на частоте около 5 Гц далее не анализировались. Волновые фазы Pg и с300 не рассматривались по тем же причинам, что и на других станциях. Наилучшее качество распознавания наблюдается при использовании фильтра с центральной частотой 2,5 Гц.

Для обработанных событий направление на источник практически совпадает с направлением Е-W. Таким образом, можно наблюдать поляризационные различия дискриминантов без преобразования горизонтальных компонент. Самыми надежными дискриминантами для этой станции являются амплитудные отношения, замеренные на вертикальной компоненте. Из горизонтальных компонент наилучшей оказалась радиальная(E-W). Данные по эффективности распознавания приведены в таблице 12-14 и рис. 7. На вертикальной компоненте наилучшее качество распознавания дает параметр Lg/Pn в частотном диапазоне около 2,5 Гц. Коэффициент качества разделения для него 3,37. Для компоненты E-W лучшим критерием также является параметр Lg/Pn на частоте около 2,5 Гц. Коэффициент качества разделения для него равен 2,68. На компоненте N-S разделение практически не наблюдается.



Рис. 7. Распределение отношений Lg/Pn для взрывов и землетрясений. Станция Чумыш, канал Z.

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c450/Pn	c600/Pn
	Пороговое значение	1,684	2,776	6,473	3,432	0,914
0,6	пропуск цели	0,000	0,250	0,000	0,250	0,250
	ложная тревога	0,000	0,250	0,000	0,400	0,250
1,25	Пороговое значение	1,240	2,254	4,774	1,126	0,323
	пропуск цели	0,000	0,250	0,000	0,250	0,000
	ложная тревога	0,000	0,250	0,000	0,250	0,000
2,5	Пороговое значение	1,267	1,983	2,526	0,398	0,142
	пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Таблица 12. Ошибки распознавания. Станция Чумыш, канал Z.

Таблица 13 Ошибки распознавания. Станция Чумыш, канал E-W.

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c450/Pn	c600/Pn
	Пороговое значение	2,292	3,085	7,796	3,505	1,325
0,6	Пропуск цели	0,250	0,000	0,000	0,250	0,000
	Ложная тревога	0,250	0,000	0,000	0,400	0,000
1,25	Пороговое значение	1,868	2,472	3,820	1,386	0,582
	Пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,5	Пороговое значение	1,705	3,626	4,653	0,803	0,266
	Пропуск цели	0,250	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ложная тревога	0,250	0,000	0,000	0,000	0,000

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c450/Pn	c600/Pn
	Пороговое значение	4,735	12,068	24,190	13,430	1,922
0,6	Пропуск цели	0,500	0,500	0,500	0,250	0,250
	Ложная тревога	0,333	0,500	0,500	0,500	0,250
1,25	Пороговое значение	4,079	6,178	12,048	3,265	0,999
	пропуск цели	0,500	0,750	0,250	0,500	0,000
	ложная тревога	0,333	0,500	0,250	0,333	0,000
2,5	Пороговое значение	4,233	6,771	7,778	1,273	0,690
	пропуск цели	0,250	0,250	0,250	0,250	0,000
	ложная тревога	0,400	0,400	0,250	0,250	0,000

|--|

Станция Подгорное

По станции Подгорное было обработано 9 событий с магнитудами m_b 4,1 - 6,5, из них 5 землетрясений и 4 подземных ядерных взрыва. Эпицентральные расстояния находились в пределах 550-950 км. Фазы Рд и с600 не анализировались. Все события были обработаны при помощи фильтров с центральной частотой 0,6 Гц, 1,25 Гц и 2,5 Гц. По различным причинам в диапазоне с центральной частотой 5 Гц большинство событий обработать не удалось. Наилучшее распознавание наблюдается при использовании фильтров с центральными частотами 1,25 Гц и 2,5 Гц. Также можно наблюдать эффект поляризации без преобразования горизонтальных компонент (азимут 97-103°). Аналогично станции Чумыш, наибольшей ценностью из горизонтальных компонент обладает компонента E-W, близкая по направлению к радиальной составляющей. Данные по эффективности распознавания приведены в табл. 15-17 и рис. 8. На вертикальной компоненте наилучшее качество распознавания дает параметр Sm/Pn в частотном диапазоне около 2,5 Гц. Коэффициент качества разделения для него 2,27. Для компоненты E-W лучшим критерием так же является параметр Sm/Pn ,но в частотном диапазоне около 1,25 Гц. Коэффициент качества разделения для него равен 2,31.



Рис. 8. Распределение отношений Lg/Pn для взрывов и землетрясений. Станция Подгорное, канал E-W.

Таблица 15 Ошибки распознавания. Станция Подгорное, канал Z.

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c300	c450/Pn
	Пороговое значение	0,930	0,930	3,133	0,683	0,170
0,6	Пропуск цели	0,500	0,500	0,000	1,000	0,000
	Ложная тревога	0,500	0,500	0,000	1,000	0,000
1,25	Пороговое значение	1,416	1,416	3,177	0,607	0,138
	Пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,5	Пороговое значение	0,772	0,864	1,008	0,296	0,059
	Пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,500
	Ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,500

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c300	c450/Pn
	Пороговое значение	2,129	3,505	2,870	0,947	0,544
0,6	Пропуск цели	0,667	0,333	0,000	0,500	1,000
	Ложная тревога	0,500	0,333	0,000	0,500	1,000
1,25	Пороговое значение	4,459	4,459	4,472	1,578	0,224
	Пропуск цели	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ложная тревога	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,5	Пороговое значение	3,805	4,306	4,376	0,663	0,194
	Пропуск цели	0,333	0,333	0,000	0,500	0,000
	Ложная тревога	0,333	0,333	0,000	0,500	0,000

Таблица 16 Ошибки распознавания. Станция Подгорное, канал E-W.

Таблица 17 Ошибки распознавания. Станция Подгорное, канал N-S.

Фильтр, Гц	Параметр	Sn/Pn	Sm/Pn	Lg/Pn	c300	c450/Pn
	Пороговое значение	3,916	4,609	14,662	3,521	1,552
0,6	Пропуск цели	0,500	0,500	0,000	0,000	0,500
	Ложная тревога	0,500	0,500	0,000	0,000	0,500
1,25	Пороговое значение	3,095	4,720	7,981	2,260	0,381
	пропуск цели	0,500	0,000	0,000	0,500	0,000
	ложная тревога	0,500	0,000	0,000	0,500	0,000
2,5	Пороговое значение	4,088	4,088	5,978	2,269	0,311
	пропуск цели	0,500	0,500	0,500	0,500	0,000
	ложная тревога	0,667	0,500	0,667	0,750	0,000

Обсуждение результатов

Физическая сущность распознавания подземных ядерных взрывов с помощью амплитудных отношений региональных фаз состоит в том, что при ядерных взрывах меньшая доля энергии излучается в виде поперечных волн, чем при землетрясениях. В настоящей работе использовалось несколько типов параметров, характеризующих поперечные волны, что снижает вероятность ошибок при применении их в комплексе. Недостаточное количество взрывов не позволяет надежно определить форму кривых распределения изучаемых амплитудных отношений для подземных ядерных взрывов. Для предположения, что форма кривых распределения для взрывов аналогична форме кривых распределения для землетрясений, недостаточно оснований. Поэтому все статистические расчеты проводились без аппроксимации кривых распределения. Следовательно, нет возможности определить вероятность ошибок распознавания по генеральной совокупности. Оценка же настоящего метода по выборке применительно к некоторым станциям (MAKZ, PDG) дает практически 100-процентную надежность определения взрывов по всем отобранным событиям, что, разумеется, нереально для оценки по генеральной совокупности. По остальным станциям надежность определения взрывов среди событий, которые удалось обработать на эффективных частотах, такая же, но не для всех отобранных событий удается произвести замеры на соответствующих частотах по различным причинам. К этим причинам относятся относительно большие эпицентральные расстояния для станции Зеренда, в связи с чем не удалось обработать события с магнитудой $m_b < 4,5$ после частотной фильтрации в диапазоне около 5 Гц, и высокий уровень шумов для станций Чумыш и Талгар на соответствующих эффективных диапазонах частот.

В результате исследования обнаружилось существенное отличие частотных диапазонов, наиболее эффективных в смысле распознавания подземных ядерных взрывов, для разных станций. Так для станций Талгар и Зеренда наилучшим был диапазон частот около 5 Гц. Для станций Маканчи и Чумыш – диапазон частот около 2,5 Гц, для станции Подгорное – 1,25 Гц.

Как уже было отмечено, дисперсии параметров для подземных ядерных взрывов оказались значительно меньше, чем аналогичные дисперсии для землетрясений. Это обстоятельство дает надежду на возможность использования метода для разработки надежных критериев распознавания подземных ядерных взрывов в малоизученных в этом отношении районах (Пакистан, Индия).

Литература

- Антонова Л.В., Аптикаев Ф.Ф., Курочкина Р.Н. и др. Экспериментальные сейсмические исследования недр Земли. М.: Наука, 1978, 159 с.
- 2) Аранович З.И., Кирнос Д.П., Токмаков В.А. и др. Основные типы сейсмометрических приборов. // Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974, с. 43-117.
- Беляшова Н.Н., Синева З.И., Комаров И.И., Михайлова Н.Н. Динамические характеристики сейсмического шума по казахстанской сети станций ядерного мониторинга. // II Международная конференция по проблемам нераспространения ядерного оружия. Курчатов, 1998, с. 56-57.
- Брулев Ю.В., Крылов Г.Г., Нерсесов И.Л. и др. Аппаратура для региональных сейсмических исследований. // Инструментальные средства сейсмических наблюдений. Сейсмические приборы / Выпуск 13. М.: Наука, 1980, с. 138-153.
- 5) Запольский К.К. Частотно-избирательные сейсмические станции ЧИСС. // Экспериментальная сейсмология. М.: Наука, 1971, с. 20-36.
- 6) Кедров О.К., Люкэ Е.И. Распознавание ядерных взрывов и землетрясений в Евразии по сейсмическим данным на региональных расстояниях. // Физика Земли. 1999, № 9, с. 52-75.
- 7) Копничев Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. М.: Наука, 1985, 176 с.
- Копничев Ю.Ф., Аракелян А.Р. О природе короткопериодных сейсмических полей на расстояниях до 3000 км. // Вулканология и сейсмология. 1988, № 4, с. 77-92.
- Михайлова Н.Н., Комаров И.И., Синева З.И. Индийский и Пакистанский подземные ядерные взрывы 1998г. по данным казахстанской сейсмической сети наблюдений. Статья в этом сборнике
- Fan, G., Lay T. Statistical analysis of irregular wave-guide influences on regional seismic discriminants in China. // Bull. Seism. Soc. Amer., 1998a, Vol. 88, № 1.
- Fan, G., Lay T. Regionalized versus single-station wave-guide effects on seismic discriminants in western China. // Bull. Seism. Soc. Amer., 1998b, Vol. 88, № 5, p. 1260-1274.
- 12) Fan, G., Lay T. Statistical analysis of irregular wave-guide influences on regional seismic discriminants in China: additional results for Pn/Sn, Pn/Lg, and Pg/Sn. // Bull. Seism. Soc. Amer., 1998c, Vol. 88, № 6, p. 1504-1510.
- 13) Kim W.Y., Simpson D.W., Richards P.G. Discrimination of earthquakes and explosions in the eastern United States using regional high-frequency data. // Geophys. Res. Lett., 1993, Vol. 20, № 14, p. 1507-1510.
- Phillips W.S., Hartse H.E., Taylor S.R. et al. Regional phase amplitude tomography for seismic verification in China. //21st Seismic Research Symposium, Las Vegas, 1999.
- 15) Rogers A.J., Lay T., Walter W.R. and Mayeda K.M. A comparison of regional phase amplitude ratio measurement techniques. // Bull. Seism. Soc. Amer., 1997, Vol. 87, № 6.
- Taylor S.R., Velasco A.A., Hartse H.E., Phillips W.S. Amplitude corrections for regional seismic discriminants. // 21st Seismic Research Symposium, Las Vegas, 1999.
- 17) Vernon F. Kyrghizstan seismic telemetry network. IRIS Newslett. 1992, Vol. 11, № 1, p. 7-9.

Лобнор полигонындағы ядролық жарылыстар мен жер сілкінулерді аймақтық аралықта айырып тану

²⁾Копничев Ю.Ф, ²⁾Шепелев О.М, ¹⁾Соколова И.Н.

¹⁾Геофизикалық зерттеу институты ²⁾Расей ғылым академиясымен жер физикасы біріккен институтының құрама сейсмологиялық экспедициясы

Лобнор (Қытайдың солтүстік-батыс бөлігі)полигонындағы ядролық жарылыстарды және оған жақын маңайдағы жер сілкінулерді айырып тану жөніндегі зерттеулердің қорытындысы айтылады. Лобнор полигонынан аймақтық қашықтықта орналасқан Қазақстан территориясындағы Талғар, Подгорное,Зеренда, Мақаншы, Чумыш станцияларынан алынған 1976-1999 жылғы жазбалар қолданылған.

Pg/Pn Sn/Pn Sm/Pn Lg/Pn амплитуттық қатынасы және Рп-ге қатысты амплитуттық қатынасы зерттелген. Қолданылған әдіс 5Гц. шамасындағы Талғар мен Зеренда 2,5Гц шамасындағы Мақаншы мен Чумыш 1,25 Гц шамасындағы Подгорное сияқты әр түрлі станцияларға арналған жер асты ядролық сынақтарын белгілі диапазон жиілігінде айырып танудың тиімділігін көрсетті.

Discrimination between Nuclear Explosions and Earthquakes at Regional Distances for Lop Nor Test Site

²⁾Yu. F. Kopnichev, ²⁾O.M. Shepelev, ¹⁾I.N. Sokolova

¹⁾Institute of Geophysical Research ²⁾Complex Seismological Expedition of the Joined Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences

This paper shows the results of research on discrimination between nuclear explosions at Lop Nor test site, which is situated in the North Western part of China, and nearby earthquakes. The amplitude ratios Pg/Pn, Sn/Pn, Sm/Pn, Lg/Pn and coda amplitude to Pn ratios were used according to the records from the stations, located on the territory of Kazakhstan. The most effective for discrimination frequency ranges were estimated for each station basing on these relations. They differ significantly from station to station.

УДК 621.039.9: 681.324

О ВЫБОРЕ ПРИЗНАКОВ ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

¹⁾Беляшов Д.Н., ¹⁾Емельянова И. В., ¹⁾Логвинов О.В., ¹⁾Тищенко А.В., ¹⁾Шипицына Л.М., ²⁾Каримова Л.М., ²⁾Макаренко Н.Г., ²⁾Нагай Т.В,

¹⁾Институт геофизических исследований ²⁾Институт теоретической и прикладной математики МОиН РК

> Необходимо число, различитель инаковости, без которого невозможно отличить одно от другого

> > Н. Кузанский. "Берилл"

В статье приводятся краткие сведения об искусственных нейронных сетях, популярных методах выбора признаков для сейсмических сигналов. Дается общая схема построения универсальной геометрической модели сигнала, учитывающая свойства геофизической среды, которая иллюстрируется реальными примерами. В заключение рассматриваются возможные варианты формирования входных образов для искусственных нейронных сетей

Проблема распознавания ядерных взрывов затруднена возможным намеренным сокрытием факта или масштаба взрыва. Для этого существует несколько способов:

- проведение взрыва на фоне землетрясения;
- проведение подрыва с эффектом декаплинга, т.е. с распределением энергии взрыва по полости большого объема, для снижения мощности возбуждаемых волн;
- реализация нескольких одновременных взрывов, что существенно затрудняет идентификацию параметров сигналов по конкретным взрывам;
- проведение взрывов малой мощности, которые трудно распознать на региональных расстояниях.

Многочисленные попытки построения детерминированных универсальных алгоритмов распознавания, учитывающих совокупность природных и антропогенных факторов, пока не увенчались успехом [1]. Поэтому в последнее время большое внимание уделяется применению эвристических подходов, основанных на системах, способных имитировать опыт и интуицию человека в самом процессе обучения распознаванию. Речь идет об искусственных нейронных сетях (ИНС) [2]. Первые результаты применения таких сетей для распознавания сейсмических событий в относительно простых ситуациях весьма оптимистичны [3-5]. Кроме того, ИНС, по видимому, единственный инструмент, способный решать задачу распознавания в режиме реального времени.

Результат работы ИНС полностью зависит от процесса обучения, который начинается с формирования атрибутов (признаков) для обучающей вы-

борки. Это, конечно, общая проблема любой задачи распознавания. Однако, когда речь идет об использовании опыта, она осложняется двусмысленностью обычного языка: необходимостью выразить в соответствующем символизме то, что на обычном языке ведет к постоянным недоразумениям. Можно попытаться найти разумный компромисс между богатой феноменологией сейсмологов - практиков и такими свойствами сигнала, которые преобразуются в геометрические образы некоторой универсальной динамической модели. В этой работе мы предлагаем один из вариантов такого подхода для формирования обучающей выборки. Статья имеет следующую структуру. Сначала приводятся краткие сведения об ИНС и обсуждаются популярные методы выбора признаков для сейсмических сигналов. Затем, приводится общая схема построения универсальной геометрической модели сигнала, учитывающая свойства геофизической среды, которая иллюстрируется реальными примерами. В заключении, рассматриваются возможные варианты формирования входных образов для ИНС.

1. Искусственные нейронные сети

Искусственные нейронные сети - это математические модели процессоров, которые функционируют как параллельно распределенные вычислительные системы. ИНС - мощный, и на сегодня, пожалуй, наилучший метод для решения задач распознавания образов в ситуациях, когда в экспериментальных данных отсутствуют значительные фрагменты информации, а имеющаяся информация предельно зашумлена. Высокая степень параллельности, допускаемая при реализации нейросистем, обеспечивает обработку больших объемов информации за время, меньшее или сравнимое со временем измерений. Первый формальный нейрон был предложен Мак-Каллоком и Питтсом в 1943 г. (рис. 1).



Рис. 1. Формальный нейрон Мак-Каллока и Питтса, 1943.

Этот нейрон, как следует из схемы, суммирует сигналы, поступающие на вход, с соответствующими весами и преобразует сумму с помощью заданной нелинейной *функции активации*. Результат подается на входы таких же элементов, образующих *многослойную сеть*, последний слой которой считается выходом.

Простейшая нейронная сеть - *персептрон*, построенная Розенблаттом в 1957 г., состояла лишь из входного и выходного слоев. Она была способна решать только линейно-разделимые задачи распознавания образов. С увеличением числа слоев скрытых элементов, - и открытием в 1986 г. метода обратного распространения ошибки [2], возможности ИНС существенно расширились. Суть этого алгоритма (обобщенного δ-правила обучения), заключается в следующем.

Пусть, для K обучающих образов (x^{k} , y^{k}), где $x^{k} = (x_{1}^{k},...,x_{n}^{k}) - k$ -й входной образ, известны y^{k} - желаемые ответы, k = 1,...,K.

Один такт функционирования сети заключается в предъявлении k-го входного образа x^k на вход системы. В результате последовательного преобразования образа в последовательности скрытых слоев, она вырабатывает свой выходной образ O^k , который сравнивается затем с желаемым ответом y^k по формуле:

$$E_k = 1/2 (y^k - O^k)^2$$
.

В зависимости от величины ошибки E_k весовые коэффициенты сети изменяются для уменьшения ошибки на следующем такте функционирования сети. В первый момент времени значения весовых векторов - малые случайные числа; так что ответ системы для t=1 также будет случайным. К тактов функционирования сети называется *циклом обучения*. Процесс обучения может состоять из нескольких циклов и завершается после того, как суммарная ошибка достигнет заданного значения.

Известны две базовые архитектуры ИНСперсептроны (слоистые сети) и полносвязные сети. В слоистых сетях нейроны внутри одного слоя не связаны между собой; каждый нейрон слоя связан с каждым нейроном последующего слоя. Наибольшее распространение здесь получили трехслойные сети с входным, скрытым и выходным слоями. В полносвязных сетях каждый нейрон передает свой сигнал (связан) всем остальным нейронам и, в том числе, самому себе

2. Методы идентификации сейсмограмм

Известные методы идентификации сейсмических источников можно разделить на две группы.

Спектральные методы. Они используют стандартные приемы анализа Фурье для поиска и выделения характерных особенностей спектров цифровых трехкомпонентных сейсмограмм. Наиболее популярным является использование отношения спектральных компонент Pg/Lg в полосе частот 8-18 Гц, которое показало неплохие результаты при идентификации событий с магнитудой < 4.5 [2,5]. Однако, распределение энергии в спектре очень чувствительно к неоднородностям литосферы и астеносферы, особенно для относительно слабых (менее 1 кТ) взрывов. Такие взрывы обычно регистрируются на расстоянии до 2500 км - т.е. на масштабах, для которых спектральные характеристики различных волновых групп (Pn, Pg, S, Sn, Lg и коды) сильно зависят от свойств среды. Поэтому, распознавание по спектрам (особенно на локальных расстояниях) носит локальный характер.

Синтаксический анализ [6,7]. Сравниваются символические последовательности (слов, предложений), получаемых при кодировании признаков, выбранных на основе опыта, интуиции или, исходя из физических соображений, в сегментах сейсмограмм. Пространство таких последовательностей, наделенное метрикой Левенштейна [7], позволяет идентифицировать сигнал по степени его близости к эталону, хранящемуся в словаре. Разумеется, эффективность этого подхода полностью определяется выбранной логикой атрибутов. Последними служат метрические (квадрат или модуль ординаты) или спектральные (число нуль-пересечений или поворотных точек) функции отсчетов. Таким образом, синтаксический анализ является, по сути, формализацией феноменологии; эта схема распознавания также не инвариантна относительно выбора станции наблюдений.

3. Нейропостановка задачи распознавания ядерных взрывов

В настоящее время разработаны нейросетевые системы, где для распознавания естественных землетрясений и подземных ядерных взрывов используют различные спектральные характеристики сигнала.

Так, в [3] описано применение четырехслойного персептрона. На входной слой ИНС подавались трехмерные векторы $x = \{S_n/P_n, L_g/P_n, \text{сред$ $няя кепстральная переменная}\}$. На объеме 95 региональных событий сеть была обучена разделению сейсмических событий на два класса: ядерные взрывы и землетрясения.

В [4] использовалась трехслойная сеть. Входной вектор содержал по M=41 значений S спектральных частотных компонент каждый из трех фаз: L_g , P_g и P_n .

$$X = (S_{Lg}(1), \dots, S_{Lg}(m), S_{Pg}(1), \dots, S_{Pg}(m))$$

$$S_{Pn}(1), \dots, S_{Pn}(m)).$$

ИНС, обученная на 83 землетрясениях и 87 взрывах, распознала 450 событий из 679. Было отмечено, что нераспознанными оказались события с малой магнитудой.

В [5] описан искусственный нейродетектор, на основе трехслойного персептрона. На вход сети подавались входные векторы $x=\{\beta(1)...\beta(m)\}$, где $\beta(k) = STA(K) / LTA(K); M=50.$ Здесь STA(K) средняя величина амплитуды в коротком временном окне сейсмограммы; LTA(K) – средняя величина амплитуды в длинном временном окне сейсмограммы. Ширина окна подбиралась эмпирически с учетом эпицентральных расстояний.

Для распознавания событий в реальном времени сеть была обучена на 50 событиях (25 землетрясений и 25 ядерных взрывов). Во всех упомянутых случаях, устойчивые результаты были получены для специальных обучающих выборок (конкретные станция и испытательный полигон). В общем случае, успех зависел от эпицентрального расстояния и мощности события, поскольку метрические и спектральные признаки очень чувствительны к неоднородностям геологической среды.

4. Скейлинговые признаки для задачи распознавания ядерных взрывов

В основу методов распознавания можно положить структурные особенности геофизической среды (нелинейная и неоднородная литосфера обладает фрактальными свойствами [8]). Они проявляются в известном законе Гутенберга-Рихтера для распределения числа землетрясений N с магнитудой больше или равной m:

$$\log N = am + b$$
.

Реакция такой среды зависит не только (и не столько) от силы воздействия, сколько от его "архитектуры": пространственного распределения сил в очаге. Динамические сценарии для взрыва и естественных сейсмических событий существенно различны. Это должно проявиться, например, в поведении характеристических экспонент при "локальном" применении закона Гутенберга-Рихтера [9].

Можно попытаться обнаружить различия в масштабных (скейлинговых) свойствах сейсмограмм. Для этого удобно использовать хорошо разработанную топологическую технику *вложения* временного ряда в многомерное пространство состояний, с помощью известного отображения запаздывающих координат [10].

5. Эмбедология сейсмограмм

Напомним основные идеи алгоритма Такенса [10]. Во многих случаях доступная информация о природном процессе ограничена измеренным вре-

менным рядом $y(t) \equiv \{y_i\}_{i=0}^N$ Предположим, что наши наблюдения являются *детерминированно-порожденными* [10], т.е. их можно описать гладкой динамической моделью $f^t(\vec{x}_0)$ в некотором пространстве состояний \Re^n . В общем случае, эта модель неизвестна, но мы считаем, что ее истинная фазовая переменная \vec{x} в \Re^n связана с нашими наблюдениями некоторой дифференцируемой функцией

 $y = h(\vec{x}); h: \mathfrak{R}^n \to \mathfrak{R}$, а модель имеет аттрактор - низкоразмерное компактное притягивающее подмножество в \mathfrak{R}^n , образованное траекториями установившегося асимтотического режима. Тогда, с точностью до предположения о типичности, *отображение запаздывающих координат*: $F_{f,h}: \mathfrak{R}^n \to \mathfrak{R}^m$:

$$\mathsf{F}_{f,h}(\vec{x}) = \left(h(\vec{x}), h(f(\vec{x})), \dots, h(f^{m-1}(\vec{x}))\right)$$

позволяет построить в евклидовом пространстве \Re^m копию аттрактора. Она совпадает с оригиналом с точностью до гладких дифференцируемых преобразований (*диффеоморфизмов*), если m > 2d, где *d* - емкость или размерность аттрактора. В этом случае говорят, что $\mathsf{F}_{f,h}$ является

вложением аттрактора в \Re^m ; случай m < dсоответствует погружениям. Истинная динамика моделируется при этом отображением сдвига вдоль временного ряда, а полученная реконструкция сохраняет динамические инварианты прототипа в своей геометрии. Для исследования структуры копии используют различные скейлинговые меры, одной из которых является корреляционная размерность. Точнее, стандартный корреляционный интеграл [11] оценивает число ε -близких пар m мерных векторов:

$$C_m(\varepsilon) = \lim_{N \to \infty} \sum_j \sum_k \theta(|X_j^m - X_k^m| - \varepsilon),$$

где $\theta(s)$ - функция Хевисайда.

Асимптотика $C_m(\varepsilon) \propto \varepsilon^{\nu}$ при $\varepsilon \to 0$ позволяет получить корреляционную размерность

 $V \leq c(\Omega)$ как наклон прямолинейного участка графика корреляционного интеграла, построенного в двойной логарифмической шкале: $\log C_m(\varepsilon), \log(\varepsilon)$. Поскольку значение *d* заранее неизвестно, корреляционный интеграл вычисляют при разных m = 2,3,....., добиваясь насыщения, т.е. ситуации, когда наклоны $v(\varepsilon)$ стабилизируются. Следуя этим идеям, диагностика процесса сводится к исследованию поведения $v(\varepsilon)$. Дополнительную качественную информацию дают

фазовые портреты (погружения) аттрактора в $\,\mathfrak{R}^2$.

Существует еще одно обстоятельство, которое может быть использовано в задачах дискриминации. Его суть сводится к следующему. Землетрясения предваряются процессами подготовки: в зоне будущего очага возникают когерентные напряжения. Такая среда оказывает фазирующее действие на проходящий сейсмический сигнал. Иными словами, окрестность очага события является, фактически, природным фильтром. Ядерный взрыв представляет собой артефакт для среды. Однако, существование фильтра во многих случаях можно обнаружить, сравнивая корреляционные размерности оригинального сигнала И его С производной. точки зрения алгоритма реконструкции, фильтр эквивалентен дополнительному описывающему уравнению, поведение системы [12]: x(n+1) = F(x(n)),

$$X(n+1) = aX(n) + g(x(n))$$

Присутствие второго уравнения увеличивает размерность аттрактора. Поэтому, размерности фильтрованного сигнала и его производной будут (теоретически) отличаться на единицу. Эта ситуация будет отсутствовать в случае искусственного землетрясения.

Перед изложением результатов, необходимо сделать одно важное замечание. Оригинальные результаты Такенса [10-13] получены лишь для автономных изолированных систем, для которых f и h зависят только от x. Существование предельного притягивающего множества эквивалентно здесь отсутствию принципиально новых ситуаций для эволюции системы: на аттракторе "все есть, как есть, потому что все было, как было". Конечно, траектории могут разбегаться в неустойчивых направлениях, ограничивая ее предсказуемость (странный аттрактор), но считается, что все переходные процессы уже произошли.

Следует учитывать факт, что сейсмические события имеют начало и конец. Их внутренняя динамика чрезвычайно сложна и представляет собой смену (и интерференцию) нескольких режимов, но это не асимптотическая динамика. Она инициируется внешними силами и классическое понятие аттрактора здесь не применимо. В этой ситуации алгоритм вложения приобретают лишь техническую ценность. Однако недавно появился ряд строгих результатов по обобщению теоремы Такенса на неавтономные системы [14]. Они делают наш анализ по меньшей мере математически правдоподобным.

6. Результаты

На состоявшейся в сентябре 1997 года в г. Курчатове Международной конференции по нераспространению ядерного оружия [15] авторами были доложены результаты анализа 45 записей подземных ядерных взрывов, землетрясений и двух химических взрывов, зарегистрированных сейсмостанцией TLG (Талгар). Исследование этих результатов показало, что ядерные взрывы и землетрясения отчетливо различаются по фазовым портретам и корреляционным интегралам. На основании этих выводов можно предположить возможность построения надежного решающего правила идентификации сейсмических событий, зарегистрированных одной станцией. Естественным продолжением исследований явилась попытка установить критерий распознавания сейсмического события, который бы не зависел от места локализации события и станции его регистрации.

В связи с этим выборка с записями станции TLG была дополнена записями сейсмических событий, зарегистрированных другими станциями (VST(Восточное), MAKZ (Маканчи), BRV (Боровое), KUR и сейсмогруппа "Крест" (Курчатов), KEV (Финляндия)).

При обработке записей началом временного ряда считался момент первого вступления Р-волны, типичная длина ряда, по техническим причинам, была ограничена 12000 значений. Для всех сейсмограмм были получены реконструкции аттракторов и вычислены корреляционные интегралы как для исходных значений ряда, так и для их производных.

На приведенных рис.2, слева, дано погружение аттрактора в \mathfrak{R}^2 (фазовый портрет); справа *слопы* (наклоны):

 $v(\varepsilon) = d \log C_m(\varepsilon) / d \log(\varepsilon)$ корреляционных интегралов для размерностей m = 17-30. По оси ординат - v, по оси абсцисс - $\ln \varepsilon$.

На основе анализа полученных результатов были установлены следующие характерные признаки:

> Для ядерных взрывов: 1. По исходным данным.

- Фазовый портрет (погружение в R²) в большинстве случаев имеет характерную деформацию вдоль диагонали в форме двух зеркально-симметричных седел (рис. 2А,), особенно заметных на краях аттрактора;
- Слопы корреляционного интеграла сильно структурированы. Они чаще всего имеют два заметных мак-

симума, разделенных глубоким (иногда достигающим нуля) минимумом. Левая часть графика представляет собой неупорядоченную совокупность линий и свидетельствует о наличии шумовой составляющей в исследуемом временном ряде (рис. 2Б).

2. По производной.

- Фазовый портрет для большинства записей также имеет характерную деформацию, но уже в виде "восьмерки" с ядром в центре. (рис. 2В);
- Слопы корреляционного интеграла также содержат два "горба", четко отделяемых друг от друга областью минимальных значений (рис. 2Г).

Для землетрясений было отмечено, что фазовые портреты и корреляционные интегралы, построенные для исходных данных и производных, мало отличаются друг от друга.

По исходным данным.

- Фазовый портрет в \Re^2 напоминает эллиптические галактики (рис. 3А,В). Траектории вблизи ядер перепутаны. Седлообразные деформации отсутствуют.
- Слопы корреляционных интегралов демонстрирует волнообразную структуру, с несколькими скейлинговыми участками. Как правило, слопы имеют один заметный максимум, переходящий в серию убывающих по амплитуде волн (рис. 3Б,Г).



Рис. 2, А-Г. Характерные признаки ядерных взрывов, выявленные методом топологической динамики (на рис.2 Б,Г - ось ординат - v; ось абсцисс - ln ε)



Рис. 3, А-Г. Характерные признаки землетрясений, выявленные методом топологической динамики. (на рис.3 Б,Г - ось ординат - v; ось абсцисс - ln ɛ)

Приведенные результаты показывают, что методы топологической диагностики обнаруживают заметное различие в скейлинговой структуре данных для землетрясений и ядерных взрывов. Такое различие согласуется с нелинейным контекстом мультифрактальной геофизической среды.

Возможным объяснением разных скейлингов может быть более широкий спектр сейсмических колебаний при землетрясениях: в магистральных разрывах присутствует целый набор субисточников различных масштабов. Этому соответствует "регулярное" поведение корреляционных интегралов для естественных событий. С другой стороны, нелинейные эффекты, которые могут привести к аномальному скейлингу, должны быть сильнее выражены при ядерных взрывах, когда локально возникают большие градиенты плотности энергии в области очага. Этот факт согласуется с локализацией эффекта бимодальности именно в области Р-волн: из теории известно, что нелинейность значительнее для продольных волн, чем для поперечных.

Для формирования обучающей выборки можно использовать как геометрию фазовых портретов, так и кривые слопов корреляционных интегралов и их производных. Рассмотрим возможную реализацию первого из вариантов.

7. Преобразование фазового портрета во входной образ ИНС

Можно предложить следующую схему представления фазового портрета какого-либо события в качестве входного образа нейронной сети:

- Исходя из соображений, основанных на анализе размерности, из временного ряда эталонного события (известные землетрясения, ядерные взрывы и
- пр.), выбираем фрагмент длиной $N (N \ge d$, *d*-размерность аттрактора). Фрагмент является первой строкой некоторой матрицы *F*. Следующие строки образуются сдвигом *N*-блока на интервал запаздывания τ .

- Аналогичные матрицы строятся для каждого эталонного события. Все полученные матрицы объединяются в генеральную выборку архетипов.
- Используя стандартные алгоритмы автоматической классификации (например, метод К-средних), производим разбиение полученной выборки на классы.
- Строим решающее правило идентификации каждой строки матрицы F с одним из классов, полученных на предыдущем этапе (например, с помощью какоголибо алгоритма распознавания с "учителем", в частности, используя дискриминантные функции).
- Вычисляем матрицу переходных вероятностей для каждого эталонного события в пространстве выделенных классов. Сравнение таких матриц может быть сделано с помощью любого робастного критерия (например, χ²).
- Для каждого *распознаваемого* события, аналогичные матрицы могут быть получены с помощью решающих правил, упомянутых выше и используемых в процессе обучения сети.

Очевидно, что матрицы переходных вероятностей, в "сжатом" виде "содержат" фазовые портреты, соответствующие *m* известным событиям. Эти матрицы можно подать на вход нейронной сети, в качестве обучающей выборки.

Следует заметить, что предложенная схема не является ни единственной, ни оптимальной. Среди других, более сложных и перспективных вариантов, можно упомянуть об алгоритме Хакена и его обобщении [16], который также позволяет работать с образами, заданными в форме квадратично интегрируемых функций в гильбертовом пространстве и в динамическом режиме. Мы надеемся, что синтез методов топологической динамики и нейроматематики позволит создать надежную схему для распознавания сейсмических событий в различных регионах и зарегистрированных различными станциями.

Работа выполнена при поддержке грантов ISTC K-063 и ISTC K-056.

Литература

- Kim W.-Y., Aharonian V., Lerner-Lam A.L., Richards P.G. Discrimination of Earthquakes and explosions in Southern Russia using regional high-frequency three-component data from the IRIS/JSP Caucasus network.// submitted to Bull. of Seismol. Soc. of America. November. 1996.
- 2) Krose B., Patrik van der Smagt. An Introduction to Neural Networks. 1996. Univ. Amsterdam.//http://www.fwi.uva.nl
- 3) Dysart P., Pulli J. (1990). Regional seismic event classification at the Noress array: seismological measurements and the use of trained neural networks, *Bull.Seism.soc.Am.80*, 1910-1933.
- 4) Dowla F., Taylor S., Anderson W. (1990). Seismic discrimination with artificial neural networks preliminary results with regional spectral data, *Bull.Seism.soc.Am.80*, 1346-1373.
- 5) Wang J., Teng T. (1993). Artificial neural network based on seismic detector, Bull.Seism. soc.Am.85, 308-319.
- Гвишиани А.Д., Жижин М.Н., Иваненко Г.И. Синтаксический анализ записей сильных движений. Вычислительная сейсмология. 1990. №23. с.235-253
- 7) Анализ и выделение сейсмических сигналов. сб. М.: Мир 1986.
- 8) Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука 1991. 95с.
- Zoller G., Engbert R., Hainzl S., Kurths J. Characteristic spatial scales in Earthquake data. 1997. // Sissa preprint. chaodyn/9701025
- Takens F., Distinguishing deterministic and random systems. // in Nonlinear dynamics and turbulence, by Ed. G.I. Barenblatt, G. Iooss, D.D. Joseph. N.Y.: Pitman, 1983, P.314-333.
- 11) Grassberger P., Procaccia I. On the characterization of strange attractors. // Phys. Rev. Lett. 1983a. V.50. P.346.
- 12) Abarbanel H.D., Brown R., et.al. The analysis of observed chaotic data in physical systems.Rew.mod.Phys.1993. Vol.65. P.1331-1392
- Ding M., Grebogi C., Ott E., Sauer T., Yorke J.A. Estimating correlation dimension from a chaotic time series: when does plateau onset occur. // Physica D 69 (1993)/ P.404-424.
- 14) Stark J., Broomhead D.S., Davies M.E., Huke J. Takens embedding theorems for forced and stochastic systems. // submitt. // to the Proceed. of the 2nd World Congress of Nonlinear Analysis. Athens, Greece, July 1996.
- 15) Беляшов Д.Н., Емельянова И.В., Комаров И.И. и др. Топологическая идентификация сейсмических событий (взрывы, землетрясения)//Тез. Междун.конф. по проблеме нераспростр. ядерного оружия. Алматы-Курчатов, 8-10 сент.1997. С-47.
- Магницкий Н.А. Распознавание образов распределенными динамическими системами. // ДАН РАН. 1994. Т.338. с.320-321.

Нейрон жүйесінің жәрдемімен ядролық жарылыстардың айырып тану белгісін таңдауы

¹⁾Беляшов Д.Н., ¹⁾Емельянова И. В., ¹⁾Логвинов О.В., ¹⁾Тищенко А.В., Л.М. ¹⁾Шипицына, ²⁾Каримова Л.М., ²⁾Макаренко Н.Г., ²⁾Нагай Т.В.

1) Геофизикалық зерттеу институты

²⁾ ҚР Ғылым және білім министрлігі теоретикалық және қолданбалы математика институты

Мақалада сейсмикалық дабылға арналған танымал әдіспен айырып тану белгісі және жасанды нейтрондық жүйе туралы қысқаша мәлімет берілген. Геофизикалық ортаның сипатын есепке ала отырып, геометриялық универсалды дабыл моделі құрлысының жалпы сызбасы жөнінде нақты мысалдар келтірілген. Қорытынды бөлімінде жасанды нейтрондық жүйеге арналған шығарушы бейнелердің қалыптасу түрлері қарастырылады.

Choosing the Characteristics for Discrimination of Nuclear Explosions Using Neuron Nets

¹⁾D.N. Belyashov, ¹⁾I.V. Yemelyanova, ¹⁾O.V. Logvinov, ¹⁾A.V. Tischenko, ¹⁾L.M. Shipitsina, ²⁾L.M. Karimova, ²⁾N.G. Makarenko, ²⁾T.V. Nagai

¹⁾ Institute of Geophysical Research

²⁾ Institute for Theoretical and Applied Mathematics of the Ministry of Education and Science of RK

The paper contains a summary on artificial neuron nets, popular methods of choosing characteristics of seismic signals. A general scheme of universal geometric signal model is given, which takes into consideration the properties of geophysical environment, illustrated by real examples. Different options of forming input images for artificial neuron nets are discussed.

УДК 596.551:510.535

КОНТРОЛЬ НАЗЕМНЫХ ХИМИЧЕСКИХ И ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ РАДИОЗОНДИРОВАНИЕМ ИОНОСФЕРЫ НАД МЕСТОМ ВЗРЫВА

Краснов В.М., Дробжева Я.В.

Институт ионосферы МОиН РК

Описываются основные принципы, преимущества и недостатки ионосферного способа контроля наземных химических и подземных ядерных взрывов. Ионосфера рассматривается как "аппарат", позволяющий измерять характеристики инфразвука непосредственно над местом взрыва. С помощью дистанционного радиозондирования "снимается" информация об изменениях в ионосфере, т.е., по сути, осуществляется инспекция на месте.

Факты неполной фиксации подземных ядерных и химических взрывов заставляют мировое сообщество развивать не только способы и средства контроля, принятые в Международной системе мониторинга, но и искать дополнительные пути решения проблемы. Предполагается, что одним из новых дополнительных перспективных способов обнаружения и идентификации взрывов может стать ионосферный способ, который предусматривает регистрацию инфразвуковой волны непосредственно над местом взрыва - ее воздействие на ионосферу, и, соответственно, доплеровский сдвиг частоты радиозондирующей волны.

Идея использования доплеровского радиозондирования ионосферы для контроля подземных ядерных взрывов (ПЯВ) по акустическим импульсам возникла практически одновременно в СССР, Франции и США в конце 70-х годов. В частности, ученые Ливерморской Национальной Лаборатории (США) начали развивать теорию и создавать соответствующие модели для описания передачи в ионосферу энергии акустических волн, генерируемых движением земной поверхности при подземных ядерных взрывах, в 1977 г. [1]. Warshaw и Dubois впервые опубликовали эту идею в 1983 г. [2]. Blance (Франция) опубликовала результаты первой экспериментальной работы о воздействии ПЯВ на ионосферу в 1982 г [3]. Институт ионосферы бывшей АН Каз.ССР провел первую регистрацию ионосферного отклика на ПЯВ в 1978 г. [4].

Идея применения ионосферного способа для контроля подземных взрывов заключается в следующем (puc.1).

Ударная волна, возникающая при подземном взрыве, доходит до поверхности земли и вызывает (в том числе) ее вертикальное движение.

Это движение земли генерирует акустический импульс, который распространяется до высот ионосферы, и, благодаря столкновению нейтральных частиц с ионами, вызывает повышение электронной концентрации. В свою очередь, ионосферные возмущения могут быть обнаружены с помощью дистанционного доплеровского радиозондирования.



Puc.1. Последовательность физических явлений воздействия подземного ядерного взрыва на ионосферу

Первая достоверная регистрация отклика ионосферы на наземный химический взрыв с помощью доплеровских (фазовых) измерений была осуществлена Barry, Griffiths and Taenzer в 1966 г. [5], тогда как комплексные экспериментальные исследования были проведены только в 1981 году, когда, практически, одновременно в СССР и США "прогремели" специальные наземные химические взрывы MACCA и Mill Race [2,6,7,8]. Несмотря на тридцатилетнюю историю существования ионосферного способа, он не получил широкого распространения. Это может быть объяснено, как минимум, тремя основными причинами. Первая - ошибочно считалось, что сейсмический способ достаточен, чтобы обеспечить надежный мониторинг испытаний подземных ядерных взрывов мощностью более 10 кт ТНТ. Вторая - отсутствие беспорогового договора СТВТ, требующего проведения мониторинга взрывов малой мощности. Третья причина – недостаточная точность стандартного способа измерения доплеровской частоты радиоволн.

В Институте ионосферы МОиН РК разработан новый способ измерения доплеровской частоты радиоволн, как минимум, на порядок увеличивший точность измерений. Это позволило осуществить серию успешных наблюдений во время проведения 19 поземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне. В настоящей работе с учетом полученного опыта обсуждаются потенциальные возможности ионосферного способа контроля взрывов, его преимущества и недостатки.

Преимущества инфразвукового способа контроля взрывов

Главным преимуществом ионосферного способа является возможность «наблюдений» с высот 100-300 км за движением земной поверхности над местом взрыва, т..е, по-существу, - возможность осуществления инспекции на месте.

Другими преимуществами ионосферного способа являются:

- потенциальная возможность получения наибольшего соотношения сигнала и шума, благодаря проведению измерений в ближней зоне;
- интегрирование информации по большой поверхности и, соответственно, обеспечение возможности контроля всего потока энергии, проходящего через эту поверхность;
- снижение ошибки определения потока энергии от взрыва в сравнении с любым другим способом, использующим измерения в отдельных точках на земле. Прямым доказательством того, что ошибки определения потока энергии уменьшаются благодаря интегрированию пространственной структуры наблюдаемых полей (несмотря на локальные осложнения из-за геологических неоднородностей, неровностей земной поверхности и др.) является совпадение, с точностью до процентов, рассчитанных и измеренных на парашютных высотах акустических импульсов при проведении подземного ядерного взрыва [6];
- возрастание амплитуды акустического импульса (скорости движения гидродинамических частиц) с высотой при распространении акустической волны от поверхности земли до высот ионосферы как результат резкого (почти экспоненциального) уменьшения плотности атмосферы с высотой;
- установленные оптимальные высоты для регистрации максимума амплитуды акустических импульсов (инфразвуковой волны) порядка 120 км, практически независящие от мощности взрыва и угла выхода акустического луча [9];
- использование доплеровской частоты радиозондирующей волны, пропорциональной как величине амплитуды импульса, так и ее производной;
- использование самого точного на сегодняшний день вида измерений - измерений частоты на основе квантовых стандартов частоты, наиболее совершенных среди известных стандартов, а также наиболее об-

щедоступных (при нестабильности порядка 10⁻¹¹). Последнее обстоятельство автоматически снимает необходимость калибровки измерений сети пунктов наблюдений, которые имеют место при других методах мониторинга.

Ниже приведены некоторые примеры измерений, выполненных ионосферным способом при проведении *химических* (рис.2а,б) и *подземных ядерных* (рис. 3а,б, 4) взрывов.

Примеры регистрации химических взрывов.

На рис. 2а даны результаты измерений доплеровской частоты во время химического взрыва, произведенного на радиотрассе Алматы - Тургень под г. Алматы при проведении горных вскрышных работ. Восемнадцать тонн смеси граммонита и аммонита было распределено по 70 скважинам, пробуренным в шахматном порядке, в известняках. Расстояние между скважинами - 6.5 м, глубина скважин - 7.4 м, диаметр - 0.22 м. Длина забойки заряда - 4.8 м. Эквивалентная масса группового заряда (Q), определяющая долю выхода акустической энергии, составила 50-150кг, согласно расчету

по формуле
$$\mathbf{Q} = \mathbf{12}\mathbf{p}\mathbf{d}\mathbf{K}_{z}^{2}\mathbf{n}$$
, где $\mathbf{p} = \frac{\pi \mathbf{d}^{2}}{4}\gamma$ - вме-

стимость, **d** - диаметр скважины, γ - плотность заряжания, K_z - коэффициент забойки, **n** - число скважин [10].

На рисунке 2б приведена запись доплеровской частоты во время химического взрыва головной части ракеты на высоте 145 км. Мощность заряда составляла 50-70 кг ТНТ. Как на рис. 2а, так и на рис 26 видна четкая реакция ионосферы на взрыв. Длительность реакции составила 2-4 с. Задержка реакции по времени для первого случая составила порядка 400 с и определялась временем распространения акустической волны от поверхности земли до высоты точки отражения радиоволны в ионосфере. Во втором случае, для высотного взрыва, задержка по времени, в основном, определялась горизонтальным расстоянием между точкой взрыва и точкой отражения радиоволны в ионосфере. Акустические волны по мере своего распространения вызывают возмущения электронной концентрации ионосферы, которые изменяют высоты точек отражения радиоволн. В частности, начальная положительная фаза доплеровской частоты на обоих рисунках показывает первоначальное смещение точки отражения вниз (как бы «захват» возмущением точки отражения радиоволны). Затем, во время отрицательной фазы, точка отражения движется вместе с ионосферным возмущением вверх. Конечная положительная фаза доплеровской частоты показывает процесс восстановления электронной концентрации и смещение по высоте точки отражения до первоначального уровня.



Рис.2а-б. Записи доплеровского сдвига частоты во время двух химических взрывов: а) скважинного с выбросом - эквивалентная масса 50 -150 кг, Алматы - Тургень, частота зондирующей радиоволны - 2.9 МГц; б) высотного - масса 50-70 кг ТНТ, частота зондирующей радиоволны - 3.01 МГц

Примеры регистрации подземных ядерных взрывов. На рис.За,б показана реакция ионосферы на полностью камуфлетный подземный ядерный взрыв мощностью 15-30кт (рисЗа) и мощностью 110-150 кт ТНТ (рис.Зб), проведенных в скважинах площадки Балапан Семипалатинского полигона. Видно, что реакция доплеровской частоты по форме аналогична реакции на химические взрывы – рис.2 (метки времени на рисунках показывают местное время). Задержка реакции ионосферы на взрыв в обоих случаях составила порядка 8 минут, что соответствует времени распространения акустической волны от земли до высот ионосферы.



Рис.3а-б. Запись доплеровского сдвига частоты во время камуфлетных подземных ядерных взрывов мощностью: а) 15-30 кт, б) 110-150 кт

На рис.4 приведены результаты измерений во время подземного ядерного взрыва с неполным камуфлетом. При подготовке этого взрыва в туннель было заложено 5 зарядов. Мощность одного из них - 20-150 кт, каждого из остальных - 1-20 кт. Во время взрыва наблюдался выход продуктов взрыва на поверхность и повышенный уровень радиации. Возмущение доплеровского сдвига частоты и одновременное изменение амплитуды сигнала отмечено через 5-6 секунд после взрыва. Длительность возмущения - порядка 10 мин. Возмущение началось с отрицательной фазы и, после перехода через нуль, продолжилось в положительной фазе. При этом можно предположить, что взрыв привел к образованию волны плавучести (внутренняя гравитационная волна). Действительно, характер поведения амплитуды радиоволны подтверждает данное предположение. Перед взрывом наблюдались колебания фонового уровня. Через 5-6 с после взрыва произошел резкий рост амплитуды. Этот рост может быть объяснен резким уменьшение поглощения радиоволны по пути распространения из-за резкого уменьшения самой длины пути. Амплитуда возвращается к фоновому уровню, когда доплеровский сдвиг частоты переходит через ноль от отрицательных к положительным значениям. Т.е. тогда, когда отражение радиоволн опять начинает происходить от высоты ионосферы.

Характер записи возмущения резко отличается по виду от записей полностью камуфлетных взрывов (например, на рис. 3а,б), что связано с различием физики явлений, и может служить одним из признаков взрыва с неполным камуфлетом. В частности, отличительными признаками могут быть: секундные задержки реакции доплеровской частоты и амплитуды радиоволны на взрыв, форма возмущений доплеровской частоты и ее длительность порядка 10 мин, определяющая время «всплытия» ионизированного возмущения (и, соответственно, вместе с ней точки отражения радиоволны) от земной поверхности до высот ионосферы. В случае же камуфлетных взрывов, область отражения радиоволны возмущается только с момента прихода в нее акустической волны. Соответственно, и реакция ионосферы фиксируются только в период прохождения акустической волной этой области, т.е. в течение единиц и десятков секунд.



Рис.4. Записи доплеровского сдвига частоты и амплитуды зондирующей радиоволны во время подземного ядерного взрыва с неполным камуфлетом.

Идентификация химических. подземных ядерных взрывов и землетрясений. Предполагается, что ионосферный способ может различать взрывы: наземный точечный химический и подземный ядерный, а также подземный ядерный взрыв и землетрясение. Основанием для различения наземного точечного химического и подземного ядерного взрывов могут служить диаграммы направленности излучения акустической энергии. В первом случае диаграмма направленности имеет вид полусферы, во втором – это узкий лепесток, с максимальным излучением, направленным вверх. Измеряя акустическое поле, как минимум, в двух горизонтально разнесенных точках над местом взрыва, можно оценить степень его затухания с расстоянием, сделать вывод о характере диаграммы направленности и идентифицировать сам взрыв. Физической предпосылкой для различения подземного ядерного взрыва и землетрясения может служить цилиндрическая симметрия акустического поля, генерируемого откольной зоной подземного взрыва, имеющей круговую симметрию, в отличие от землетрясения, акустическое поле которого не обладает таким свойством.

Недостатки инфразвукового способа контроля взрывов

В отличие от инфразвукового или сейсмического методов, ионосферный способ на сегодняшний день не подкреплен большим объемом экспериментальных данных, который обеспечил бы получение необходимых эмпирических зависимостей для его современной постановки и внедрения в Международную систему мониторинга. Поэтому основная "тяжесть" в современном развитии метода переносится на создание теоретических моделей и проверку их соответствия отдельным экспериментам. Реализация этого подхода не является простой задачей. Теория распространения инфразвуковых волн в реальной атмосфере должна учитывать разнообразные эффекты, в том числе нелинейные преобразования акустических волн, неоднородность атмосферы, поглощение акустических волн и др. Вместе с тем, благодаря выполняемым измерениям в ближней зоне и на вертикальных участках траекторий акустических лучей (до их отражение от атмосферы), возможно существенное упрощение теоретических задач по сравнению с задачами распространения инфразвука на большие расстояния. В частности, в решениях и расчетах нет необходимости учитывать горизонтальные неоднородности атмосферы и соответствующие эффекты фокусировки и дефокусировки лучей, отражение от земной поверхности, профили скорости ветра и др. Последнее возможно и потому, что доплеровский сдвиг частоты «чувствителен» только к вертикальным движениям, но скорости вертикального движения ветра пренебрежимо малы по сравнению со скоростью звука и ими можно пренебречь. Таким образом, из параметров атмосферы, существенными для модельных расчетов, остаются только параметры, связанные с вертикальными профилями давления, температуры, плотности. Современные модели атмосферы, например, MSIS-90 [11], позволяют учитывать эти профили с точностью до единиц процентов, в отличие от профилей ветров, где ошибки могут составлять десятки и сотни процентов. На рис.5, в качестве примеров, приведены результаты модельных расчетов и измеренных значений давления, плотности и температуры атмосферы для эксперимента Mill Race [6].



Рис.5а-в. Сопоставление модельных расчетов (сплошная линия) и измеренных значений (кресты) параметров атмосферы: а) давление, б) плотность, в) температура. Эксперимент Mill Race [6].

Из рисунка видно хорошее согласие расчетных и экспериментальных данных. Для этого же эксперимента на рис. 6 и рис.7 сопоставлены результаты расчета и измеренные значения акустических импульсов [12] и значений доплеровского сдвига частоты для различных высот.



Рис.6 а-г. Модельные расчеты акустических импульсов и результаты их измерений для серии высот (h) и горизонтального расстояния (d): a - h=9 км, d=1.9; б - h= 8.8 км, d=5.2; в - h=8.6 км, d=10.6; г - h= 8.2 км, d=16.3. Эксперимент Mill Race [6]. Сплошная линия – модельные расчеты, кружки – результаты

Рисунки демонстрируют хорошие возможности моделирования для развития ионосферного способа Необходимо особо отметить, что хорошо согласуются между собой не только значения амплитуды и длительности возмущений, но и форма зависимостей.



Рис.7а-в. Модельные расчеты (сплошная линия) и результаты измерений (кружки) доплеровского сдвига частоты радиоволн для серии высот: а - 151км, б - 222км и в - 263км. Эксперимент Mill Race [2]

Одним из недостатков ионосферного способа, хотя и непринципиальным, является необходимость функционирования передатчика, излучающего радиосигналы. Снижению роли этого недостатка может способствовать использование сигналов стандартной сети радиовещательных станций. На рис. 8 приведен пример, где в качестве зондирующего сигнала использовалась частота 15.360 МГц Новосибирской радиовещательной станции. На нем представлены результаты измерений доплеровской частоты на трассе Новосибирск - Алматы во время Советско-Американского эксперимента 14 сентября 1988 г, когда был осуществлен подземный ядерный взрыв мощностью 110-150 кт на глубине 642 м.

К недостаткам ионосферного способа следует отнести также необходимость знания местопо-

ложения испытательного полигона для выполнения контрольных измерений. Поскольку ионосферные возмущения от взрывов имеют горизонтальные размеры порядка 100-300 км, ошибка определения места взрыва не должна превышать эту величину. На сегодняшний день географическое положение всех испытательных полигонов на Земле хорошо известны, их размеры не превышают указанной допустимой ошибки. Создание же новых полигонов или перенос места испытаний является весьма дорогостоящим мероприятием, а также требует огромных незаселенных территорий и решения экологических проблем. Поэтому названный недостаток нельзя считать принципиальным. Кроме того, снизить роль этого недостатка может объединение возможностей способов ионосферного и сейсмического. Поскольку сейсмические волны распространяются со скоростями порядка 5 км в секунду, а время распространения акустических волн до высот ионосферы порядка 10 мин, можно с использованием опережающих сейсмических данных о местоположении взрыва, провести подготовку радиозондирования ионосферы над этим местом. Далее, ионосферный способ может быть применен на больших расстояниях от полигона - аналогично инфразвуковому мониторингу. Действительно, на рис. 9 представлена типичная траектория инфразвуковых волн при их дальнем распространении. Как видно, отражение акустических лучей происходит от высот 100 - 120 км. Эти высоты соответствуют Е-слою ионосферы, и для них возможны измерения доплеровской частоты радиоволны, например, при вертикальном или слабонаклонном радиозондировании. Т.е., в принципе, можно и в стороне от испытательного полигона организовать радиозондирование слоя ионосферы в трех пунктах с малой базой разноса и по временным задержкам регистрируемых возмущений осуществлять пеленгацию места взрыва.



Рис.8. Записи доплеровского сдвига частоты и амплитуды радиосигнала Новосибирской радиовещательной станции во время Советско-Американского эксперимента на СИП. Приемный пункт - в г. Алматы.

Литература



Рис.9. Типичная траектория инфразвуковых волн при их отражении от ионосферных высот

Заключение

Высокие потенциальные возможности ионосферного способа обеспечивать дистанционный контроль непосредственно над испытательным полигоном и обнаруживать взрывы малой мощности могут служить основанием для дальнейшего его развития с перспективой включения в число методов, используемых Международной системой мониторинга. Недостатки метода не являются принципиальными, и их роль может быть существенно снижена при совместном использовании его с другими методами. Главными направлениями исследований должны стать: совершенствование моделей математического описания явлений, дополнительное увеличение точности измерений доплеровского сдвига частоты зондирующих ионосферу радиоволн, увеличение объема экспериментов. Совершенствование моделей математического описания явлений имеют важное значение и для развития инфразвукового способа мониторинга взрывов. При этом следует отметить, что на сегодняшний день только регистрация ионосферных возмущений может обеспечить оценку справедливости теоретических расчетов для высот 90-120 км и, соответственно, скорректировать развиваемую физическую модель.

Комплексирование сейсмического, инфразвукового и ионосферного методов позволит повысить надежность дистанционного обнаружения и идентификации химических и подземных ядерных взрывов.

 Шаффер Д.Л., Краснов В.М. Дистанционный контроль ядерных взрывов при радиозондировании ионосферы над местом взрыва// II Международная конференция по нераспространению ядерного оружия. Тезисы докладов. Курчатов. 1998. С. 43.

- 2) Warshaw S.I., Dubois P.F. Ionospheric detection of explosion// Lawrence Livermore National Laboratory, Energy and Technology Review, 1983, May, Issue, 49 p.
- 3) Blance E. Neutral temperature and electron density measurements in the low E region by vertical HF sounding in the presence of an acoustic wave// Geophysical Research Letters, v.9,N4, pp. 450-453, 1982.
- 4) Krasnov, V.M., Remote monitoring of nuclear explosions during radio sounding of ionosphere over explosion site// 16th National radio sience conference, Report, Egypt, Feb23-25, 1999, p. INV2-1 -INV2-7.
- 5) Barry G.H., Griffiths L.J. and Taenzer J.C. HF radio measurements of high-altitude acoustic waves from a ground-level explosion // J. Geophys. Res. 1966. V.71. No 17. P.4173-4182.
- Banister and W.V. Hereford. Observed high-altitude pressure wave from an underground and surface explosion// J. Geophys. Res. 1991, V.96, No D3, p. 5185-5193.
- 7) Дробжев В.И., Краснов В.М., Калиев М.З. и др. Реакция ионосферы на промышленный наземный взрыв. // Вестник АН Каз.ССР. 1982. № 8. С.64-67.
- Альперович Л.С., Вугмейстер Б.О. Гохберг М.Б., Краснов В.М. и др. Об опыте моделирования магнитосферноионосферных эффектов при сейсмических явлениях // Доклады АН СССР. 1983. Т.269.№3. С.573-578.
- 9) Drobzheva Ya.V., Krasnov V.M. The model of acoustic disturbances in atmosphere and ionosphere for Mill Race explosion// Phys. Chem. Earth (B), 1999, Vol.24, No.8, pp. 963-967.
- 10) Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. Недра, М., 1981. 190 с.
- 11) Hedin A.E., Extension of the MSIS thermospheric model into the middle and low atmosphere// J/ Geophys. Res., 1991, A96, pp.1159-1172.
- Дробжева, Я.В, Краснов В.М. Начальная форма и модель вертикально-наклонного распространения акустического импульса в атмосфере (на основе результатов взрыва Mill Race)// Акустический журнал, 1999, Т.45, №2, с.223-228.

Жарылыс өткен жердің үстінде ионосфераның радиозондпен тексеруді қолданып, жер бетіндегі химиялық жарылыстарды бақылау

Краснов В.М, Дробжева Я.В.

ҚР Білім және ғылыми министрлігінің ионосфера институты

Мұнда жер үсті химиялық және жер асты ядролық жарылыстарды бақылаудың ионо- сфералық тәсілінің артықшылықтары мен кемшіліктері, негізгі принциптері баяндалған. Ионосфера тікелей жарылыс өткен жердің үстіне инфрадыбыс сипатын өлшеуге мүмкіндік беруші "аппарат" ретінде қарастырылады. Дистанционды радиозонд жәрдемімен ионосферадағы өзгерістер туралы ақпарат "түсіріледі", яғни сол орында инспекция жүзеге асады.

Monitoring of Surface Chemical and Underground Nuclear Explosions with Help of Ionospheric Radio Sounding above Test Site

V.M. Krasnov, Ya.V. Drobzheva

Ionosphere Institute of the Ministry of Education and Science of RK

We describe the basic principles, advantages and disadvantages of ionospheric method to monitor surface chemical and underground nuclear explosions. The ionosphere is "an apparatus" for the infrasound measurement immediately above the test site. Using remote radio sounding of the ionosphere you can obtain that information. So you carry out the inspection at the test site. The main disadvantage of the ionospheric method is the necessity to sound the ionosphere with radio waves. УДК 534.2+550.34

О МЕХАНИЗМЕ ОТРАЖЕНИЯ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ

Краснов В.М.

Институт ионосферы МОиН РК

Получено решение задачи об отражении плоской монохроматической инфразвуковой волны от слоя атмосферы на основе функций Бесселя, отличающееся от предыдущих решений учетом градиента плотности и градиента скорости гидродинамических частиц. Найдено, что в общем случае, акустические волны образуют в области отражения поверхностную границу плотности частиц. Глубина проникновения акустической волны выше "точки" отражения не является величиной постоянной и зависит от фазы падающей волны. Новое решение показывает, что область применимости геометрической акустики шире, чем предполагалось ранее.

Введение

При расчете характеристик инфразвуковых волн, распространяющихся в атмосфере, особую сложность в изучении вызывает область отражения, где приближения геометрической акустики оказываются несправедливыми. Одним из приемов, позволяющих обойти эту сложность, является замена реального высотного профиля проницаемости среды: $\varepsilon(z) = n^2(z)$, где **n** - коэффициент преломления, - на линейный профиль, для которого возможно получение строгого решения. Очевидно, что такая замена справедлива при плавном изменении **є**(**z**) и малой толщине области отражения. Описанию характеристик поля плоской монохроматической волны в слое с линейным законом убывания $\epsilon(z)$ посвящено много работ, например, [1,2]. Но, как правило, в них представлены частные решения, не раскрывающее полностью механизм отражения акустических волн. В этой связи целью настоящей работы явилось получение более общего решения и анализ, на его основе, поля инфразвуковых волн в области точки отражения.

Обобщенное решение задачи отражения акустических волн в линейном слое

Обычно (например, в [2] - уравнения (1.6-1.8)) в качестве исходных для решения выбирают уравнения вида:

$$\begin{split} &\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \left(\vec{v}\nabla\right)\vec{v}_{0} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \frac{\rho'}{\rho^{2}}\nabla p_{0}, \\ &\frac{\partial \rho'}{\partial t} + \rho' div\left(\vec{v}_{0}\right) + div(\rho\vec{v}) = 0, \quad (1) \\ &(\vec{v}\nabla)p_{0} + \frac{\partial p}{\partial t} = c^{2}\frac{\partial \rho'}{\partial t} + c^{2}\left(\vec{v}_{0}\nabla\right)\rho + c^{2}\left(\vec{v}\nabla\right)\rho, \end{split}$$

где: $\mathbf{v}_0, \mathbf{p}_0, \boldsymbol{\rho}$ - значения вектора скорости гидродинамических частиц, давления и плотности атмосферы без звуковой волны; \vec{v}, p, ρ' - значения тех же величин, привносимых звуковой волной; с - скорость звука.

Предполагают, что $\mathbf{p} \ll \mathbf{p}_0$ и $\mathbf{\rho}' \ll \mathbf{\rho}$, и для покоящейся среды, когда $\vec{\mathbf{v}}_0 \equiv \mathbf{0}$ и $\mathbf{\rho} = \mathbf{const}$, эту систему уравнений сводят к виду

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \nabla \mathbf{p} \,_{\mathrm{H}} \, \operatorname{div} \vec{\mathbf{v}} + \frac{1}{\rho c^2} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial t} = \mathbf{0} \,. \quad (2)$$

Затем для просты решения принимают, что однородное и слоисто-линейное полупространства граничат по плоскости z = 0 и что при z < 0 среда однородна, а скорость звука равна c_0 . Тогда зависимость ε от z принимает следующий вид:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{1} - \frac{\mathbf{z}}{\mathbf{z}_1},\tag{3}$$

где **Z**₁ - высота точки отражения акустической волны при вертикальном падении.

При сделанных предположениях из (2) для плоских волн, распространяющихся по вертикали и с зависимостью от времени $exp(i\omega t)$, получается следующее волновое уравнение (ω -частота волны)

$$\frac{\partial^2 \mathbf{p}}{\partial z^2} + \frac{\omega^2}{c_0^2} \varepsilon \mathbf{p} = \mathbf{0}.$$
 (4)

Подчеркнем, что приведенные выше исходные уравнения получены в пренебрежении малыми членами в более общих уравнениях [2] (члены, содержащие \vec{v}_0 и p_0 , не учтены изначально):

$$\frac{\partial \vec{\mathbf{v}}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho + \rho'} \operatorname{grad} \mathbf{p} \,, \tag{5}$$

$$\frac{\partial \rho'}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{v}) + \operatorname{div}(\rho' \vec{v}) = 0, \quad (6)$$
$$\frac{\partial p}{\partial t} = c^2 \frac{\partial \rho'}{\partial t} + c^2 \vec{v} \operatorname{grad}(\rho + \rho'). \quad (7)$$

В частности, в уравнении (5) пренебрегли значением ρ' по сравнению с ρ , в уравнении (6) членом $div(\rho'\vec{v})$ и в уравнении (7) - членом $c^2\vec{v} \operatorname{grad}(\rho + \rho')$. Таким образом, заранее предположено, что в конечных решениях величина градиентов плотности и скорости гидродинамических частиц, привносимых акустической волной, должна составлять пренебрежимо малые величины. Рассмотрим, к каким последствиям приводит данное ограничение, и, прежде всего, как это влияет на вид волнового уравнения.

Для этого проведем некоторые упрощения системы уравнений (5-7). В частности, в уравнении (5) пренебрежем значением ρ' по сравнению с ρ . В уравнении непрерывности (6) пренебрежем чле-

ном $\rho' \frac{\partial v_z}{\partial z}$ по сравнению с членом $\rho \frac{\partial v_z}{\partial z}$ (рассматриваем только вертикальное падение волны), а в уравнении (7) учтем, что $grad(\rho) = 0$. В результате, из (5-7) можно получить следующую систему уравнений:

$$\frac{\partial \mathbf{v}_{z}}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial z} ,$$

$$\frac{\partial \mathbf{p}'}{\partial t} + \rho \frac{\partial \mathbf{v}_{z}}{\partial z} + \mathbf{v}_{z} \frac{\partial \mathbf{p}'}{\partial z} = \mathbf{0} , \qquad (8)$$

$$\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial t} = c^{2} \left(\frac{\partial \mathbf{p}'}{\partial t} + \mathbf{v}_{z} \frac{\partial \mathbf{p}'}{\partial z} \right) .$$

Первое уравнение системы (8) полностью соответствует первому уравнению системы (2). Далее, комбинируя второе и третье уравнения, можно получить уравнение, полностью совпадающее по виду со вторым уравнением системы (2). Отсюда следует, что вид волнового уравнения (4) также будет справедливым для случаев больших градиентов плотности и скорости гидродинамических частиц, привносимых акустической волной. Таким образом, в обоих случаях, можно ожидать одинакового вида решений волнового уравнения. Однако в первом из них существует ограничение: подстановка граничных условий не должна приводить к большим величинам градиентов $\frac{\partial \rho'}{\partial z}$ и

 $\frac{\partial v_z}{\partial z}$.

Определим граничные условия в следующем виде: амплитуда падающей волны при z = 0 + 0 равна p_n , начальная фаза - ϕ ; $p(z \rightarrow \infty) = 0$. Перепишем уравнение (4) в виде

$$\frac{\mathbf{l}^2 \mathbf{p}}{\mathbf{l}\boldsymbol{\zeta}^2} + \boldsymbol{\zeta} \mathbf{p} = \mathbf{0} \,, \tag{9}$$

где
$$\zeta = \left(\frac{\omega}{c_0} z_1\right)^{2/3} \varepsilon(z)$$
. (10)

Как известно [3], общее решение уравнения (9) может быть получено с помощью функций Бесселя, Неймана или Ханкеля, при этом все полученные решения будут эквивалентными. В первом случае решение имеет вид:

при **z ≤ z**₁

$$\mathbf{p} = \boldsymbol{\zeta}^{1/2} \left[\mathbf{C}_1 \mathbf{J}_{1/3} \left(\frac{2}{3} \boldsymbol{\zeta}^{3/2} \right) + \mathbf{C}_2 \mathbf{J}_{-1/3} \left(\frac{2}{3} \boldsymbol{\zeta}^{3/2} \right) \right], (11)$$

при **z ≥ z**₁

$$p = (-\zeta)^{1/2} \begin{cases} C_{3}I_{1/3}\left[\frac{2}{3}(-\zeta)^{3/2}\right] + \\ + C_{4}K_{1/3}\left[\frac{2}{3}(-\zeta)^{3/2}\right] \end{cases}, \quad (12)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 - константы; $J_{1/3}()$ и $J_{-1/3}()$ - функции Бесселя; $I_{1/3}()$ - функция Бесселя мнимого аргумента; $K_{1/3}()$ - функция Макдональда. Заметим, что при Z, стремящемся к бесконечности, в (12) член с множителем $I_{1/3}()$ стремится к бесконечности, а член с множителем $K_{1/3}()$ убывает до нуля. Поскольку **р** не может равняться бесконечности, примем $C_3 \equiv 0$. Исходя из системы уравнений (1), исключающем в решении возможность разрывов, добавим к вышеперечисленным граничным условиям требование непрерывности функции в точке $z_1 - \frac{\partial p}{\partial z}$ (как это сделано, например, в [1]). Тогда из (11) и (12), при равенстве величин **p** и $\frac{\partial p}{\partial z}$ свер-

ху и снизу от \mathbf{Z}_1 , нетрудно получить следующую систему уравнений:

$$C_4 \pi 3^{-1/6} = C_2 3^{1/3}$$
,
 $C_4 \pi 3^{1/6} = C_1 3^{2/3}$.

Решая ее, получаем $C_1 = C_2$, и тогда (11) принимает вид

$$\mathbf{p} = \mathbf{C}_{1} \boldsymbol{\zeta}^{1/2} \left[\mathbf{J}_{1/3} \left(\frac{2}{3} \boldsymbol{\zeta}^{3/2} \right) + \mathbf{J}_{-1/3} \left(\frac{2}{3} \boldsymbol{\zeta}^{3/2} \right) \right].$$
(12)

Полученное выражение, как известно [4], с точностью до постоянного множителя является функцией Эйри $\mathbf{p} = \mathbf{bAi}(\boldsymbol{\zeta})$, где **b** - константа. Решение через функцию Эйри приведено в [2]. С учетом временного множителя решение через функцию Эйри принимает вид

$$\mathbf{p} = \mathbf{b}\mathbf{A}\mathbf{i}(\boldsymbol{\zeta})\boldsymbol{\cos}\boldsymbol{\omega}\mathbf{t}.$$
 (13)

В начале слоя, при z = 0 + 0, как следует из

(10) и (3),
$$\zeta(z=0+0) = \left(\frac{\omega}{c_0}z_1\right)^{2/3}$$
. Значения

 ω и z_1 реально можно подобрать так, что $\xi(z \rightarrow 0) >> 1$. В результате (13) может быть представлено асимптотической аппроксимацией [3]:

$$\mathbf{p}(\mathbf{z} \to \mathbf{0}) \approx \frac{3\mathbf{b}}{\sqrt{\pi}} \zeta^{-1/4} \cos\left(\frac{2}{3} \zeta^{3/2} - \frac{\pi}{4}\right) \cos \omega \mathbf{t} \cdot (14)$$

Из выражения (14) видно, что, как и исходное решение (13), оно зависит только от одной независимой константы - **b**, которая, по сути, является масштабным множителем, определяющем амплитуду стоячей волны.. При этом, при произвольных параметрах падающей волны, нули и максимумы поля по оси z имеют строго фиксированные положения (фазовый множитель не включает в себя неизвестную константу). Т.е., для приведенного решения не требуются начальные данные о поведении фазы падающей волны или разности фаз интерферирующих волн в точке z = 0. Вместе с тем, очевидно, что в общем случае вертикальное распределение поля стоячей волны должно определяться не только ее амплитудой, но и разностью фаз интерферирующих волн в какой-либо точке. Для рассмотренных эквивалентных решений [1,2] это может означать, например, что разность фаз падающей и отраженной волн была уже ранее задана при удовлетворении дополнительного граничного условия в точке отражения. Действительно, попробуем решить задачу в ином порядке, рассматривая вначале граничные условия при z = 0. Будем, однако, исходить из системы уравнений (8), не требующей малости градиентов плотности и скорости гидродинамических частиц. В начале слоя для многих реальных значений $\mathbf{0}$ и \mathbf{z}_1 выражение (11) можно представить асимптотической аппроксимацией [3]:

$$p(z \to 0) \approx \sqrt{3/\pi} \zeta^{-1/4} \times \begin{bmatrix} C_1 \cos\left(\frac{2}{3} \zeta^{3/2} - - -\frac{5\pi}{12}\right) + \\ -\frac{5\pi}{12} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_2 \cos\left(\frac{2}{3} \zeta^{3/2} - \frac{\pi}{12}\right) \end{bmatrix}.$$
 (15)

Пусть
$$C_1 \sin \frac{\pi}{12} + C_2 \cos \frac{\pi}{12} = A \cos \Phi$$

и $C_1 \cos \frac{\pi}{12} + C_2 \sin \frac{\pi}{12} = A \sin \Phi$.

Учтем также, что уравнение (4) получено для монохроматического сигнала. Тогда выражение (15) при $z \rightarrow 0$ примет вид:

$$p \approx A \sqrt{\frac{3}{\pi}} \zeta^{-1/4} \cos\left(\frac{2}{3} \zeta^{3/2} - \Phi\right) \cos(\omega t) =$$

= $\frac{A}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \zeta^{-1/4} \cos\left(\omega t + \frac{2}{3} \zeta^{3/2} - \Phi\right) + (16)$
+ $\frac{A}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \zeta^{-1/4} \cos\left(\omega t - \frac{2}{3} \zeta^{3/2} + \Phi\right).$

В выражении (16), в отличие от (14), фазовый множитель содержит вместо $\pi / 4$ неизвестную константу Φ . При этом, выражение (16), как и выражение (14), описывает стоячую волну, образованную интерференцией падающей и отраженной волн и значения фаз падающей и отраженной волн "симметричны" относительно нуля.

Определим причину возникшей симметрии. Пусть в общем случае падающая волна на границе слоя при z = 0 имеет вид $p_i = A / 2 \cos(\omega t + \varphi)$, а отраженная волна $p_r = A / 2 \cos(\omega t + \alpha)$. Тогда, поле стоячей волны в точке z = 0 может быть описано выражением

$$p = p_i + p_r = A \cos\left(\omega t + \frac{\phi + \alpha}{2}\right) \cos\left(\frac{\phi - \alpha}{2}\right).$$

Учитывая, что ранее, во временной области при выводе уравнения (4), начальный сдвиг фаз принят равным нулю, положим в первой квадратной скоб-

ке $(\phi + \alpha)/2 = 0$. Из условия следует, что решение задачи возможно только для случаев, когда $\alpha = -\phi$, т.е. фазы падающей и отраженной волн оказались жестко связанными: изменения фазы падающей волны требуют внесения соответствующих изменений в фазу отраженной волны. Соответственно будет меняться и разность фаз этих волн:

 $-\frac{4}{3}\zeta^{3.2} + 2\Phi$. Далее, если подставить гранич-

ные значения амплитуды и фазы падающей волны при z = 0 + 0 из (16) и (10), получим

$$A = 2p_n \sqrt{\frac{\pi}{3}} \left(\frac{\omega}{c_0} z_1\right)^{1/6} = \frac{2}{3} \frac{\omega}{c_0} z_1 - \varphi;$$

и из (15), (11) получим

$$p(z \to 0; t) \approx 2p_{n} \left(1 - \frac{z}{z_{1}}\right)^{-1/4} \times \cos\left(\frac{2}{3}\zeta^{3/2} - \Phi\right) \cos\left(\omega t\right).$$
(17)

$$p(z \le z_{1}; t) = \frac{4}{3} p_{n} \sqrt{\pi} \left(\frac{\omega}{c_{0}} z_{1}\right)^{1/6} \zeta^{1/2} \times \left[\cos\left(\Phi + \frac{\pi}{12}\right) J_{-1/3}\left(\frac{2}{3}\zeta^{3/2}\right) + + \sin\left(\Phi - \frac{\pi}{12}\right) J_{1/3}\left(\frac{2}{3}\zeta^{3/2}\right) \right] \times \cos(\omega t).$$
(18)

При $z = z_1$ выражение (18) принимает вид

$$p(z = z_{1}; t) = \frac{4p_{n}\sqrt{\pi}}{\sqrt[3]{9}\Gamma(2/3)} \left(\frac{\omega}{c_{0}}z_{1}\right)^{1/6} \times \cos\left(\Phi + \frac{\pi}{12}\right) \cos(\omega t).$$
(19)

С другой стороны, из (12), с учетом $C_3 \equiv 0$

при $\mathbf{z} = \mathbf{z}_1$, имеем

$$\mathbf{p}(\mathbf{z} = \mathbf{z}_1; \mathbf{t}) = \frac{\mathbf{C}_4 \pi}{\sqrt[6]{3}\Gamma(2/3)} \cos(\omega \mathbf{t}), \quad (20)$$

где учтена зависимость поля от времени, $\Gamma()$ - гамма функция.

Выражение (19) может быть приравнено к (20), в связи с чем

$$C_4 = \frac{4p_n}{\sqrt{3\pi}} \left(\frac{\omega}{c_0} z_1\right)^{1/6} \cos\left(\Phi + \frac{\pi}{12}\right)$$
 и для

 $z \ge z_1$ имеем

$$p(z \ge z_1) = \frac{4p_n}{\sqrt{3\pi}} \left(\frac{\omega}{c_0} z_1\right)^{1/6} (-\zeta)^{1/2} \times \cos\left(\Phi + \frac{\pi}{12}\right) K_{1/3} \left[\frac{2}{3} (-\zeta)^{3/2}\right] \cos(\omega t).$$

$$(21)$$

Полученные выражения (17,18) и (21) представляют новое решение, описывающее поле во всей области его существования, и являющееся более общим, чем дано, например, в работах [1,2]. Из уравнений легко увидеть, что, задавая различные начальные значения фазы падающей волны () и тем самым меняя Ф, можно "конструировать" стоячую волну с узлом или пучностью, а также с промежуточным значением в точке Z₁. Соответственно будет меняться и положение узлов и пучностей вдоль всей оси z, a, согласно формулы (21), глубина проникновения поля выше **Z**₁. Нетрудно показать, что при $\Phi = \pi / 4$ полученные решения переходят в частные - (13) и (14). Т.е., если первоначально дополнительно потребовать непрерывность $\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \mathbf{z}}$ в точке отражения или решать задачу

через функцию Эйри, то это автоматически означает задание константы Φ , равной π / 4.

Рассмотрим, к каким еще новым физическим результатам может привести произвольность задания значения Φ и решения, основанные на системе уравнений (8). Плотность потока j_z гидродинамических частиц атмосферы можно найти из первого уравнения системы (8) в виде

$$\mathbf{j}_{z} = \rho \mathbf{v}_{z}(z, t) = -\int_{t} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial z} dt$$
 (22)

Подставляя (18) в (22), получим

$$j_{z}(z < z_{1};t) = \frac{4}{3} \frac{p_{n} \sqrt{\pi}}{c_{0}} \left(\frac{\omega}{c_{0}} z_{1}\right)^{-1/6} \times \left[\sin\left(\Phi - \frac{\pi}{12}\right) J_{-2/3}\left(\frac{2}{3} \zeta^{3/2}\right) - \left[-\cos\left(\Phi + \frac{\pi}{12}\right) J_{2/3}\left(\frac{2}{3} \zeta^{3/2}\right)\right] \times (23) \times \sin(\omega t)$$

При $z = z_1 - 0$ выражение (23) принимает вид

$$j_{d} = \frac{4p_{n}\sqrt{\pi}}{\sqrt[3]{3}\Gamma(1/3)c_{0}} \left(\frac{\omega}{c_{0}}z_{1}\right)^{-1/6} \times \\ \times \sin\left(\Phi - \frac{\pi}{12}\right)\sin(\omega t).$$
(24)

Подставляя (21) в (22), получим для **z > z₁**

$$j_{z}(z > z_{1};t) = \frac{4p_{n}}{\sqrt{3\pi}c_{0}} \left(\frac{\omega}{c_{0}}z_{1}\right)^{-1/6} (-\zeta) \times \cos\left(\Phi + \frac{\pi}{12}\right) K_{2/3} \left[\frac{2}{3}(-\zeta)^{3/2}\right] \sin(\omega t).$$
(25)

При $z = z_1 + 0$ из (25) имеем

$$j_{u} = \frac{4p_{n}\sqrt{\pi}}{\sqrt[3]{3}\Gamma(1/3)c_{0}} \left(\frac{\omega}{c_{0}}z_{1}\right)^{-1/6} \times \cos\left(\Phi + \frac{\pi}{12}\right)\sin(\omega t).$$
(26)

Выражения (24) и (26) показывают, что $\mathbf{j}_{\mathbf{d}}$

не равно \mathbf{j}_{u} , то есть, акустическая волна в общем случае привносит разрыв плотности потока гидродинамических частиц в область точки отражения \mathbf{z}_{1} . В свою очередь, на поверхности разрыва вектора \mathbf{j} уравнение непрерывности имеет вид

$$div\overline{j} = j_{u} - j_{d} = \frac{4p_{n}\sqrt{\pi}}{\sqrt[3]{3}\Gamma(1/3)c_{0}} \left(\frac{\omega}{c_{0}}z_{1}\right)^{-1/6} \times \left[\cos\left(\Phi + \frac{\pi}{12}\right) - \sin\left(\Phi - \frac{\pi}{12}\right)\right] \times (27)$$
$$\times \sin(\omega t) = -\frac{d\sigma}{dt},$$

где о - поверхностная плотность частиц.

В качестве примера рассмотрим случай, когда в точке \mathbf{Z}_1 наблюдается узел волны, т.е. $\cos\left(\Phi + \frac{\pi}{2}\right) = 0$. При этом условии из (21) можно увидеть, что инфразвуковые волны не проникают выше точки отражения и полностью отражаются на границе $\mathbf{Z} = \mathbf{Z}_1$. Соответственно, выше \mathbf{Z}_1 не должно наблюдаться движение частиц, что подтверждается равенством нулю плотности потока гидродинамических частиц в выражениях (25, 26). Рассмотрим другой предельный случай, когда в точке \mathbf{Z}_1 наблюдается пучность волны, т.е. $\cos\left(\Phi + \frac{\pi}{2}\right) = 1$. При этом условии, согласно

(21), выше точки **Z**₁ волны проникают на максимальную величину, быстро затухая при распространении. Плотность потока гидродинамических частиц выше точки отражения, при $z = z_1 + 0$, становится максимальной по амплитуде и также быстро затухает с высотой - выражения (25, 26). Из (24, 25) видно также, что плотность потока гидродинамических частиц выше точки отражения больше по амплитуде и сдвинута по фазе на 30 градусов. Это является следствием того, что коэффициент преломления среды: $\mathbf{n}(\mathbf{z}) = \sqrt{\varepsilon(\mathbf{z})}$ - в точке отражения скачком меняет свое значение от действительных величин к мнимым, что можно видеть из (3). Таким образом, точка **Z**₁ является границей раздела двух слоев атмосферы с разными преломляющими свойствами и сдвиг по фазе потоков частиц создает в точке отражения поверхностную плотность - о (27). Затухание амплитуды волны выше **Z**₁ в среде, для которой по начальным условиям отсутствует поглощение, может означать только одно, что по пути распространения волны происходит ее отражение. Т.е., по сравнению с первым случаем, произошло "растяжение" области отражения.

Заключение

Получено новое более общее решение, представленное выражениями (18 – 19), (21), описывающими отражение плоской монохроматической инфразвуковой волны от слоя атмосферы.



Рис. Зависимость нормированной амплитуды инфразвуковой волны p/p_n от высоты в области точки отражения. Частота волны - 5 Гц. Результаты расчетов: по новому решению (18, 21) - сплошная линия; с использованием решения (13) в [2] - линия с квадратами; с использованием решения в приближении геометрической акустики [1] - линия с точками.

Выполнен анализ полученного решения, который показывает, что акустическая волна в области точки отражения может наводить поверхностный скачок плотности гидродинамических частиц.

Это обстоятельство не противоречит известной системе уравнений (8), а, следовательно, и заложенным в них фундаментальным законам, разрешающим существование больших градиентов плотности и скорости гидродинамических частиц (в частности, разрывов). Решение позволило сделать также новый вывод о том, что глубина проникновения поля акустической волны выше точки отражения не является постоянной величиной (при прочих равных условиях), а зависит от значения фазы падающей волны.

Полученное решение позволяет получить важный практический результат, касающийся определения границ применимости геометрической акустики. На нижеприводимом рисунке приведены результаты расчетов изменения возмущения давления как функции высоты для случая вертикального падения плоской монохроматической акустической

Литература

- 1) Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М., Наука, 1957, 502 с.
- 2) Бреховских Л.М., Годин О.А. Акустика слоистых сред. М., Наука, 1989, 412 с.
- 3) Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. М., Наука., 1977, 342 с.
- 4) Кузнецов Д.С. Специальные функции. М., Высшая школа, 1965, 423 с.

Инфрадыбыстық толқындардың атмосферада шағылуының механизмі туралы

Краснов В.М.

КР Білім және ғылыми министрлігінің ионосфера институты

Жазық монохромотикалық инфрадыбыс толқынының шағылысуы жөнінде атмосфера қабатынан Бесселя функциясы негізінде гидродиномикалық жиіліктегі градиент жаззығы мен шапшаңдығын айыратын есептер шешімі алынды. Жалпы жағдайда акустикалық толқын шағылу аймағында бөлшек жиілігінің беткі шекарасын жасайтыны анықталды. Акустикалық толқынның өту тереңдігі жоғары"нүкте" шағылысуына тұрақты шама бола алмайды және түскен толқын фазасына тәуелді болады. Жаңа ше- шім геометриялық акустиканың қолданылу аймағы бұрынғы болжамдардан кеңейе түскенін көрсетеді.

Mechanism of Infrasound Wave Reflection in the Atmosphere

V.M. Krasnov

Ionosphere Institute of the Ministry of Education and Science of RK

Bessel functions are used to obtain a general solution of the problem of flat monochromatic infrasonic wave reflection from atmospheric layer. By contrast to the previous solutions we account for the terms in the equations of conservation mass and entropy, which are proportional to gradient of wave induced density and gradient of hydrodynamic particle velocity. We find in general case, that an acoustic wave forms surface boundary of particle density at the reflection region. A depth of acoustic field penetration is not constant value and depends on an incident wave phase. New solution shows that the region of geometry acoustics applicability is wider then it is supposed earlier.

волны с частотой 5 Гц и толщиной области отражения $z_1 = 10$ км.

Сплошной линией показано возмущение давления в зависимости от высоты p(z), рассчитанное по формулам нового решения - (18), (21), при значении фазы Ф, равном нулю. Точками воспроизведены результаты расчетов для того же значения фазы в приближении геометрической акустики [1]. И, наконец, линией с квадратами показана кривая, рассчитанная с использованием решения, полученного на основе функции Эйри [2]. Видно, что новое волновое решение и приближение геометрической акустики согласуются между собой до больших высот лучше, чем приближение геометрической акустики и старое решение. Поскольку новое решение является более общим, то можно считать, что область применимости геометрической акустики шире, чем предполагалось ранее.

Раздел 2 – Изучение состояния блоков земной коры после подземных ядерных взрывов и в связи с крупным строительством

УДК 621.039 (24) (574.41)

РАЗМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ БАЛАПАН СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Коновалов В.Е., Грязнов О.В.

Институт геофизических исследований

На площадке Балапан Семипалатинского испытательного полигона проводятся многоплановые исследования, представляющие практический и научный интерес. Значительные затруднения при обработке получаемой информации возникают из-за отсутствия надежной пространственной привязки расположенных здесь объектов. С целью частичного восполнения этого пробела авторы предоставляют данные, имеющиеся в Институте геофизических исследований НЯЦ РК.

Площадка Балапан служила основным местом проведения подземных ядерных испытаний в скважинах на Семипалатинском испытательном полигоне. В ее пределах было проведено 104 испытания, для чего использовано 105 скважин. В качестве испытательной площадка функционировала с 19 июня 1968 года (испытание в скважине 1053) до 19 октября 1989 года (испытание в скважине 1365). Испытание в скважине 1365 явилось так же последним на всем Семипалатинском полигоне. Таким образом, на площадке Балапан испытания ядерных устройств проводились в течение 21 года и 4 месяцев и прекратились с закрытием Семипалатинского полигона.

До организации испытательной площадки на этой территории 15 января 1965 года был проведен ядерный взрыв в скважине 1004. Целью этого испытания являлась разработка заряда для создания гидротехнических сооружений. В результате взрыва были созданы плотина и кратерное озеро в долине Шаган. Настоящая испытательная скважина так же включена в число объектов площадки Балапан.

После закрытия Семипалатинского полигона начались исследования экологической ситуации, последствий воздействия ядерных испытаний на геологическую среду, проведение сейсмических экспериментов в поддержку системы контроля и проверки Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) и другие работы, имеющие практическое и научное значение. Все проводимые исследования постоянно сталкиваются с проблемой пространственной привязки изучаемых объектов. С целью снятия этой проблемы ИГИ была предпринята попытка произвести определение пространственного положения скважин с помощью прибора GPS. Площадка Балапан служила основным местом проведения этих работ. Однако применяемая аппаратура не позволила достичь требуемой точности, и приходилось полученные результаты корректировать по топографической ситуации, что не всегда возможно в условиях равнинного рельефа.

Некоторые скважины имели топографическую привязку в условной системе координат, которая использовалась гор-нопроходческими организациями при проектировании и сооружении объектов. Опираясь на сохранившуюся государственную триангуляционную систему на площадке Балапан, условные координаты удалось пересчитать в географическую систему координат. Кроме того, географические координаты скважин, в которых проводились испытания до 1973 года, были опубликованы ещё в 1989 году [1]. Анализ всех имеющихся данных позволяет полагать, что они могут быть использованы при исследовательских работах, хотя и требуют дальнейшего уточнения.

Помимо скважин, приведенных в таблице, на площадке Балапан имеется значительное число структурных, гидрогеологических и других скважин, которые используются в исследовательских целях. Они так же должны получить пространственную привязку. Поэтому существует необходимость в проведении значительного объема топографических работ на площадке Балапан. Таблица Координаты скважин на площадке Балапан

N⁰	№ испытания	№ скважины	Географические координаты		Лата провеления	
п/п	по каталогу		северная	восточная	абсолютная	испытания
			широта	долгота	отметка, м	
1.	231	1004	49°56'06"	79°00'33,7"	305	15.01.65.
2.	285	1053	49°58'48,9"	78°59'07,8"	313	19.06.68.
3.	312	1054	49°55'27.4"	78°57'20.7"	322	30.11.69.
4	341	1056	49°56'45.6"	78°58'49 7"	317	30.06.71
5.	355	1007	50°01'27.4"	78°52'41.1"	311	10.02.72.
6.	373	1061	49°55'37.1"	78°49'02.1"	337	02.11.72.
7.	377	1204	50°01′37.2"	78°59'44"	308	10.12.72.
8.	382	1066	49°58'08"	78°49'03"	327.0	23.07.73.
9.	387	1267	49°57'42"	78°51'20"	327.0	20.09.73.
10.	393	1069	50°03'47"	78 ⁰ 55'59"	306.0	04.11.73.
11.	394	1064	50°02'37.7"	78 ⁰ 59'08.9"	308.0	14.12.73.
12	398	1301	50°01'28"	78 ⁰ 55'35"	315.0	16 04 74
13.	400	1207	49°57'38"	78°50'39"	327.0	31.05.74.
14.	404	1050	49°56'15"	78°56'09"	324.0	29.07.74.
15.	410	1005	49°59'15"	78°53'39"	321.3	16.10.74.
16.	416	1058	49°57'57"	79°00'12"	311.0	27.12.74.
17.	421	1205	49 ⁰ 56'15"	78°54'13"	327.0	27.04.75.
18.	423	A	49°59'08"	78°53'49"	321.2	30.06.75
19	433	1206	49°57'14"	78°52'26"	326.0	29 10 75
2.0	435	1067	50°02'38"	78°49'12"	315.0	25 12 75
21	440	1201	49°54'02"	78°49'51"	338.0	21.04.76
22	443	1075	49°59'37"	79°01'51"	306.0	09.06.76
23	444	1062	49°54'45"	78°53'58"	319.0	04 07 76
24	448	1202	49°58'30"	78°55'35"	321.0	28 08 76
2.5	453	1202-бис	50°00'47"	78°56'36"	315.5	23 11 76
26.	454	1304	49°56'38"	78°50'21"	332.0	07.12.76.
27.	455	1209	49°53'57"	78°47'11"	343.0	07.12.76.
28.	460	1400	49056'47^'	78°46'18"	335.0	29.05.77.
29.	461	1080	49°59'58"	78°52'00"	298.0	29.06.77.
30.	468	1079	50°03'20"	78°54'51"	311.0	05.09.77.
31.	474	1214	50°03'08"	78°58'49"	307.0	29.10.77.
32.	476	1073	50°03'08"	78°51'52"	311.0	12.11.77.
33.	478	Глубокая	49°58'02"	78°52'28"	325.5	30.11.77.
34.	487	1010	49°54'48"	78°48'07"	339,0	11.06.78.
35.	488	1077	49°54'00"	78°52'00"	332,0	05.07.78.
36,	494	1228	50°00'22"	78°58'02"	314,0	29.08.78.
37.	496	1211	49°55'42"	78°51'42"	334,0	15.09.78.
38.	505	1302	50°02'30"	78°56'50"	311,0	04.11.78.
39.	506	1222	49°5742"	78°47'43"	333,0	29.11.78.
40.	514	1006	50°04'51"	78°5Γ12"1	306,0	01.02.79.
41.	521	1223	49°54'53"	78°50'45" -	337,0	23.06.79.
42.	522	1225	50°01'59"	78°59'2Γ^	307,5	07.07.79.
43.	526	1085	49°54'11"	78°53'16"-	324,0	04.08.79.
44.	528	1226	49°56'53"	78°55'08" -	324,0	18.08.79.
45.	538	1224	49°59'48"	78°59'42"	310,0	28.10.79.
46.	540	1309	49°54'34"	78°47'04"	343,0	02.12.79.
47.	542	Глубокая1	49°55'56"	78°45'10"	335,5	23.12.79.
48.	546	1071	49°58'35"	78°45'34"	330,0	25.04.80.
49.	548	1083	49°59'19,4"	78°59'27,9"	312,9	12.06.80.
50.	552	1227	49°56'55"	78°49'05"	329,0	29.06.80.
51.	554	1220	49°56'12"	78°47'51"	324,0	14.09.80.
52.	558	1087	49°58'03"	79°01'21"	306,0	12.10.80.
53.	564	1086	49°54'32"	78°55'07"	326,5	14.12.80.
54.	566	1303	50°03'43"	78°58'31"	305,3	27.12.80.
55.	568	1234	50°01'05"	78°58'43,7"	311,2	29.03.81.
56.	569	1232	49°53'56"	78°48'31"	341,0	22.04.81.
57.	571	1203	49°59'13"	78°58'14"	315,0	27.05.81.
58.	577	1233	49°54'48"	78°53'40"	331.0	13.09.81.

РАЗМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ БАЛАПАН СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

N⁰	№ испытания	№ скважины	Географические координаты		Дата проведения	
п/п	по каталогу		северная	восточная	абсолютная	испытания
	· ·		широта	долгота	отметка, м	
59.	582	1236	49°55'41"	78°50'41"	336,0	18.10.81.
60.	585	1237	49°54'07"	78°50'56"	336,0	29.11.81.
61.	587	1312	49°55'59"	78°46'42"	338,0	27.12.81.
62.	589	1219	49°55'01"	78053'16"	332,0	25.04.82.
63.	591	1321	49°57'31"	78°48'42"	328,0	04.07.82.
64.	594	1317	49°54'51"	78°45'41"	342,5	31.08.82.
65.	604	1314	49°55'51"	78°48'35"	334,0	05.12.82.
66.	606	1415	50°03'47"	78°59'38"	304,0	26.12.82.
67.	611	1320	49055'30"	78°53'53"	332,0	12.06.83.
68.	625	1325	49°55'28,5"	78°45'02,5"	336,5	06.10.83.
69.	626	1307	49°54'45"	78°49'18"	339,3	26.10.83.
70.	628	1235	50°03'03"	78°59'57"	306,0	20.11.83.
71.	632	1331	49°53'46"	78°44'35"	347,0	19.02.84.
72.	633	1308	50°03'00"	78°57'22"	309,0	07.03.84.
73.	634	1335	49°54'40"	78°55'37"	326,0	29.03.84.
74.	636	1316	49°56'09"	78°51'02"	333,0	25.04.84.
75.	637	1414	49°58'44"	79°00'20"	309,0	26.05.84.
76.	638	1344	49°54'34"	78°52'38"	333,0	14.07.84.
77.	654	1323	49°56'05"	78°55'41"	337,0	27.10.84.
78.	656	1411	50°00'22"	79°00'32"	309,0	02.12.84.
79.	657	1313	49°56'45"	78°48'31"	332,0	16.12.84.
80.	658	1353	49°52'49"	78°42'14"	351,0	28.12.84.
81.	659	1340	49°53'57"	78°4б'50"	342,5	10.02.85.
82.	660	1319	49°55'36"	78°52'51"	333,0	25.04.85.
83.	661	1061-бис	49°55'13'	78°49'10"	338,0	15.06.85.
	661	1341	49°54'31"	78°50'34"	337,0	15.06.85.
84.	663	1354	49°51'52"	78°40'07"	350,0	30.06.85.
85.	667	1322	49°56'59"	78°47'02"	336,0	20.07.85.
86.	670	1315	49°56'07"	78°49'44"	334,5	12.03.87.
87.	671	1318	49°55'05"	78°46'49"	342,0	03.04.87.
88.	673	1384	49°52'40"	78°40'08"	346,0	17.04.87.
89.	678	1326	49°56'07"	78°44'39"	328.0	20.06.87.
90.	683	1348	49°52'50"	78°52'29"	327.7	02.08.87.
91.	688	1332	49°53'55"	78°45'29"	345.2	15.11.87.
92.	689	1355	49°57'47"	78°47'35"	331,0	13.12.87.
93.	691	1388	49°52'46"	78°43'30"	350.3	27.12.87.
94.	693	1361	49°56'12"	78°51'50"	331,5	13.02.88.
95.	694	1336	49°54'28"	78°54'30"	323.0	03.04.88.
96.	696	1359	49°56'58"	78°45'01"	328,0	04.05.88.
97.	698	1421	50°01'08"	78°57'38"	313.0	14.06.88.
98.	701	1350	49°52'40"	78°49'23"	334.3	14.09.88.
99.	703	1412	50°02'35"	78°58'08"	308.5	12.11.88.
100.	706	1346	49°52'55"	78°55'29"	320.4	17.12.88.
101.	708	1328	49°56'22"	78°49'40"	327.4	22.01.89.
102.	709	1366	49°55'07"	78°42'40"	344.0	12.02.89.
103.	711	1352	49°52'04"	78°46'49"	353.0	08.07.89.
104.	712	1410	50°00'21"	78°59'08"	312.2	02.09.89.
105.	714	1365	49°55'20"	78°54'30"	328.0	19.10.89.

Литература

- 1) Бочаров В.С., Зеленцов С.А., Михайлов В.Н. Характеристики 96 подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне. -Атомная энергия, т. 67, вып. 3, 1989, с. 210-214.
- 2) Бочаров В.С., Георгиевский М.Н., Кириченко В.В., Пешков А.Б. Метод оценки мощности подземных ядерных взрывов с учетом их реальной сейсмической эффективности. Атомная энергия, т. 65, вып. 2, 1988, с. 109-114.
- Горин В.В., Красилов Г.А., Куркин А.И., Мальцев А.Л., Матущенко А.М., Орлов С.Л., Пичугин А.В., Смагулов С.Г., Струков В.Г., Филипповский В.И., Харитонов К.В., Чернышев А.К., Шумаев М.В. Семипалатинский полигон: хронология подземных ядерных взрывов и их первичные радиационные эффекты (1961 – 1989 гг.). –

Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии №9, Спецвыпуск, Москва, ЦНИИатоминформ, 1993, с. 21-32.

4) Ядерные испытания СССР (под ред. В.Н.Михайлова), Москва, ИздАТ, 1997, 304 с.

ССП Балапан алаңында ядролық сынауларының жер астындағы объектілерінің орналасуы

Коновалов В.Е., Грязнов О.В.

Геофизикалық зерттеулер институты

ССП Балапан алаңында практикалық және ғылыми ықылас болып көрінетін көп планды зерттеулер өткізіледі. Солардан табылған информацияларын өңдеуіне едәуір бөгеттігі,осында орналастырылған объектілерінің сенімді кендік байлануы жоқ болуына шығады.Осы кемістікті жарым-жарты жетілдіру мақсатымен авторлар КР ҰЯО гефизикалық зерттеу институтында бар болған мәліметтерді ұсынады.

Layout of the Objects of Underground Nuclear Tests at the Balapan Test Field of the Former Semipalatinsk Test Site

V.E. Konovalov, O.V. Gryaznov

Institute of Geophysical Research

Integrated research of practical and scientific interest is conducted at the Balapan test field of the Semipalatinsk test site. The lack of reliable locations for features associated with nuclear testing causes considerable difficulties while carrying out the research. To fill this gap the authors present data available at the Institute of Geophysical Research of the National Nuclear Center of Kazakhstan.

УДК 550.311: 550.834

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА ОКРУЖАЮЩИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТАХ

Беляшова Н.Н., Русинова Л.А., Беляшов А.В., Смирнов А.А.

Институт Геофизических Исследований

«...Единственная цель Инспекции на месте состоит в прояснении того, действительно ли в нарушение статьи I был произведен испытательный взрыв ядерного оружия или любой другой ядерный взрыв, и, насколько это возможно, в сборе любых фактов, которые могли бы помочь в идентификации любого возможного нарушителя...»

> «Договор о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных Испытаний», ст. D. 35

Приведены результаты изучения влияния на окружающие горные породы и морфологию поверхности ядерных взрывов, проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, представляющие интерес как в связи с прогнозом их последствий, так и с задачами проведения Инспекции на местах.

Для оптимизации комплекса методов Инспекции на месте необходимо изучение последствий влияния ядерных взрывов на окружающую среду. Институт геофизических исследований НЯЦ РК в течение последних лет проводит работы по изучению влияния ядерных взрывов на блоки земной коры Семипалатинского испытательного полигона как по материалам. полученным во время проведения ядерных испытаний, так и по данным современных исследований. Практически все ядерные испытания на Семипалатинском испытательполигоне проводились при геологоном геофизическом сопровождении. Как правило, геологические, сейсмические, магнитные и электроразведочные исследования проводились до и после проведения ядерных взрывов, по одной и той же системе профилей. В настоящей статье представлены некоторые примеры воздействия подземных ядерных взрывов на земную поверхность и на сейсмические параметры земной коры.

Примеры воздействия подземных ядерных взрывов на земную поверхность.

На рис. 1 приведена геоморфологическая карта, отражающая влияние подземных ядерных взрывов на морфологию земной поверхности. Из ее анализа следует, что на территории достаточно четко прослеживаются зоны провалов и вспучивания, разрывные нарушения разного рода. Особенность приведенного примера заключается в том, что испытания здесь проводились на значительной глубине (400 - 600 м). Для задач Инспекции на месте это означает, что подобные явления могут являться одними из признаков проведения подземного ядерного взрыва, поддающихся визуальному наблюдению, видео- и фотосъемке.

Примеры воздействия на сейсмические параметры земной коры.

На рис. 2, 3 и 4 представлены скоростные разрезы верхней части земной коры (до глубины 80 м), в которых отражено воздействие подземных ядерных взрывов на горные породы. При проведении испытаний в скважинах 1220 (рис. 2) и 1315 (рис. 3) блок земной коры исследовался до и после взрыва. Это обеспечивает возможность оценить изменение скорости распространения продольных волн, произошедших после взрыва. Изучение скоростных параметров разреза земной коры в районе скважины 1061 (рис.4) проводилось только после проведения подземных ядерных испытаний.

На рис. 2 и 3 отчетливо выражено изменение скоростных разрезов, происшедшее после проведения ядерного испытания. Так, после взрыва в районе скважины 1220 (рис.2) отмечается образование низкоскоростной зоны (дробления) в верхней части разреза непосредственно над местом взрыва и «выдавливание» к периферии более высокоскоростных (плотных) зон. Приведенная картина является весьма типичной для большинства исследованных участков. Однако на рис 3 приведена обратная картина: на скоростном разрезе в районе скважины 1315, полученном после взрыва, высокоскоростные (плотные) породы отмечаются непосредственно над местом проведения испытаний, тогда как к югу от скважины образовалась зона пониженных скоростей продольных волн (зона дезинтеграции).



Рис. 1. Геоморфологическая карта техногенных изменений на СИП.



Рис. 2. Оценка влияния подземного ядерного взрыва в скважине №1220 на окружающие горные породы (глубина взрыва 427 м, мощность 20-150 кт, дата 14.09.80 г.)

В данном примере явление имеет геологическое объяснение: 1) в районе проведения взрыва проходит большой геологический разлом, который не позволил разрушительному влиянию ядерного взрыва распространиться в северном направлении; 2) в южном направлении от скважины 1315 ранее было проведено достаточно большое количество ядерных испытаний, вызвавших значительные нарушения геологического разреза, вследствие чего большая часть энергии взрыва была направлена в сторону этой "ослабленной" зоны. Общей характерной особенностью обоих приведенных примеров является цикличность чередования зон уплотнения и разуплотнения (увеличения и уменьшения скоростей сейсмических волн) в районе взрыва.



Рис. 3. Оценка влияния подземного ядерного взрыва в скважине №1315 на окружающие горные породы (глубина взрыва 600 м, мощность 0,001-20 кт, дата 12.03.87 г.)



Рис. 4. Оценка влияния подземного ядерного взрыва в скважине № 1061 на окружающие горные породы (скв. (глубина взрыва 625 м, мощность 20-150 кт, дата 05.12.82 г.)

Анализ скоростного разреза в районе скважины 1061 (рис. 4), полученного после проведения ядерного испытания, показывает, что непосредственно над местом взрыва проявляется зона разуплотнения, а вокруг очага взрыва - чередование зон уплотнения и разуплотнения. Характер полученной картины скоростного разреза позволяет определить техногенную природу изменений скоростей и достаточно однозначно локализовать место проведения ядерного испытания.

На рис.5, 6 сопоставлены скоростные разрезы земной коры с картами изменения граничной скорости поверхности кристаллического фундамента (~ 70 м) и глубины залегания преломляющей границы в районе проведения ядерных испытаний. Здесь, также как в вышеописанных примерах, видно очень характерное для техногенной причины циклическое чередование зон. На карте изменения глубины залегания преломляющей границы (рис.6) место проведения подземного ядерного взрыва хорошо выделяется локальным увеличением глубины залегания преломляющей границы. В формировании зоны техногенных изменений важную роль играют тектонические нарушения, находящиеся на данном участке.

В целом, как показали полученные многолетние данные, масштаб зоны техногенных нарушений зависит от многих факторов: мощности взрыва, геологического строения участка работ, от наличия вблизи места взрыва зон нарушения, образовавшихся в результате ранее проведенных подземных ядерных взрывов, или природного происхождения. границы.


Рис. 5. Карта зон аномальных значений граничных скорстей. Балапан, 1984 г.

Очень наглядное изменение граничных скоростей, связанное с воздействием на свойства среды ядерных испытаний, проявляется и в характере разностного годографа (Рис. 7). Зоны техногенных разрушений массива горных пород характеризуются резким изменением значений скорости прохождения продольной волны (от 2,6 км/с до 8,0 км/с), а также небольшой протяженностью этих участков (до 600 м).

Приведенные примеры свидетельствуют об имеющем место воздействии ядерных испытаний на окружающие горные породы и четком его проявлении в характере и численном изменении геофизических параметров геологической среды.

На рис. 8 приведен результат натурного опыта. Представлены фрагменты скоростных разрезов, полученных до и после проведения химического взрыва в штольне 160 горного массива Дегелен.. Этот взрыв был произведен 25 сентября 1999 г и использован как калибровочный для сети сейсмических станций Международной системы мониторинга. Впоследствии (начало октября 1999 г) место проведения химического взрыва было использовано для проведения эксперимента по отработке методов Инспекции на месте.

Институтом Геофизических Исследований была проведена сейсмическая томография методом преломленных волн из штольни 160 до и после взрыва. Несмотря на относительно небольшую мощность химического взрыва, на скоростном разрезе, полученном после взрыва, просматривается наметившееся циклическое чередование уплотненных и разуплотненных зон вокруг очага взрыва.

Представленные результаты с очевидностью свидетельствуют, что подземные ядерные и химические взрывы влияют на скоростные параметры окружающих горных пород и на дневную поверхность. На всех рисунках четко прослеживается зональность распределения разрушенных и неразрушенных областей.



Рис. 6. Карта изменения глубины залегания III преломляющей границы. Балапан, 1984 г.



Рис. 7. Разностный годограф (1) и линия "t" (2)

Раздробленные низкоскоростные зоны чередуются с более плотными высокоскоростными. Эта особенность обуславливается природой Р-волны: образуются области сжатия и области разряжения. Выявленные и проиллюстрированные признаки могут являться одним из важных критериев при обнаружении факта и места проведения несанкционированного подземного взрыва.

Основная цель представленных данных – показать, что изучение влияния ядерных и химических взрывов на сейсмические параметры земной коры способствует формированию эффективных методов изучения последствий влияния ядерных испытаний на окружающие горные породы даже спустя длительное время после их проведения. Используя эти методы в комплексе с другими, можно добиться очень убедительных результатов при проведении Инспекции на месте.



Рис. 8. Скоростной разрез стенок штольни № 160 до и после взрыва

Тексеріс міндеттеріне сәйкес ядролық жарылыстардың төніректегі тау жыныстарына және де жер бетінің морфологиясына ықпалдылығын зерттеуі

Беляшова Н.Н., Русинова Л.А., Беляшов А.В., Смирнов А.А.

Геофизикалық -зерттеулер институты

Тексеріс міндеттеріне сәйкес ядролық жарылыстардың төніректегі тау жыныстарына және де жер бетінің морфологиясына ықпал етуінің нәтижелері бейнеленді.

Study of the Effect of Nuclear Tests on the Surrounding Rock and Surface Morphology for the Purposes of the On-Site Inspection

N.N. Belyashova, L.A. Rusinova, A.V. Belyashov, A.A.Smirnov

Institute of Geophysical Research of the National Nuclear Center of Kazakhstan

The article offers the results of the research on the effect of nuclear explosions on the surrounding rock and surface morphology. The material is relevant to the tasks of the On-Site Inspection.

Вестник НЯЦ РК

УДК [550.8: 681.3]: 621.39.9 (24)

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Беляшова Н.Н., Смирнов А.А., Крылов Г.Г., Абишев К.М., Синева З.В.

Институт геофизических исследований

Подземные ядерные взрывы приводят к нарушению ранее существующей гидросистемы. Это может способствовать перемещению радионуклидов на значительные расстояния от мест проведения ядерных испытаний, что влечет за собой отрицательные последствия для жизнедеятельности. В статье описаны способ изучения подобных нарушений в верхней части разреза методом рефрагированных волн (МРВ) и созданная в Институте геофизических исследований НЯЦ РК система автоматизированной обработки данных этого метода.

Актуальность исследования земной коры в местах проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) обусловлена тем, что при этом создаются полости и зоны дезинтеграции пород (зоны повышенной трещиноватости) в окрестности эпицентра взрыва, которые в ряде случаев нарушают существовавшую ранее гидрогеологическую систему. Следствием такого нарушения может быть перемещение радионуклидов в водной среде на значительные расстояния от места взрыва, проникновение радионуклидов в грунтовые и поверхностные воды, что опасно сказывается на жизнедеятельности, прежде всего, человека.

Сейсмические методы позволяют получить наиболее представительную и полную информацию о состоянии земной коры в большом интервале глубин. Этим обусловлено то, что для исследования геометрии, скоростных и упругих свойств в местах проведения испытания ИГИ НЯЦ РК использует два взаимно дополняющих сейсмических метода. Для исследований на глубинах, соответствующих положению гипоцентра, применяется метод пространственного зондирования (с использованием аппаратурного комплекса "Карс"), а для изучения верхней части разреза - метод рефрагированных волн (МРВ). Такой подход обусловлен тем, что большое количество (до 432) одновременно регистрирующих сейсмических каналов и непрерывная автономная регистрация комплексом "Карс" позволяют с относительно небольшими затратами получить пространственную картину состояния земной коры в районе гипоцентра. С другой стороны, более высокие целевые частоты аппаратуры, используемой в МРВ, позволяют получить данные о мощности и скоростных свойствах верхней части разреза (ВЧР), необходимые для введения поправок за нее, а также исследовать тектонические нарушения в приповерхностной части разреза. Обработка полученных данных с учетом рефракции, помимо вышеперечисленного, позволяет оценивать зависимость региональной компоненты поля скоростей от глубины, находить модули упругости при совместной регистрации продольных Р и поперечных S волн, строить разрезы в изолиниях скорости, картировать в плане тектонические нарушения [1].

Работы по изучению верхней части разреза на Семипалатинском испытательном полигоне проводились ранее ПГО "Гидроспецгеология". При этом для изучения ВЧР использовался метод преломленных волн, позволяющий получить глубину залегания и геометрию преломляющих границ, определять наличие разломов и их пространственное расположение, устанавливать граничные скорости распространения волн вдоль преломляющих границ. Однако, как показали их результаты, практически повсеместно на площадке "Балапан" на интересующей глубине выделяется не более двух хорошо выраженных преломляющих границ, что не обеспечивает требуемую детальность.

В 1995-1997 г.г. на площадке "Балапан" вблизи отработанных боевых скважин №№ 1411 и 1315 для изучения ВЧР были пройдены сейсморазведочные профиля. Использовалась 24 -х канальная цифровая сейсмостанция ИСН - 01 - 24. Достаточно большой объем полученной информации (порядка 25 погонных километров при шаге между пунктами приема 10 м, между пунктами возбуждения - 50 м) и необходимость получения результатов работ в сжатые сроки потребовали повысить производительность обработки и интерпретации полученных данных. Анализ возможностей наиболее применяемых систем (пакетов программ) для решения задачи строения верхней части разреза - СЦС-3, VISTAR и др., показал, что имеются причины, по которым существующие системы не в полной мере отвечают возникшим требованиям:

 системы ориентированы преимущественно на обработку данных, полученных с применением отраженных волн. Их блоки, связанные с редактированием сейсмограмм, требуют адаптации для работы с данными МРВ (нет сортировки по координате пункта приема и др.). В них отсутствуют некоторые необходимые процедуры - не реализована режекторная фильтрация, пространственная нормировка амплитуд;

- графическое представление сейсмограмм не позволяет снимать отсчеты времени вступлений с достаточной точностью и производительностью;
- не обеспечивается работа с годографами их визуализация и увязка;
- не обеспечивается построение и визуализация разрезов в изолиниях скорости.

При этом системы обладают большой избыточностью по отношению к задачам данных исследований и имеют достаточно значительную стоимость.

В связи с этим была создана система автоматизированной обработки данных, специально предназначенная для задач изучения верхней части разреза методом рефрагированных волн - САОМРВ.

 В САОМРВ включает следующие блоки:
 сопряжения «персональный компьютер – сейсмостанция» - БС;

- сборки и редактирования сводных сейсмограмм БСР;
- построения и увязки годографов БПУГ;
- расчета скоростных разрезов БРР.

Входной информацией для САОМРВ служат полевые сейсмограммы. Выходной - скоростной разрез.

Функционально блоки обеспечивают выполнение следующих действий:

- БС копирование данных с полевых магнитных лент на диск компьютера (программа READMAG);
- БСР перевод полевых сейсмограмм в формат SEG Y - (программа ESS); сборка сводных сейсмограмм (программа UNIFIC); удаление постоянной составляющей сейсмических каналов и удаление импульсных помех (программа DEBIAS), рис. 1; полосовая, режекторная, низко- и высокочастотная фильтрация сейсмограмм (программа FILTER), рис. 2 [2]; поканальная нормировка амплитуд (программа AGC), рис. 3;

P	icker 1.1(Beta)						_ 🗆 🗙
<u>F</u> ile	<u>G</u> odograph View	w <u>W</u> indow					
	:\artipict\1500	.sgy		d:\art:	ipict\deb		_ 🗆 🗙
	<u> 3</u> 00 500	7009	00	<u>300</u>)500	700	900
1	1500 MARAMANA	ARAP M WIN MANNIN MAN	/~ ^	1 1500	₦₦₦₩₩₩₩₩₩₩	t, Armall My Maran	man
2	1510	~~~~	+	2 1510	- the for the form	hat	
3	1520	~~~~~~	+ 1	3 1520	- Alimpian	****	
4	1530			4 1530			
5	1540		╞╤╴║	5 1540 M	MW	+++	
6	1550			6 1550 7 1560			
6			i II	/ 1560// 9 1570			
q	1580 ····································		- 1	9 1580	millan		
10	1590	~~~	+-	10 1590	\sim	┥~~┤──┤	
11	1600	~~┮ <u>─</u> ┼╄──┼──	+- ∥	11 1600	•~~p~~p~~~	<u>≁</u>	
12	1610			12 1610			
13	1620		+-	13 1620	~~	+ + - +	
14	1630			14 1630			
15	1640						
10	1650		<u> </u>	15 1650			
18	1670						
19	1680		÷-	19 1680			
20	1690	╶┸╶┊╴──┊┧┎╴┊		20 1690			
21	1700		+-	21 1700			
22	1710			22 1710			
23	1720		₩ T T	23 1720			
				<u>`</u>			

Рис. 1. Пример работы программы DEBIAS. Левое окно - исходная сейсмограмма с высоко амплитудными импульсными помехами (пункты приема 1530 и 1690), справа - выходная сейсмограмма

- БПУГ визуализация сейсмограмм с возможностью быстрого изменения временного и амплитудного масштабов, расстояния между трассами, снятия времен вступлений, с обеспечением автоматической записи в виде текстового файла (программа PICKER), рис. 4; графическое построение годографов и их редактирование (Microsoft Excel);
- БРР расчет и визуализация временных полей с внесением поправок за рельеф и зону малых скоростей (программа TFIELD); расчет и визуализация скоростного разреза (программа INVERS) [3, 4].

Каждый блок может запускаться отдельно с вводом имен файлов (сейсмограмм в формате SEG

Y) с клавиатуры, что облегчает отслеживание результатов каждой отдельной процедуры обработки. Если параметры для всех процедур выбраны и установлена последовательность их проведения, то она может быть задана для списка сейсмограмм. Это обеспечивается управляющими двумя программами STEP1 и STEP2.

В состав САОМРВ, кроме программ, написанных авторами, включены блоки и программы других авторов. Так, при написании программы FILTER использованы материалы, любезно предоставленные Lawrence Livermore National Laboratory и Regents of the Univercity of California. Программа РІСКЕЯ, по просьбе авторов, написана Б. Ю. Берхиным («СибГеоИнформ» г. Новосибирск). Программа READMAG написана П.П. Заборцевым.

С использованием САОМРВ выполнена обработка значительного объема полевых данных. Эта специализированная система, обеспечивающая полный комплекс получения скоростных разрезов МРВ на персональных компьютерах, позволяет отказаться от применявшейся до сих пор традиционной "ручной" обработки подобных материалов.

Все работы по созданию САОМРВ производились при финансовой поддержке МНТЦ (Проект К - 056).



Рис. 2. Пример работы программы FILTER. Слева - исходная сейсмограмма, "зашумленная" гармонической помехой промышленного происхождения, справа - результат НЧ фильтрации с граничной частотой 38 Гц.



Рис. 3. Пример работы программы AGC. Слева - исходная сейсмограмма, справа - сейсмограмма с выровненными амплитудами на каналах.



Puc. 4. Пример работы программы PICKER в режиме снятия времен вступлений. Открыты два окна, где визуализирована в разных масштабах времени и усиления одна и та же сейсмограмма. Для пикетов 1570 - 1630 мышью на экране монитора сняты времена вступлений. При выборе опций "Godograf" - "Save" времена вступлений и координаты пунктов приема будут сохранены в виде текстового файла.

Литература

- 1) Сейсморазведка под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова М "Недра" 1981.
- 2) Джон Ф. Клаербоут Теоретические основы обработки геофизической информации с приложением к разведке нефти. М «Недра» 1981.
- 3) Детальные сейсмические исследования литосферы на Р и S волнах. ВО «Наука» Новосибирск 1993.
- 4) Мишенькина З.Р., Шелудько И.Ф., Крылов С.В. Использование линеаризованной постановки обратной кинематической задачи для двумерных полей времен t(x,l) рефрагированных волн // Численные методы в сейсмических исследованиях. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ие, 1983. С.31-39

Ядролық жарылыстар өткізілген жерлерде геология қабаттарының жоғарғы бөлігін зерттеуіне мәліметтердің автоматикалық өңдеу системасы

Беляшова Н.Н., Смирнов А.А., Крылов Г.Г., Абишев К.М., Синева З.И.

Геофизикалық зерттеулер институты

Жер астындағы ядролық жарылыстар бұрыннан болған су жиілігін бұзады.Бұл радионуклидтерді ядролық жарылыстар болған жерден едәуір аралыққа орнығуына мүмкіндік береді. Осы мақалада мәселені зерттеулерінің мәліметтерін автоматикалық өңдеуінің жиілігі бейнеленген.

Computerized System of Data Processing to Study the Upper Part of Section at the Testing Areas

N.N Belyashova, A.A Smirnov, G.G. Krylov, K.M. Abishev, Z.V. Sineva

Underground nuclear tests cause the disturbance of natural hydro-system. This permits radionuclides to migrate to considerable distances from the testing areas. This, in its turn, causes negative consequences for life activity. The article describes the study of the upper part of section by refraction exploration and created in the Institute of Geophysical Research computerized system of data processing.

Вестник НЯЦ РК

УДК 553.981/982(574.1)

ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ МИРНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Беляшов Д.Н., Мелентьев М.И., Мохов В.А.

Институт геофизических исследований

В бывшем СССР по программе использования ядерных взрывов в мирных целях на территории Казахстана проведено порядка тридцати взрывов. Характер и масштабы их воздействия на участки недр, современные геоэкологические последствия представляют значительный практический интерес. В статье дается проектная оценка возможностей комплексного геолого-геофизического изучения геологической среды для оценки происшедших изменений.

Общее число подземных ядерных взрывов, произведенных в Казахстане в мирных целях, - 32. Проведены они были для решения следующих задач:

- глубинное сейсмическое зондирование земной коры в целях выявления структур, перспективных для поисков полезных ископаемых. Выполнено 6 подземных ядерных взрывов на глубинах от 400 до 1000 м;
- для водохранилищ и задач инженерной сейсмологии. Выполнено 3 взрыва на глубинах от 410 до 740 м;
- экспериментальные работы по созданию подземных емкостей в массиве каменной соли на Карачаганакском газоконденсатном месторождении - объект "Лира". Выполнено 6 подземных ядерных взрывов. Глубина заложения ядерных устройств изменялась от 816 до 955 м;
- опытно-промышленная отработка технологии создания емкостей в массиве каменной соли объект "Галит" на соляно-купольном поднятии Большой Азгир.
 В 11 скважинах глубиной от 161 до 1500 м. выполнено 17 подземных ядерных взрывов;

В связи с выполненными взрывами представляет интерес оценка воздействия подземных ядерных взрывов на геологическую среду. Этому вопросу посвящено ряд работ [1÷5]. Из них следует, что, кроме медико-биологического влияния, имеет место наиболее актуальный для настоящего времени факт загрязнения радионуклидами природных подземных вод как источников питьевого водообеспечения населения. При наличии связи загрязненных подземных вод с поверхностными, могут загрязняться и последние.

Комплексный подход к проблеме геологогеофизического обследования и мониторинга блоков земной коры, подвергшихся воздействию подземных ядерных взрывов сводится к решению более широкого круга задач, обусловленных как необходимостью знания особенностей проявления в пространстве ударно-термального воздействия ядерного взрыва на вмещающую среду (параметры полости и строения гранично-краевых и ореольных радиоактивных зон), так и особенностей возможных объемных взаимосвязей указанных зон с флюидодинамическими зонами земной коры (водоносные горизонты, секущие обводненные зоны повышенной трещинной тектоники и др.). В развернутом виде указанные взаимосвязи можно представить следующим образом:

- геолого-физическое состояние среды вмещающей объекты исследований, обводнение и миграция подземных вод, связанных с зонами дезинтеграции ПЯВ и естественными тектоническими структурами; коллапс полостей; накопление хлора в полостях и около них в результате радиохимических преобразований соли и рассолов;
- пути миграции радионуклидных загрязнений в заколонном пространстве боевых (испытательных) скважин - по техногенным и естественным зонам повышенной трещинной тектоники; по водоносным горизонтам осадочного чехла, сопряженным с заколонным пространством боевых скважин;
- негативные последствия ПЯВ проникновение радионуклидов в водоносные горизонты и тектонические структуры; вынос радионуклидов на дневную поверхность.

Проблемы геолого-геофизического обследования и мониторинга блоков земной коры, в пределах которых были произведены ПЯВ, могут быть сведены к дальнейшему изучению состояния геологической среды и выявлению путей миграции загрязненных растворов [7].

Изучение (решение) этих последствий (задач) может быть обеспечено путем:

- Оценки геометрии полостей и физического состояния заколонного пространства боевых скважин.
- Выявления флюидоперетоков в заколонном пространстве и оценки его загрязненности радионуклидами.
- Оценки степени физико-механической нарушенности блоков пород, вмещающих полости ПЯВ и

изучения особенностей их пространственного положения.

- Выявления естественных путей миграции загрязненных на основе изучения особенностей структурно-тектонического строения геологической среды, окружающей полости ПЯВ.
- Изучения гидродинамики сквозных загрязненных радионуклидами водоносных зон трещинной тектоники и очагов их разгрузки в водоносные горизонты надкупольного структурного этажа.
- Мониторинга естественных и техногенных тектонических процессов.
- 7. Исследования радиохимических процессов в соли и рассолах.

Рассмотрение предпосылок решения перечисленных задач геофизическими методами показывает, что каждая из них имеет свои особенности и соответствующие им методы изучения.

Так, первая из вышеперечисленных задач, может быть решена комплексом геофизических методов, включающих метод акустической геолокации (МАГ), спектрометрический нейтронный гамма-каротаж (НГК-С), вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП). Метод акустической геолокации позволяет оценивать конфигурацию подземных объектов с азимутальной привязкой по 32 направлениям в горизонтальных плоскостях и по 16 вертикальным полостям; измерять поинтервальные и полные объемы с погрешностью 3-7% в зависимости от сложности геометрии подземного объекта; исследовать детальный рельеф стенок камер и скважин. НГК-С позволяет изучать состояние водонасыщенности горных пород. ВСП позволяет оценивать нарушенность объема пород, вмещающих полости и боевые скважины; выявлять субвертикальные зоны трещинной тектоники, сопряженные с полостями; определять геометрические и физические характеристики объектов (сейсмические границы, обусловленные особенности геологического разреза и зоны разуплотнения тяготеющие к заколонному пространству).

По своей значимости данная задача является первоочередной в силу того, что получаемая информация может влиять или даже определять направление дальнейших исследований.

Решение второй задачи обеспечивается выполнением спектрометрического гамма-каротажа (ГК-С). Определение с использованием метода ГК-С содержаний (удельной активности) природных – U(Ra), Th, K и техногенных - 137 Cs, 60 Co, 152 Eu и 154 Eu,- радионуклидов дает возможность составить представления о наличии и о миграции искусственных радионуклидов в заколонном пространстве. Показателем миграции растворов является изменчивость гамма-поля по интенсивности и во времени.

Результаты выполнения третьей задачи должны обеспечить разработку модели физикомеханической нарушенности блоков пород, вмещающих полости ПЯВ и выявить особенности их строения, которые могут явиться причиной и путями распространения радиоактивных загрязнений. Решение ее млжет быть обеспечено путем использования материалов вертикального сейсмического профилирования (ВСП) и наземных наблюдений методом сейсмической локации бокового обзора (СЛБО). В методе СЛБО информативной является диффузная составляющая волнового поля [6], т.е. энергия рассеивания на диффрагирующих объектах изучаемой среды. Такими объектами, в первую очередь, являются зоны трещиноватости, разуплотнения, проявляющиеся зонами максимальной энергии рассеянных волн. Конечным результатом работ методами ВСП и СЛБО явятся вертикальные и послойные разрезы заколонного пространства, отражающие положение зон физико-механической нарушенности пород.

Четвертая задача, предусматривающая изучение структурно-тектонических особенностей геологического разреза околоскважинного пространства и выявление соотношение последнего с зонами физико-механической нарушенности пород, вызванных ПЯВ, позволит определить возможные пути миграции загрязненных флюидов к дневной поверхности. Решение этой задачи может быть осуществлено выполнением сейсморазведочных работ методом общей глубинной точки (МОГТ), ВСП и электроразведки методом зондирований становлением электромагнитного поля в ближней зоне (ЗСБ). Работы МОГТ в этом комплексе могут детальное изучение обеспечить структурновещественных особенностей надсолевых песчаноглинистых горизонтов, кепрока, а также прослеживание в чехле выявленных в околоскважинном пространстве субвертикальных зон трещинной тектоники. Последние выделяются по смещению отражающих границ по вертикали и участкам отсутствия отражений. Материалы ВСП в этом случае используются при интерпретации данных МОГТ. Метод ЗСБ обеспечивает:

- картирование кровли соленосного купола и особенностей внутреннего строения чехла;
- картирование зон трещинной тектоники, проявленной как в надсолевых, так и в соленосных отложениях.

Конечным результатом выполненных работ, рассмотренным комплексом методов должна быть объемная структурно-тектоническая модель объекта, отражающая возможные пути движения флюидов, носителей радионуклидов по водоносным горизонтам и зонам повышенной трещинной тектоники.

Пятая задача, направленная на выявление активных гидродинамических зон трещинной тектоники и на оценку их загрязненности радионуклидами, в конечном итоге дает возможность разработать систему поверхностного мониторинга по контролю загрязнения радионуклидами приповерхностных горизонтов грунтовых вод, сопряженных с этими зонами. Эта задача может решаться на осно-

ве использования комплекса методов, включающего литохимическую и спектрометрическую съемки, метод естественного электрического поля (ЕП). корреляционный метод преломленных волн (КМПВ), приповерхностную термометрию. Литохимическая и спектрометрическая съемки обеспечивают выявление в приповерхностных условиях линейных аномальных зон искусственных и естественных радионуклидов, ртути и иона хлорида, которые обусловлены миграцией загрязненных флюидов с глубины по зонам трещинной тектоники. Метод ЕП позволяет выявлять субвертикальные зоны трещинной тектоники, характеризующихся активной восходящей гидродинамикой и тем самым подтверждать природу аномальных зон по радионуклидам, ртути и ионам хлоридов. КМПВ в результате картирования уровня грунтовых вод (УГВ) и выявления гидрокуполов, обусловленных активной восходящей гидродинамикой по зонам трещинной тектоники, позволяет их трактовать как транспортерами загрязненных растворов от полостей ПЯВ. Приповерхностная термометрия в этом комплексе используется для того, чтобы подтвердить, что гидрокупола имеют глубинную природу. Показателем этого являются локальные аномалии повышенных значений температур.

Таким образом, совокупное решение пяти задач, рассмотренных выше обеспечивает получение информации:

- о геометрии полостей ПЯВ;
- о загрязненности радионуклидами заколонного пространства боевых скважин;
- о наличии и пространственном положении зон и горизонтов повышенной трещинной тектоники и проницаемости, как коллекторов подземных флюидов;
- о флюидодинамики этих зон и горизонтов и в конечном итоге дает информацию необходимую и достаточную для заложения скважин по выявлению возможных очагов загрязнения в надсолевом структурном этаже и разработке системы мониторинга по контролю распространения радионуклидов в окружающей ПЯВ геологической среде.

Седьмая задача – исследования радиохимических процессов в горных породах и подземных водах проводятся путем экспериментов с реальными образцами горных пород и воды, облучаемых различными источниками ионизирующих излучений.

Исследования сорбционных свойств горных пород и минералов по восьмой задаче позволит оценить способность горных пород к ограничению миграции радионуклидов в потоках подземных вод и дать заключение по буферирующим свойствам массивов горных пород.

Литература

- 1) Радионов В.Н., Адушкин В.В. Механический эффект подземного взрыва. М., Недра, 1971.
- 2) Применение подземных ядерных взрывов в нефтедобывающей промышленности. М., Недра, 1981, 198 с.
- 3) Голубов Б.Н. Последствия техногенной дестабилизации недр Астраханского газоконденсатного месторождения в зоне подземных взрывов. // Геоэкология, №4, 1994 с.25-42.
- Геворкян С.Г., Голубов Б.Н. О деформации полостей подземных ядерных взрывов в районе Астраханского газоконденсатного месторождения (АГКМ). // Геоэкология, №2, 1998, с.17-37.
- 5) Адамский В.Б. Еще раз о применимости ядерно-взрывных технологий. // Природа, 1993, №4.
- 6) Епинатьева А.М. Физические основы сейсмических методов разведки. // Изд. МГУ, 1970.
- Отчет по контракту 26-98. Составление программы геолого-геофизического обследования и мониторинга объектов "Лира". Фонды ИГИ НЯЦ, Алматы, 1998.

Бейбітшіл жерастындағы ядролық жарылыстарының әсеріне тап болған объектілерінің геолого-геофизикалық тексерулері мен мониторингісінің мүмкіншілігі

Беляшов Д.Н., Мелентьев М.И., Мохов В.А.

Геофизикалық зерттеу институты

Бұрынғы СССР одағында ядролық жарылыстарды бейбітшіл мақсатымен пайдалану программасы бойынша Қазақстан территориясында шамасы отыз жарылыс өткізілген.Солардың жер қойнауы тарауына тиген әсерінің өзгешілігі мен масштабы,замандас геоэкологиялық зардабы едәуір практикалық ықылас болып көрінеді.Мақалада пайда болған өзгерістерді бағалау үшін геология ортасын комплексті геологогеофизикалық зерттеінің мүмкіншілігінің жоба бағасы берілген.

Opportunities of Geological and Geophysical Study and Monitoring the Environment, Affected by Peaceful Nuclear Explosions

D.N. Belyashov, M.I. Melentyev, V.A. Mokhov

Institute of Geophysical Research

Abut thirty explosions were detonated in the former USSR under the program of using nuclear explosions for peaceful purposes. The character and dimensions of their impact on the parts of the subsoil, and contemporary geoecological consequences are of great practical interest. The paper gives us an estimate of capabilities of geologic and geophysical study of geologic environment for estimation of the changes.

выпуск 2, июнь 2000

УДК 553.981/982(574.1): [504.054:539.16.04]

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТА "ЛИРА" И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ

Беляшов Д.Н., Мохов В.А., Мелентьев М.И., Кислый Б.И.

Институт геофизических исследований

На северном фланге месторождении Карачаганак выполнены мирные ядерные взрывы для создания полостей-хранилищ газоконденсата. Несмотря на изученность соляного купола средствами бурения, ряд принципиальных вопросов, относящихся к внутренней структуре надкупольного пространства, соляной тектонике и важных для прогнозирования радионуклидного загрязения территории, отражен недостаточно. Путем сбора, анализа геологической информации, реконструкции структур прогнозируется четыре стратиграфических уровня возможной миграции радионуклидов. Полученные данные рекомендуется использовать при экспериментальных исследованиях объекта «Лира».

Объект "Лира" расположен на северном фланге Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения в пределах Карачаганакского соляного купола и представляет собой искусственно созданные хранилища, предназначавшиеся для регулирования подачи газа на Оренбургский перерабатывающий комплекс. Для их создания была использована специальная технология. базирующаяся на ядерных взрывах. Всего было создано шесть емкостей-хранилищ, расположенных по линии профиля, находящемся на удалении 10-15 км от русла реки Урал. Существование емкостей, расположенных на глубинах 850-900 м от поверхности, создает потенциальную угрозу загрязнения радионуклидами геологического разреза в ареале до 150-200 кв.км с преимущественным растеканием загрязнения в северном направлении, в сторону реки Урал.

Геологическое строение площади месторождения Карачаганак изучено до глубины 6 км сейсморазведкой, электроразведкой, глубоким бурением с использованием гравимагнитных данных. Верхняя часть геологического разреза (ВЧР) охарактеризована по данным бурения и отражена на серии структурных карт, геологических и гидрогеологических разрезов [17-19]. Однако ряд принципиальных вопросов, касающихся изученности внутренней структуры надкупольного пространства, соляной тектоники, детального расчленения геологического разреза (особенно, водоносных горизонтов, гидравлической связи между ними), в имеющейся информации по объекту "Лира" отражен недостаточно. Это осложняет разработку обоснованного прогноза развития гидродинамических процессов и связанных с ними процессов миграции радионуклидов из полостей. Недостпток информации в значительной степени связан с тем, что в процессе ведения поисковых работ, ориентированных на выявление глубокозалегающих залежей углеводородов, приповерхностной части разреза, наиболее опасной в отношении техногенных последствий от произведенных подземных ядерных взрывов, уделялось значительно меньше внимания, чем более глубоким частям разреза. Ниже дается общая оценка геологической ситуации в верхней части разреза для определения задач, по-крайней мере, первого этапа геофизических исследований на объекте.

Карачаганакский соляной купол, вмещающий объект "Лира", имеет форму неправильного овала, вытянутого в субширотном направлении на расстояние 30 км при ширине 5-8 км. В поперечном сечении (рис. 1.) соляной купол имеет форму штокообразного выступа высотой до 4 км, осложненного с юго-западной стороны карнизом толщиной 900 и шириной 1000 м. Кровля соляного купола в районе профиля боевых (исследовательских) скважин фиксируется на глубинах 180-330 м и представляет собой неровную поверхность, характеризующуюся наличием выступов кепрока относительно поверхности соли. По характеру разреза и изогипс можно судить, что выступы кепрока имеют тектонические ограничения северо-западного и субмеридионального простирания, по которым происходили подвижки сбросового характера с образованием грабенообразных структур проседания.

Внутренняя структура соляного купола изучена в недостаточной степени, однако по характеру ассиметрии купола, имеющего крутое падение обоих бортов в северном направлении, можно предполагать развитие внутри купола складчатости течения и волочения с общим погружением осевых поверхностей складок в северном направлении и с простиранием, согласным с простиранием оси купола.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТА "ЛИРА" И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ



Рис. 1. Сейсмогеологический разрез по данным метода объемной сейсморазведки (МОС) через Карачаганакское газоконденсатное месторождение и объект «Лира».

I – надсолевой уровень, II – подсолевой уровень; 1 – геологические границы, 2 – основной отражающий горизонт, 3 – тектонические нарушения, 4 – рифогенные отложения, 5 – соляной купол, 6 – газоконденсатная залежь, 7 – промысловые скважины, 8 – скважины объекта "Лира" и полости подземных ядерных взрывов.

По данным бурения в верхней части купола вскрываются соляные отложения нижней перми с присутствием в них сульфатов (ангидритов), соленосные отложения с карбонатами (известняки, доломиты) и, фрагментарно, соленосные отложения без значительных примесей этих пород, предположительно тяготеющие к ядрам внутрикупольных складок. В составе кепрока выделяются сульфатные ангидритовые и ангидрит-гипсовые породы с малозначительными примесями терригенных и карбонатных пород, а также сульфатнокарбонатные (с известняками и доломитами) породы, сосредоточенные обычно над областями развития карбонатов в соляном куполе.

Отложения, залегающие под кепроком изучены слабо, в основном по данным каротажа боевых и промысловых скважин. Внутрисолевая тектоника и складчатость практически не исследованы и реконструируются по аналогии со строением других куполов, приведенных в литературе [3]. Имеются лишь единичные подтверждения сложного внутреннего строения купола с крутым, до вертикального, падением слоев, задокументированным по керну одной из боевых скважин, отобранному по соленосным отложениям (скв.5ТК).

Толща пород, перекрывающая купол и развитая в его обрамлении, представлена отложениями чехла, в составе которых выделяются образования *триаса, юры, мела, неогена и четвертичного возраста.* Мезозойские отложения участвуют в формировании надкупольного свода, а отложения кайнозоя с несогласием налегают на все эти образования, в том числе и на соленосные отложения перми. Непосредственно над куполом мезозойские образования залегают субгоризонтально, с небольшим (не более 5°) падением в северо-восточном направлении. При выходе за пределы купола углы падения пород в обе стороны, по данным сейсморазведки, увеличиваются до 25-30° и на удалении до 8 километров к северо-востоку и к юго-западу (примерно в 5 км в обе стороны от его границ) породы формируют пологие мульды с общим субширотным – северо-западным простиранием, субпараллельным простиранию оси купола.

Отложения *триаса* в районе объекта "Лира" имеют мощность 70-180 м и представлены прикаспийской серией нижнего триаса (T₁pr₂) и аралсорской серией среднего-верхнего триаса (T₂₊₃ar). За пределами купола их мощность увеличивается до 1200-1500 м (рис. 1). Породы представлены глинами, песками, алевролитами, песчаниками, галькой.

Юрские отложения развиты преимущественно по обрамлению купола и представлены в нижней части бесопинской и чашканской свитами нижней юры (J_1 bs+čš) мощностью до 40 м (пески, глины, песчаники, алевролиты, гальки, бурый уголь), на которые выше налегают образования илекской свиты средней юры (J_2 il), мощностью 150-200 м (глины, пески, песчаники, алевролиты, бурый уголь, гальки), и еще выше – верхнеюрские отложения волжского яруса (J_3 v₂) мощностью до 108 м (известняки, мергели, глины, галька, фосфориты).

Ядра мульд выполнены отложениями *нижнего мела*, представленными преимущественно глинами с прослоями алевритов, песков, песчаников, алевролитов, гравия, бурого угля, фосфоритов, сидеритов. Общая мощность отложений достигает 330 м. В южном обрамлении купола на отложениях нижнего мела залегают верхнемеловые отложения, представленные мелом и мергелями с редкими прослоями глин. Суммарная мощность их достигает 460 м.

Неогеновые отложения в районе объекта "Лира" представлены образованиями плиоцена (акчагыльская свита – N2ak), мощностью от первых метров до 150 м и плиоцен- нижнечетвертичного возраста (сыртовская свита – N₂-Q₁sr) мощностью до 70 м, выполняющих прогиб, пересекающий в субмеридиональном направлении Карачаганакский соляной купол Ось прогиба проходит в непосредственной близости от профиля боевых скважин, к югу и к западу от него и, предположительно, отвечает палеоруслу реки Березовка, ориентированному под углом 35-40° к современному ее руслу. Суммарная мощность акчагыльских и сыртовских отложений в разрезах не превышает 180 м. Отложения акчагыльской свиты представлены глинами, мергелями, алевритами, алевролитами, песками, гравием; сыртовской свиты – глинами, суглинками, супесями, песками, щебнем, галькой, гравием, дресвой.

Четвертичные отложения формируют систему террас реки Урал и впадающих в нее притоков, подразделяясь по возрасту на четыре звена: среднечетвертичное (Q_{II}), средневерхнечетвертичное (Q_{II-III}), верхнечетвертичное (Q_{III}) и современное (Q_{IV}). Отложения представляют сплошной покров на уровне профиля боевых скважин и полого погружаются в сторону реки Урал. Суммарная максимальная мощность их в разрезах достигает 35 м. Представлены они аллювиальными отложениями – песками, супесями, гравийно-галечниковым материалом, включающим прослои суглинков и глин.

Пути миграции радионуклидов в районе профиля боевых скважин объекта "Лира" определяются наличием и особенностями строения водоносных горизонтов, а также зонами разрывных нарушений и трещиноватости, по которым могут осуществляться перетоки и перенос радионуклидов как в восходящем, так и в нисходящем направлениях. Изложенных особенности геологического строения объекта "Лира" позволяют выделить четыре стратиграфических и гипсометрических уровня, в которых может происходить миграция радионуклидов из полостей взрыва.

Первый из этих уровней связан с соленосными отложениями перми. Он охватывает глубины примерно от 1 км (глубже гипсометрического положения глубинных пунктов взрыва) до кровли купола (включая кепрок). Для этого уровня возможна преимущественно вертикальная миграция радионуклидов по ослабленным зонам, активизированным энергией произведенных взрывов. Проводниками радионуклидов внутри соли могут быть широко распространенные прослои более хрупких и пористых ангидритов, известняков и доломитов, а также зоны тектонических нарушений, в том числе ограничивающих структуры проседания в кровле соляного купола и проникающих глубоко внутрь массива. Подготовленные реконструкции позволили сделать предварительное заключение о возможной значительной латеральной миграции радионуклидов внутри купола и за его пределы по зонам тектонических нарушений, секущих купол в поперечном и продольном направлениях, а также по краевым контактам соляного диапира, которые сопровождаются развитием зон трещиноватости и брекчирования.

Второй стратиграфический уровень миграции радионуклидов из полостей взрыва может быть связан с отложениями мезозоя, участвовавшими в формировании купола и реагировавшими на возникающие напряжения соответствующими деформациями пликативного и дизъюнктивного характера. Учитывая небольшую мощность этих отложений в районе купола, можно полагать, что большинство деформаций охватывало всю надкупольную толщу мезозойских пород и что имеется прямая связь образовавшихся структур со структурами, осложняющими верхнюю часть соляного купола. То-есть, может иметь место вертикальная миграция радионуклидов по зонам тектонических нарушений и трещиноватости, унаследованная от первого уровня миграции И активизированная произведенными ядерными взрывами в первую очередь. Значительная часть этих зон может дневной проявиться на поверхности. Существенным отличием второго уровня миграции радионуклидов от первого уровня является возможность их широкой площадной латеральной миграции в толще мезозойских образований. Это связано с высокой водообильностью и проницаемостью мезозойских отложений. Основной поток радионуклидов с подземными водами может быть направлен в близмеридиональном направлении в Мало-Илекскую межкупольную депрессию площадью порядка 100 кв.км. В южном направлении возможен сток радионуклидов в Карачаганакскую межкупольную депрессию, где активизация распространения радионуклидов в геологической среде может быть связана с действием широко развитых здесь газо-водяных грифонов.

Третий стратиграфический уровень распространения радионуклидов может быть связан с отложениями плиоцена и плиоценнижнечетвертичного возраста (акчагыльская и сыртовская толщи). Здесь миграция радионуклидов возможна в вертикальном направлении по зонам тектонических нарушений и трещиноватости, унаследованным от нижележащих частей разреза. Возможна их широкая площадная миграция. Проводниками радионуклидов могут являться невыдержанные по мощности и простиранию, часто выклинивающиеся водоносные прослои песков, иногда суглинков, присутствующие в обеих толщах среди глин. Площадь заражения геологического разреза в пределах палеопрогиба до уровня русла реки Урал может составить порядка 55 кв.км.

И, наконец, *четвертый* стратиграфический уровень миграции радионуклидов можно связывать с четвертичными отложениями, где определяющую роль в вертикальной миграции радионуклидов играют проницаемые зоны тектонических нарушений и трещиноватости, проникающие с глубины к поверхности. В латеральной миграции имеет значение пологое склонение толщи четвертичных отложений в сторону реки Урал в меридианальном направлении. Общая площадь заражения по верхней части разреза, сложенного четвертичными образованиями, может составить порядка100 кв.км.

Экспериментальное исследование, прогноз и мониторинг загрязнения геологического разреза радионуклидами в районе объекта "Лира", по мнению авторов статьи, целесообразно вести, ориентируясь на четыре выделенные стратиграфические уровни миграции радионуклидов, соответствующие отложениям перми, мезозоя, плиоцена–плиоценнижнечетвертичного возраста и аллювиальным четвертичным отложениям. Необходимо также выявление возможных связей между ними.

Радионуклидтерді көшірудің жолдары және "Лира" объектісі территориясының құрылыс ерекшеліктері.

Беляшов Д.Н., Мохов В.А., Мелентьев М.И., Кислый Б.И.

Геофизикалық зерттеу институты

Газокондентсатты сақтау қуысын жасау үшін Қарашығанақтың солтүстік бөлігінде бейбіт ядролық сынақ жасалды. Тұз үйіндісін бұрғылау тәсілін зерттеуге қарамастан үйінді кеңістіктің ішкі құрылымына қатысты бірқатар принципті сұрақтар тұзды тектоника және территорияның радионуклидтен ластануына байланысты болжамдар жасау үшін жеткіліксіз болды. Геологиялық ақпараттар анализін жинау жолында құрылымды қайта жаңартудың радионуклидтерді көшірудегі стратиграфиялық төрт деңгейіне болжамдар жасалады. Алынған деректерді "Лира" эксперименттік зерттеу объектісінде қоддануға кеңес беріледі.

Characteristics of Geological Structure with the Lira Explosions, and Possible Ways of Radionucleid Migration

D.N. Belyashov, V.A. Mokhov, M.I. Melentyev, B.I. Kisliy

Institute of Geophysical Research

Peaceful nuclear explosions were detonated on the northern side of the Karachaganak deposit to create cavities for storing gas condensate. Despite the detailed study of the salt dome by means of drilling, a number of questions were not answered, regarding internal structure of the space above the dome, and salt tectonics. These questions are important for prognosis of radio nuclide contamination of territory. By means of acquisition, and analysis of geologic information, and reconstruction of structures, one can forecast four stratigraphic levels of possible migration of radio nuclides. It is recommended to use the acquired data during the experimental researches of "Lira" explosions.

УДК 622. 236: 621. 039. 9 (24) (574.4)

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕСТРУКЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СЕРИИ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА УЧАСТКЕ БАЛАПАН

Мурзадилов Т.Д., Беляшов Д.Н., Глущенко В.Н., Логвинов О.В., Моренко В.С., Стромов В.М., Глущенко Г.М.

Институт геофизических исследований

На основе теории сильного взрыва Седова-Неймана [1] проведены расчеты деструкции пород участка земных недр Семипалатинского испытательного полигона под действием серии ядерных взрывов в скважинах. Построены объемные модели пустотности, отображающей сумму естественной пористости и наведенной трещиноватости пород. Результаты представлены в виде погоризонтных планов и разрезов, которые сопоставлены с геофизическими данными по участку.

При изучении влияния и прогнозировании различных последствий ядерных взрывов на участки недр испытательных полигонов большое значение имеют данные о механическом состоянии горных массивов. Одним из способов их оценки могут быть построения моделей на основе численных исследований. В статье описан метод вычисления степени деструкции - вторичной трещиноватости,горных пород под влиянием серии подземных ядерных взрывов на основе теории сильного взрыва Седова-Неймана [1].

Решение задачи о сильном взрыве Седова-Неймана, строго говоря, получено для случая точечного взрыва в политропной газовой среде. Однако оказалось, что данной теорией можно воспользоваться и для анализа механических разрушений в горных породах. Основанием для такого подхода может служить удовлетворительный конечный результат сопоставления расчетных и экспериментальных данных на конкретном объекте площадке «Балапан» Семипалатинского испытательного полигона.

Были сделаны следующие физические предположения:

- Взрывы на участке производились последовательно во времени и не были взаимосвязаны по местоположению. От взрыва к взрыву геологическая среда все более механически гомогенизируется, становясь со временем все более квазиоднородной и квазиизотропной. После некоторого количества взрывов, последующие единичные взрывы вызывают центрально-симметричные разрушения. При этом первоначальная структурированность геологической среды перестает существенно сказываться на структуре поля разрушения участка земных нелр.
- Основным фактором, определяющим разрушение геологических пород при мощном ядерном взрыве, является ударная волна, фронт распростране-

ния которой от единичного взрыва, в первом приближении имеет центральную симметрию.

- 3. Для единичного взрыва время существования ударной волны связано с гидродинамической фазой развития взрывного процесса, поскольку плотность энергии за ее фронтом сопоставима с энергией разрушения пород и потому последние ведут себя как квазижидкость. В связи с этим кинетические характеристики ударной волны в горных породах принимаются аналогичными по структуре характеристикам политропного газа, описываемых теорией сильного взрыва Седова-Неймана.
- Степень деструкции горных пород есть функция поглощения горными породами энергии ударной волны.

Исходя из перечисленных предположений и положений теории сильного взрыва Седова-Неймана, плотность механической энергии, поглощенной горными породами є [1-3], в точках с координатами г определена следующей системой уравнений:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{N} \varepsilon_{i} , \qquad (1)$$

$$\varepsilon_{i} = 0,19E_{i} \frac{\left|\mathbf{r} - \mathbf{R}\right|^{0,01} \left(R_{\kappa p i}^{1,49} - \left|\mathbf{r} - \mathbf{R}_{\mu i}\right|^{1,49} \right)}{R_{noni}^{3,01} \left(R_{\kappa p i}^{1,49} - R_{non}^{1,49} \right)}, (2)$$

если
$$R_{noni} \leq |\mathbf{r} - \mathbf{R}_{\mu i}| \leq R_{\kappa p i},$$

$$\varepsilon_i = 0, \ ecnu \ |\mathbf{r} - \mathbf{R}_{Hi}| > R_{\kappa pi} , \qquad (3)$$

$$R_{\kappa p} = 290 E^{\overline{3}}, \qquad (4)$$

$$R_{non} = 10E^{\frac{1}{3}},\tag{5}$$

где: N - количество взрывов на территории полигона, *i* - номер взрыва, E_i - мощность *i* -го взрыва, $R_{\kappa pi}$ вектор положения эпицентра *i* -го взрыва, $R_{\kappa pi}$ критическое расстояние от эпицентра *i* - го взрыва, пробегаемое разрушающей волной, которая диагностируется еще как ударная, R_{noni} - радиус образуемой полости от *i* -го взрыва (*r*, R_{non} , $R_{\kappa p}$ в [M], E -[кт] (килотонна тротилового эквивалента), ε -[кт/м³]).

Выражения (1) – (5) явились основой для вычисления степени деструкции горных пород. Дополнительно учтены следующие качественные соображения:

- вероятность появления вторичной трещины Φ определяется энергией ее активации и поглощенной породами энергии по статистическому закону, типа закона Больцмана, т.е.

$$\Phi \sim exp\left[-\left(E_{a\kappa}-\varepsilon\right)/RT\right],\tag{6}$$

где: T - температура горных пород, ε - удельная поглощенная механическая энергия, R - газовая постоянная;

- величина вторичной трещиноватости пропорциональна этой вероятности и зависит от поглощенной энергии по закону:

$$P = A e^{\alpha \varepsilon}, \tag{7}$$

где: *А* - некоторая функция, зависящая от энергии активации образования трещин в данном типе горных пород, давления и температуры, физикомеханических свойств, α - некоторая постоянная, определяемая физическими свойствами среды.

Величину коэффициентов А и α можно определить на основе теоретических исследований, однако для этого необходима построенная физическая модель геологической среды, параметры которой должны быть определены по большому объему экспериментальных данных, полученных в результате инженерно-геологического опробования пород. В данной работе эти коэффициенты были определены для площадки «Балапан» статистически, путем регрессионного анализа данных электрокаротажа по 16 исследовательским скважинам и вычисления значений є с учетом значений пористости горных пород до момента проведения взрывов (исходная пористость). Трансформация данных электрокаротажа в суммарную пустотность как сумму исходной пористости и вторичной трещиноватости горных пород выполнялась по следующей схеме [4]:

- по диаграммам каротажа определялись границы и удельное электрическое сопротивление пластов и удельное сопротивление промывочной жидкости;
- вычислялось относительное сопротивление пластов по формуле

$$\rho_{om} = \rho_{en} / \rho_{e} , \qquad (8)$$

где ρ_{om} , ρ_{en} , ρ_{e} – соответственно относительное сопротивление, удельное электрическое сопротивление пласта, удельное сопротивление промывочной жидкости (по данным резистивиметрии);

- определялась пористость пород *P* по формуле:

$$P = 1/\sqrt{\rho_{om\mu}} , \qquad (9)$$

На рис. 1 приведены значения пустотности горных пород, определенные по описанной схеме и соответствующие им расчетные значения механической энергии ядерных взрывов, поглощенной горными породами. Приведена так же полученная регрессионная зависимость степени деструкции (вторичной трещиноватости) P [%]горных пород от поглощенной механической энергии ядерных взрывов ε [Дж/м³]. Аналитически данная зависимость отражается формулой:

$$P=1,41\exp\left[4\cdot10^{-5}\varepsilon\right],\tag{10}$$

Коэффициент корреляции между выборками имеет значение 0,8.

Использование регрессионной функции (10) и выражений (1) – (5) позволило рассчитать в единицах пористости и построить объемное поле вторичной трещиноватости участка недр площадки «Балапан» и ее окрестностей далеко за пределами исследовательских скважин. Для этой задачи создано соответствующее программное обеспечение.



Рис. 1. Регрессионная зависимость вторичной трещиноватости Р% от поглощенной механической энергии ядерного взрыва с использованием данных электокаротажа

Поле суммарной пустотности горных пород было получено в результате сложения полей исходной пористости и вторичной трещиноватости горных пород. Результаты вычислений визуализированы в виде серии погоризонтных планов и разрезов участка. На рис. 2 и 3, в качестве примера, приведены погоризонтные планы 100 и 400 м.

Полученные данные о пространственном распределении суммарной пустотности горных по-

род сопоставлялись с имеющимися геологогеофизическими данными по участку. Анализировались местонахождение, конфигурация аномальных зон, числовые значения. Установлено качественное согласие с имеющимися данными геологогеофизических исследований. Показано, что наибольшая суммарная пустотность горных пород, т.е. наибольшая деструкция геологической среды изучаемой площадки, проявляется в ее средней части в окрестности скважин 1314 - 1304, 1344 – 1363. В относительно меньшей степени она проявляется в северо-западной части участка, в районе скважин 1203 (рис.3). С увеличением глубины суммарная пустотность горных пород сначала растет вплоть до глубин 400 -500 м, а затем уменьшается. Максимальное значение пустотности в аномальных зонах деструкции горных пород составляет ~15 %, минимальная `~1-2 % - за пределами мест взрывов.

Разработанный подход заслуживает дальнейшего развития. Сделанные модельнопрогнозные построения могут приниматься во внимание при решении различных задач, связанных с изучением поствзрывного состояния участка «Балапан» - анализ возможных путей массопереноса радионуклидов, прогнозирование опасных явлений, выбор участков для хранилища и др.



Рис. 2. Суммарная пустотность горных пород. Горизонт 100 м. Площадка «Балапан».



Рис. 3. Суммарная пустотность горных пород. Горизонт 400 м. Площадка «Балапан».

Литература

- 1) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М Теоретическая физика. Гидродинамика / М.«Наука», 1986, т.6 ,с. 558 -563.
- 2) Спивак А.А. Изменение структуры и проницаемости геологической среды при подземном ядерном взрыве./ Инженерная геология. Гидрогеология, Геокриология. №3, 1997, с. 41-49.
- 3) Енохович А.С. Справочник по физике. / М. «Просвещение», 1990, с. 246.
- 4) Методические рекомендации по количественной интерпретации данных каротажа. / Мингео СССР, ВНИИГеофизика. М., 1972.

Балапан участігіндегі жер асты ядролық жарылыстары әсерінен тау жыныстарының бұзылуына берілген теоретикалық баға

Мурзадилов Т.Д., Беляшов Д.Н., Глущенко В.Н. Логвинов О.В., Моренко В.С., Стромов В.М., Глущенко Г.М.

Геофизикалық зерттеу институты

Седова-Нейман күшті жарылыс теориясы негізінде, скважинадағы ядролық жарылыс-тар әсерінен Семей сынақ полигонының жер қойнауындағы тау жыныстарының бұзылуына есептеулер келтірілген. Табиғи және тау жынысының бүлінуін көрсететін бос жердің көлемді моделі жасалған. Участкі бойынша геофизикалық деректермен салыстырылған нәтижелер жоспарлар мен көлденең кесінділер түрінде берілген.

Theoretical Assessment of Rock Destruction under the Influence of a Series of Underground Nuclear Explosions in Balapan Ground

T.D. Murzadilov, D.N. Belyashov, V.N. Glushchenko, O.V. Logvinov, V.S. Morenko, V.M. Stromov, G.M. Glushchenko

Institute of Geophysical Research

Based on the Sedov-Neiman theory of strong explosions, calculations of rock destruction were conducted for the underground area within the Semipalatinsk Nuclear Testing Site under the influence of a series of nuclear explosions in bore-holes. 3D simulations of the increased volumes were created, being the sum of natural porosity and rock induced activity. The results were presented as maps at different depths and sections that were compared with geophysical data in the area.

УДК [551.14:621.039.5]:550.89

СТРОЕНИЕ БЛОКА ЗЕМНОЙ КОРЫ ПОД РЕАКТОРОМ ВВР-К В ПОС. АЛАТАУ (ПО ДАННЫМ МЕТОДОВ ПАССИВНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ)

Беляшова Н.Н., Беляшов А.В., Коновалов В.Е., Комаров И.И., Синева З.И.

Институт геофизических исследований

Статья посвящена изучению строения блока земной коры под реактором BBP-К вблизи Алматы методами пассивной сйсморозведки. Работы выполнены в связи с отсутствием достаточной геолого-геофизической информации по данному участку и в связи с новыми повышенными требованиями к оценке сейсмической безопасности особо важных объектов. Описаны методика проведения полевых работ методом обменных волн землетрясений, последующая обработка и интерпретация полученного сейсмического материала. Изложены выводы о строении блока земной коры под реактором BBP-К по данным методов пассивной сейсморазведки.

В 1988 г был законсервирован реактор ВВР-К в поселке Алатау (близ Алматы) в связи с недостаточной изученностью геологического строения земной коры, обосновывающеей сейсмическую безопасность района расположения реактора. Агентство по атомной энергии Республики Казахстан, в соответствии с рекомендациями комиссии МАГАТЭ, проводившей исследования по реактору с 23 по 30 ноября 1993 г, предложило провести геолого-геофизическое доизучение блока земной коры под реактором.

Оценка сейсмической безопасности для особо важных объектов, каким является реактор, производится на основании результатов исследований методами сейсмологии, геологии, геофизики, геохимии и геодезии.

В данной статье описывается площадное изучение района расположения реактора ВВР-К методами пассивной сейсморазведки [1], которые были выбраны как основные методы исследования исходя из следующих соображений:

- экономическая целесообразность. Методы пассивной сейсморазведки являются одними из самых недорогих геофизических методов, поскольку исключают затраты на создание искусственных источников упругих колебаний;
- экологическая целесообразность. Проведение работ на территории научного комплекса Института ядерной физики и жилого поселка Алатау с применением активных (взрывных) геофизических методов было небезопасно и невозможно;
- достаточные возможности. Метод обменных волн землетрясений (МОВЗ) с трехкомпонентной регистрацией сейсмических волн позволяет определять глубину залегания и морфологию поверхности фундамента, выделять геофизические неоднородности в верхней части разреза земной коры исследуемого района.

Полевые работы были проведены в 1994-95 гг. Для обработки и интерпретации полученного объема данных была разработана новая нестандартная автоматизированная система интерпретации сейсмических данных на базе АСОД-Прогноз [2.].

Геологическое строение района исследований

Участок Алатау приурочен к Алматинской предгорной впадине, выполненной отложениями кайнозоя общей мощностью до 3500 м [3]. В осевой части впадины предполагаются образования юры и верхнего мела, характерные для структур типа унаследованных прогибов.

Кайнозойский разрез начинается отложениями палеогена, которые представлены красноцветными песчанистыми глинами, песчаниками и загипсованными глинами. Нижняя часть разреза относится к эоцену или к эоцен - олигоцену, а преимущественная часть разреза датируется олигоценом (поздним палеогеном).

Осадки *неогеновой системы* отчетливо подразделяются на три комплекса: аральский, относящийся к нижнему - среднему миоцену (красно бурые загипсованные глины, песчаники и мергелями с линзами валунно - галечниковых накоплений), павлодарский, относящийся к верхнему миоцену и нижнему - среднему плиоцену; илийско – хоргосский, относящийся к верхнему плиоцену.

Четвертичные отложения начинаются грубым валунником и галечниками водно - ледникового происхождения, которые находят продолжение в таких же накоплениях хоргосской свиты. Грубообломочные образования переслаиваются с лессовыми и песчано - суглинистыми отложениями, формируя ритмичность осадконакопления, обусловленную климатическими изменениями и тектоническими движениями. Мощность четвертичных отложений достигает 15 м.

В геоморфологическом отношении участок приурочен к обширному, пологому пролювиальному шлейфу, имеющему наклон в северном и северо - западном направлениях. Соответственно, в тех же направлениях осуществляется поверхностный снос рыхлого материала, а также сток поверхностных и грунтовых вод.

Согласно существующим представлениям [4] Алматинская предгорная впадина имеет асимметричное строение в поперечном сечении. Южный борт впадины, примыкающий к горному сооружению, является наиболее погруженным и по серии сбросовых и сбросо - сдвиговых нарушений уступами воздымается к югу. Амплитуда сбросов колеблется от десятков - сотен метров до нескольких километров, а общая амплитуда лестничных сбросовых систем достигает 12 км. Непосредственно в разрезе через участок Алатау суммарная амплитуда сбросов не превышает 8 км, северный же борт впадины воздымается полого, в результате чего в северном направлении прослеживается постепенное сокращение мощности рыхлых отложений. Пологое залегание фундамента в северном борту впадины не исключает присутствие здесь продольных и диагональных разломов. Такие разломы прослеживаются иногда с поверхности, среди рыхлых отложений чехла. Тектонические подвижки по разломам в фундаменте часто сопровождаются дислокацией покровных отложений. Последние проявляются в виде флексур, мелких приразломных складок, валообразных или гребневидных поднятий (вспу-чиваний). Типичные флексуры образуют отложения хоргосской свиты позднего плиоцена и нижнечетвертичные лессы, валунники и галечники вблизи сбросов в области сочленения впадины с горной системой. В районе г. Алматы наиболее крупными флексурами являются Алматинская флексура - у подножья лессового прилавка и Аксайская флексура - на уступе между самым верхним прилавком и древним пенепленом на цоколе палеозойских пород.

Таким образом, Алматинская предгорная впадина имеет асимметричное строение с развитием в ее южном борту наиболее крупных дизъюнктивных нарушений. Впадина выполнена мощными толщами близких по литологическому составу отложений. Наиболее резкая смена состава осадков произошла в позднем плиоцене с появлением грубых песчано - конгломератовых и конгломерато валунных образований. Последние перемежаются с песчанистыми суглинками и карбонатистыми лессами. Такой характер разреза не предполагает четких и протяженных сейсмических границ раздела, расчленяющих образования чехла.

Методика полевых исследований

Площадные сейсмические наблюдения методами пассивной сейсморазведки были проведены на участке площадью 6 км², в центре которого расположен реактор BBP-К. Сейсмические наблюдения MOB3 выполнялись с использованием аппаратурного комплекса "Карс ", состоящего из станции записи ACC-3/12 и станции воспроизведения BCC-3/6. Количество используемых станций записи на изучаемом участке изменялось от 13 до 22, они проводили непрерывную регистрацию сейсмических колебаний на 117 выбранных точках наблюдений. Как уже было отмечено выше, поскольку работы выполнялись на территории Института Ядерной Физики и жилого поселка Алатау, точки наблюдения располагались по нерегулярной сети (среднее расстояние между точками ~ 250 м). Записи проводились последовательно по трем стоянкам. Длительность наблюдений по первой стоянке составила 20 суток, по второй - 30 суток, по третьей -17 суток. После завершения наблюдений на одной стоянке, все станции перемещались на следующую, и цикл измерений МОВЗ повторялся. Одна станция (4 точки наблюдений) оставлялась на одном и том же месте, как корреляционная. Работы проводились на фоне сильных промышленных помех.

Методика интерпретации полученных материалов

Для обработки и интерпретации записей сейсмических событий использован набор кинематических и динамических параметров сейсмических волн: времена запаздывания обменных волн по отношению к продольным, времена вступлений первых продольных волн, спектральные плотности и энергия сейсмических волн. Методические приемы обработки и интерпретации сейсмических данных основаны на использовании автоматизированной системы обработки данных АСОД - Прогноз.

Основным параметром, определяющим информативность землетрясения с точки зрения возможности выделения проходящих обменных волн, является форма обменной волны. Наиболее благоприятной для выделения обменных волн является импульсная форма колебаний волны Р, представленная несколькими фазами, существенно превосходящими по интенсивности последующую запись на вертикальной компоненте (рис. 1). На записях землетрясений с более сложной формой продольных волн обменные волны от глубинных границ раздела часто не могут быть выделены из-за их интерференции с составляющими волны Р и обменными волнами от более мелких границ раздела.

При обработке полевого материала было выявлено 54 события (12 - по первой стоянке, 32 - по второй, 10 - по третьей). Для расчета аномальных времен, частотных спектров и выделения обменных волн было использовано 42 события (10 - по первой стоянке, 22 - по второй, 10 - по третьей).

Направление подхода сейсмических волн всех зарегистрированных землетрясений относительно сторон света весьма различно, то есть записанные сейсмические события достаточно полно освещают строение всей территории исследований.

Выделение и корреляция обменных проходящих волн. Выделение обменных волн проводилось на персональном компьютере с помощью программы, которая позволяет визуализировать и выбирать сейсмические записи и затем заносить в базу данных АСОД-Прогноз для дальнейшей обработки.

Обменные волны выделялись на двух горизонтальных компонентах в соответствии с критериями, описанными в [1,4]. Затем на сводных сейсмограммах автоматически определялись времена запаздывания обменных волн PS относительно продольной волны P, и заносились в базу данных.

На сводных сейсмограммах выделялись обменные волны от 4 - 5 границ обмена (включая границу М), но для решения поставленных задач можно было ограничиться обработкой волн от двух границ обмена: первой обменной волны с временем запаздывания 0.04 - 0.06 с (соответствует верхнечетветичным отлдожениям) и обменных волн с временем запаздывания 0.4 - 0.6 с. (соответствует подошве осадочного чехла).



Рис. 1. Пример выделения волны обмена от подошвы осадочного чехла

Построение поверхностей обмена. Глубина до поверхности обмена вычислялась по упрощенной формуле

$$H = \cos j * [V c p * (t p s - t p)] / K - 1, \quad (1)$$

где: Vcp - средняя скорость продольных сейсмических волн до поверхности обмена; tps - tp - время запаздывания обменной волны; j - угол выхода сейсмического луча на дневную поверхность; К отношение скоростей продольных и поперечных сейсмических волн..

Значения средней скорости и коэффициента K = Vp / Vs были взяты по результатам предшествующих работ [5] для расчетов глубины до границы обмена .

За величину сейсмического сноса L принималось расстояние от точки регистрации до точки отрыва продольной волны от поверхности обмена. Сейсмический снос вычислялся по формуле

$$L = V * (tps - tp) * sin j/K - 1$$
 (2)

Азимут подхода сейсмических волн и угол выхода сейсмического луча определялись по трендам поверхностных годографов продольных волн (рис. 2).

Определение аномалий времен прихода первых вступлений продольных волн. На первом этапе интерпретации геофизических материалов для выделения неоднородностей в верхней части разреза вычислялись аномальные времена прихода продольных сейсмических волн.



Рис. 2 Годограф геометрического рассеивания (тренд).

Для этого были построены поверхностные годографы первых вступлений продольных волн. Затем, по разнице времен прихода продольной вол-

ны Р между точками, для каждого события строился тренд (годограф геометрического рассеивания) (рис. 2), который вычитался из поверхностного годографа. После вычета тренда из значений времен в каждой точке были получены значения аномальных времен. С целью исключения случайных отклонений проводилось усреднение аномальных времен, после чего была построена карта распределения аномальных времен на площади исследования по всем событиям для каждой точки наблюдения (рис. 3). В связи с тем, что размеры площади исследований несоизмеримо малы по отношению к длине сейсмического луча дальних сейсмических событий, можно полагать, что полученная картина распределения аномальных времен характеризует неоднородность строения верхней части разреза земной коры.

Вычисление энергетической плотности. Одним из признаков, характеризующих наличие разрывных нарушений в земной коре является аномальное затухание амплитуд сейсмических волн в зоне разлома. Для выявле-ния подобных зон были построены карты энергетической плотности на исследуемом участке (рис. 4). Энергетическая плотность находилась следующим образом. Снимались значения амплитуды вертикальной компоненты на сводных сейсмограммах дальних землетря-сений с субвертикальным выходом сейсмических лучей в 2-х секундном интервале от первого вступления продольных волн с шагом 0.022с Энергетическая плотность события в каждой точке наблюдения вычислялась по формуле:

$E = \sum (a_i^2)/n,$

где: Е - энергетическая плотность; а_i - амплитуда волны i-того отсчета; n - число отсчетов.

Затем распределение энергетической плотности по участку нормировалось для каждого события и строилась карта значений энергетической плотности по нескольким событиям.



Рис. 3. Карта аномалий времен прихода продольных волн на исследуемом участке.



Рис. 4. Карта распределения энергетической плотности на исследуемом участке.

Определение частотного спектра продольных волн сейсмических событий. Наличие дизьюнктивных нарушений в земной коре обуславливает изменение спектра зарегистрированных сейсмических волн. В связи с этим исследовалось распределение спектральных плотностей различных событий для каждой точки. Спектральные плотности рассчитывались для вертикальных составляющих сейсмических записей дальних событий (рис. 5). Затем форма амплитудно-частотного спектра учитывалась при комплексной интерпретации геофизических данных для выделения разрывных нарушений в земной коре.

Геологическая интерпретация данных пассивной сейсморазведки

Площадная система расстановки аппаратуры при сейсмологических наблюдениях позволила с достаточной детальностью охарактеризовать участок работ и получить представление о его объемном строении. В поле обменных сейсмических волн наиболее четко выделяются и прослеживаются две границы обмена: первая граница обмена, прослеживаемая на глубинах 20 - 40 м (рис. 6) и граница обмена, соответ-ствующая поверхности фундамента (рис. 7).

Первая граница обмена отвечает, вероятно, подошве верхнечетвертичных и современных отложений, представляющих собой аллювиальнопролювиальные образования из материала, сносимого с горных районов, а также перемытые и переотложенные пролювиальные образования более раннего возраста. Рельеф поверхности первой границы обмена (рис. 6) характеризуется значительным погружением в северо-западном направлении. Наиболее приподнятыми являются восточная и южная части участка при сокращенной мощности верхнего слоя, что свидетельствует о транзитной форме переноса материала, поступающего с гор, т.е. выносимый водными и селевыми потоками материал не задерживается в предгорной части. Погружение сейсмической границы в северо-западном направлении более крутое, чем дневной поверхности, что соответствует увеличению мощности приповерхностного слоя до 40 - 50 м и накоплению современного пролювия в пониженных частях рельефа, удаленных от горных склонов. Отмечаются линейные формы прогибания поверхности описываемой границы, ориентированные в северозападном и субширотном направлениях, которые могут быть связаны с ослабленными тектоническими зонами.

Сейсмическая граница обмена, соответствующая поверхности фундамента, фиксируется на глубинах 1500 - 1800 м, что отвечает абсолютному гипсометрическому уровню - 700 - -1000 м (рис. 7). Максимальная мощность кайнозойских отложений в этой части впадины не превышает 1900 - 2000 м в наиболее прогнутых участках, что значительно меньше ожидаемой мощности (3000 - 3500 м). Рельеф поверхности фундамента отличается исключительной расчлененностью. Его сложная морфология свидетельствует о блоковом строении ложа предгорной впадины. В центральной части участка выделяется узкое валообразное возвышение север-северо-восточного простирания, которое расчленяет ложе впадины на восточный и западный бассейны. Склон западного бассейна ступенчато погружается к юго-западу. Если над валообразным поднятием мощность осадков впадины сокращается до 1200-1300 м., то в юго-западном углу участка она достигает 1750 м. Отмеченные выше уступы имеют северо-западное простирание и сформированы, вероятно, разломами того же направления.



Рис. 5. Пример оценки спектральной плотности.

Наиболее высокое положение фундамента, где мощность осадков сокращается до 1000-1100 м., фиксируется в северной части участка. Небольшие размеры площади исследования не позволяют сделать однозначный вывод, является ли этот выступ фундамента фрагментом северного борта собственно предгорной впадины, либо он представляет собой локальный выступ. С юга он ограничивается глубоким желобообразным прогибом востоксеверо-восточного простирания, ложе которого имеет глубины 1900-2000 м. Значительные по амплитуде уступы в рельефе фундамента имеют, вероятно, тектоническое происхождение. Так, с положением желобообразного провала совпадает выделяемая по гравиметрическим данным зона разлома [5], а на дневной поверхности при дешифрировании микрорельефа отмечены фрагменты разрывного нарушения. Таким образом, по морфологии рельефа поверхности фундамента впадины намечаются разломы северо - западного и восток северо-восточного (субширотного) простираний. Наличие тектонических зон такого же направления на дневной поверхности, среди наиболее молодых отложений, свидетельствует о недавней сейсмической активности этих структур. В настоящее время никаких признаков активности тектонических зон не устанавливается (в том числе периодическим нивелированием по субмеридианальным профилям [Институт Сейсмологии МОиН РК]). Поэтому наиболее насущными проблемами являются вопросы прогнозирования реакции структур исследуемого участка на вероятную сейсмическую активность в сопредельных районах. О неоднородности строения участка свидетельствует наличие аномальных времен прихода продольных волн (рис 3). При этом аномалии, характеризующиеся дефицитом времени прихода, т.е. повышенными скоростными характеристиками, меньше распространены и обладают величинами, редко превышающими 22 мсек. Аномалии же с избыточными временами прихода, т.е. с пониженными скоростями продольных волн, имеют более значительные абсолютные значения, достигающие 120 мсек, а часто и более. Учитывая близвертикальный подход сейсмических волн при регистрации далеких событий, аномалии времен характеризуют строение вертикального разреза участка. Из рис. 3 видно, что распределение аномалий времен не соответствует мощностям осадочных отложений впадины, т.е. отсутствует простая зависимость величины приращения времени прихода сейсмических волн от мощности осадочного разреза. Отсюда следует, что аномалии времен прихода сейсмических волн в большей степени характеризуют вещественный, литологический состав разреза.



Рис. 6. Поверхность первой границы обмена продольных сейсмических волн (*R*-реактор, вертикальные отрезки – точки наблюдения)



Рис. 7. Рельеф поверхности фундамента (обозначения на рис.6).

Поле отрицательных аномалий времен прихода волн образует субмеридианальную полосу сложной конфигурации. Здесь, вероятно, преобладают в разрезе тонкозернистые, монолитные лессоподобные отложения, характеризующиеся повышенными значениями скорости распространения продольных волн. Это субмеридианальная структура расчленяет площадь на восточную и западную части, где получили развитие аномалии избыточных времен прихода волн. Последние, вероятно, свидетельствуют о наличии в разрезах галечников и других аллювиальных слабосцементированных, водонасыщенных отложений, обладающих пониженными скоростями распространения продольных волн. Расчленение участка на восточную и западную части развития алювиальных отложений в какой-то мере унаследует аналогичное разобщение миоценовой впадины, отмеченное в рельефе поверхности фундамента. Отличие заключается в том, что субмеридиональная граница между молодыми алювиальными "бассейнами" сдвинута к западу. Если под площадкой реактора в рельефе фундамента расположено субмеридиональное валообразное поднятие, то более верхние горизонты характеризуются аномальными избыточными значениями времен прихода или пониженными скоростями прохождения волн , свойственными восточному "бассейну". Действительно, на сейсмогеологическом разрезе по профилю "Алатау - 1 " на площадке застройки ИЯФа (область пересечения с профилем 2) даже самая верхняя часть разреза характеризуется широким развитием песчано - галечниковых отложений.

Общеизвестно, что сейсмоопасные расстояния при взрывных работах зависят от свойств грунта, залегающего непосредственно в фундаменте охраняемых сооружений. Например, глинистые грунты, некоторые водонасыщенные горизонты и т.д. хорошо передают энергию сейсмических волн, что увеличивает размеры сейсмоопасной зоны. Другие породы, наоборот, поглощают энергию распространяющихся волн. Площадная система расстановки регистрирующей аппаратуры позволила установить характер распределения на участке выделяемой сейсмической энергии при прохождении продольных волн (рис 4). Как видно из рисунка, распределение сейсмической энергии носит поясовой характер, когда полосы с различной энергетической характеристикой, имеющие северо западное простирание, чередуются между собой.

Именно в этом направлении происходил и происходит снос обломочного материала при формировании приповерхностного слоя, его размыв и переотложение временными и постоянными водотоками.

Сопоставление данных о выделенной сейсмической энергии с аномальными временами прихода продольных волн выявляет неоднозначность их соотношения. В районе площадки атомного реактора и на всей территории к югу от него положительные аномалии времен прихода продольных волн часто совмещаются с участками пониженных значений энергии. Вероятно, такое явление связано с тем, что песчано-галечниковые отложения, создающие положительные аномалии времен, располагаются близко к поверхности и являются обезвоженными. Поэтому они способствуют поглощению энергии проходящих сейсмических волн. В северной же половине площади исследований участки максимального проявления сейсмической энергии совмещаются с положительными аномалиями времен прихода. Здесь можно предполагать, что песчано - галечниковые образования погружены на некоторую глубину и являются водоносами, а близповерхностный слой представлен суглинками и переотложенными лессовидными породами. Участки с такой характеристикой верхней части разреза являются неблагоприятными в сейсмическом отношении для капитального строительства. Площадка обсуждаемой застройки находится в этом отношении в более благоприятных условиях, она характеризуется нормированной величиной энергии, равной 0.5, а в непосредственой близости прослеживается зона самых низких значений энергий (0.3 и менее).

В целом, для участка размером около 6 км², в пределах которого расположен реактор ВВР-К, по данным проведенных исследований уточнена позиция в региональных структурах, изучена внутренняя структура геологического строения. Исследования показали относительную безопасность расположения реактора. Блок земной коры под ним достаточно консолидирован. Проявление тектонических нарушений на современной поверхности весьма слабое. Прослеживаемые вблизи площадки реактора разломы по микроземлетрясениям не вылеляются. В течение всего периода наблюдений местная сейсмичность не была отмечена. Низкий уровень сейсмичности, свойственный целикам, подтвержден для территории в радиусе 25 км вокруг реактора материалами наблюдений за последние 15.5 лет.

Однако для гарантии безопасности эксплуатации реактора требуется проведение обязательного геофизического мониторинга. Это связано с тем, что изученный блок пород земной коры, хотя и консолидирован, но не представляет собой монолитную структуру и является сложнопостроенным. Наличие разрывных нарушений, как в фундаменте, так и среди молодых отложений впадины, тектонически - блоковое строение фундамента предгорной впадины предопределяют необходимость выполнения геофизического мониторинга работ для такого особо опасного объекта, каким является реактор BBP-K.

Литература

- Померанцева И.В., Мозженко А.И. Обработка материалов сейсмических исследований методами обменных волн. / Новосибирск, "Наука", 1977 г.
- Автоматизированная система обработки данных для решения геологических задач (АСОД Прогноз)./ Беляшов Д.Н. и др.// Алгоритмы и программы. - М., 1993 - 100 с.
- 3) Беспалов В.Ф. Геологическое строение Казахской ССР. / Алма-Ата, Наука, 363 с, 1971 г.
- Пузырев Н.Н., Тригубов А.В., Бродов Л.Ю. и др. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн. / Москва, "Недра", 1985 г, 277 с.
- 5) Шацилов В.И. Методика исследований при оценке сейсмической опасности территории. / Издательство "Наука", Алма-Ата, 1989 г.

Алатау пос. BBP-К реакторының астындағы жер шығырының құрылысы. (пассив сейсмикалық барлау мәліметтерімен)

Беляшова Н.Н., Беляшов А.В., Коновалов В.Е, Комаров И.И., Синева З.И.

Геофизикалық зерттулер институты

Пассив сейсмикалық барлау әдісімен зерттелген Алатау пос. ВВР-К реакторының астындағы жер қыртысының шығырының құрылымы зерттеуіне арналған.Далалық жұмыстарының және кейінгі өңдеуінің әдістері келтірілген. ВВР-К реакторының астындағы жер қыртысының шығырының құрылымы туралы қорытындығы баяндалған.

Structure of the Earth's Crust uNder Reactor BBP-K at the Settlement of Alatau (according to the data of passive seismic survey)

N.N. Belyashova, A.V. Belyashov, V.E. Konovalov, I. I. Komarov, Z.I. Sineva

Institute of Geophysical Research

The article is about the study of the Earth's crustal structure under reactor BBP-K near Almaty, using a passive seismic survey. The research was aimed at filling a gap in geological and geophysical information on the site. The gap must be filled to meet newly established standards for assessment of seismic hazard. The article describes the methods of work in the field using converted waves of earthquakes. It also describes further processing and interpretation of seismic material. The paper presents conclusions about the structure of the Earth's crust under reactor BBP-K.

Раздел 3 – Изучение минерально-сырьевых ресурсов Семипалатинского испытательного полигона

УДК 553.042:[504.03:621.039.55](574.4)

КОНВЕРСИОННЫЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

¹⁾Тухватулин Ш. Т., ²⁾Беляшова Н.Н., ²⁾Недбаев И. Н.

¹⁾ Национальный ядерный центр Республики Казахстан ²⁾ Институт геофизических исследований

Несмотря на особенности земель Семипалатинского испытательного полигона, эта территория представляет интерес для геологоразведочных работ и эксплуатации запасов минеральных ресурсов. О перспективах площади было известно еще до начала испытаний. В настоящее время на полигоне работает несколько компаний. Положительный опыт эксплуатации месторождения угля Кара-Жира, переработка местного габбро на камнерезном заводе, подготовка к добыче золота на месторождении Найманжал позволяют надеяться, что минерально-сырьевые ресурсы Семипалатинского полигона в перспективе станут важным фактором развития экономики Восточно–Казахстанского региона.

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) был создан в 1947 г. по Постановлению СМ СССР и ЦК КПСС. Общая площадь полигона -18500км², расположен он на сочленении границ трех областей: Семипалатинской, Павлодарской и Карагандинской; на каждую из перечисленных областей приходится соответственно 54%, 39%, 7% его территории. За 40 лет, с 1949 по 1989 гг., было произведено 715 ядерных испытаний в военных и мирных целях, в том числе 489 на территории Казахстана, из них 456 - на территории Семипалатинского полигона. Кроме ядерных взрывов, на территории СИП было проведено 44 модельных неядерных взрыва с применением химических взрывных веществ мощностью более 10 тонн. Другими словами, в мире нет земель, подобных землям СИП, вынесшим 86 воздушных, 30 наземных и 340 подземных испытаний ядерных устройств.

Указом Президента Республики Казахстан №409 от 19.08.1991 г. СИП был закрыт. Конверсия бывших оборонных предприятий СИП началась в нелегких условиях трансформирования не только научно-производственной деятельности, но всей социальной жизни города Курчатова, обусловленной быстрым свертыванием и передислокацией с полигона российских военных частей. Существовала реальная опасность полного разрушения всей научно-производственной структуры города. Крайне актуальным и своевременным было решение руководства Республики Казахстан об организации на базе Семипалатинского полигонного комплекса Национального ядерного центра. Это решение в условиях распада СССР и ликвидации военных

структур полигона позволило сохранить уникальные технологические объекты и высококвалифицированные кадры, обеспечить и продолжить эксплуатацию ядерно-опасных объектов, разработать и начать реализацию полномасштабной программы конверсии. В случае обнаружения на территории СИП значительных ресурсов полезных ископаемых, развитие горнорудного производства может стать одним из перспективных направлений в стратегии развития СИП, г. Курчатова.

В границах полигона и на площадях его ближайшего обрамления выявлено более 300 рудопроявлений и в том числе около 30 месторождений полезных ископаемых - марганца, железа, хрома, меди, свинца, вольфрама, молибдена, золота, химического и керамического сырья, строительного и поделочного камня. По частоте встречаемости в регионе отчетливо доминирует медь, по значимости – золото и редкие металлы. Большинство перспективных проявлений сконцентрировано в границах рудных узлов, требующих детального изучения. В их числе: Жангызстаузский рудный узел (медь); Муржикский и Коскудукский (золото); Дегеленский (вольфрам, молибден) и др. Особо интересна Коскудукская и Найманжальская группа золоторудных проявлений. Имеющиеся на сегодняшний день данные позволяют оценить прогнозные ресурсы этих двух рудных узлов по категории Р₁, не ниже чем 30т. Благоприятные перспективы для выявления промышленных запасов золота (и меди) присутствуют на проявлениях Первомайское, Болдыколь, Бесшокы, Юбилейное, а также в пределах Болдыколь-Кемпирской зоны жильного и штоквер-

кового окварцевания, на юго-восточном продолжении которой на сопредельных территориях, выявлена серия промышленных месторожлений золота Жанан, Мираж и др. Повышенный интерес с позиции поисков россыпных золоторудных месторождений привлекает к себе долина р. Шаган, которая на всем протяжении трассируется многочисленными шлиховыми аномалиями и протоками рассеяния золота при достаточно высоких концентрациях свыше 500мг/м³. Несмотря на неблагоприятную конъюнктуру на мировом редкометальном рынке, привлекает к себе внимание и Дегеленская группа редкометальных проявлений, характеризующаяся высоким содержанием полезных компонентов. Содержание трехокиси вольфрама на рудопроявлении Майлыкара, например, составляет 3,9%, молибдена 0,72%. Богатому редкометальному оруденению в границах Дегеленского рудного узла сопутствует промышленная флюоритовая минерализация. Содержание флюорита в кварцево-жильных образованиях массива Дегелен состовляет 58,0%.

Своеобразием рассматриваемого района является его низкая геологическая изученность. В пределах всей территории. из-за систематически проводимых ядерных испытаний, геологоразведочные работы были полностью прекращены с середины 50-х годов и не возобновлялись, практически, в течение полувека. Сегодня исследователи вынуждены пользоваться устаревшей отрывочной информацией, не дающей полного представления о фактическом положении дел. Для ликвидации информационного дефицита первоочередной задачей предстоящих работ является проведение в полном объеме среднемасштабных площадных геологогеофизических работ масштаба 1:200 000-1:50 000. Исследования должны проводится в сочетании с крупномасштабным изучением известных рудных узлов и перспективных рудопроявлений.

В настоящее время на территории СИП разведочные и добычные работы ведут несколько предприятий (рис. 1).

К ним относятся:

- АО ФПГ «Семей Комерлери» добыча каменного угля (месторождение Каражира), ежегодный объем добычи составляет более 1,5 млн.т;
- ТОО «Кишкен» разведка, молибден;

- Фирма «Финконкорд» разведка, флюорит;
- ТОО ПТК «АША» разведка, поделочные камни;
- ТОО «Дегелен» разведка, облицовочные материалы (габбро);
- ТОО «ФМЛ Казахстан» разведка, золото, цветные и редкие металлы;
- ТОО «Семгео» разведка, золото, цветные и редкие металлы;
- ТОО «Бесшокы» разведка, золото и цветные металлы;
- ТОО «Балтемир» разведка, золото;

В табл. 1. приводятся краткие сведения о выполненных в 1997 – 1999 гг. на территории СИП геологических исследованиях и их основных результатах.



Рис. 1. Участие компаний в разведке и добыче полезных ископаемых на Семипалатинском испытательном полигоне

Таблица	1.	Сведения о	геолого-разведочных	работах	и других	с геологических	исследованиях	выполненных	на
		территории	СИП в 1997-99 г.г.						

№ пп	Наименование организации	Основания для работ	Основные результаты
1	ТОО "Бесшоки"	Лицензия ГКИ № 845Д, выдана 19.02.98г. Разведка на золото и цвет- ные металлы с последующей разра- боткой коммерческих обнаружений Бесшокинской зоны.	Создана база данных по известным рудопроявлениям, разработана географическая информационная система для Бесшокинской площади, создана серия цифровых карт, обработаны спектральные космические снимки, проведен отбор геохимических проб по сети 1x1 кв.км. на трех участках проведены геолого-геофизические работы масштаба 1:10000.

КОНВЕРСИОННЫЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

№ пп	Наименование организации	Основания для работ	Основные результаты		
2	ТОО "ФМЛ Казахстан"	Лицензия ГКИ № 1166ДД, выдана 15.06.98г. Разведка золота, серебра, платины, меди, цинка, свинца, нике- ля, кобальта, алюминия, магния, вольфрама, молибдена и олова в пределах Найманжальской зоны.	Создана база данных по известным рудопроявлениям, разработана географическая информационная система для Найманжальской площади, создана серия цифро- вых карт, обработаны спектральные космические снимки, проведен отбор геохимических проб по сети 1х1 кв.км. на участках месторождений Найманжал и Коскудук проведены комплексные геолого- геофизические и геохимические работы масштаба 1:10000, на месторождении Найманжал 2 оценены за- пасы по категориям С-2, Р-1 до глубины 75 метров и прогнозные ресурсы. Готовится ТЭО для добычи и контракт с Правительством РК, Найманжальский про- ект поддержан Правительствами США и РК, частичное (50%) финансирование работ по ТЭО обеспечивается за счет средств, выделяемых Агентством по торговле и развитию США.		
3	ТОО "Семгео"	Лицензия МГ № 1330, выдана 4.12.97г. Разведка на золото цветные и редкие металлы на площади Деге- лен.	Создана база данных по известным рудопроявлениям, paspaботана географическая информационная система для площади Дегелен, создана серия цифровых карт, обработаны спектральные космические снимки.		
4	ТОО "Балтемир"	Лицензия ГКИ №1256Д, выдана 15.06.98г. Разведка золота и серебра на участке Балтемир.	Выполненными ГРР подтверждены высокие перспек- тивы площади на обнаружение коммерчески значимо- го золоторудного объекта, выделены отдельные участ- ки под постановку поисковых и поиково-оценочных работ. По данным бурения и горных работ произведен подсчет прогнозных ресурсов по категории Р1 и Р2. Объемы ресурсов составляют, соответственно, 1,5 и 2,7т. золота при среднем содержании 1,12 г/т.		
5	ТОО "Дегелен"	Лицензия Ц -02-401-Р, выдана 25.07.98г. Разведка облицовочных материалов(габбро) на участке Кере- гетас.	Составлена геологическая карта участка месторожде- ния масштаба 1:2000, проведены разведочные работы для прогнозной оценки запасов до глубины 30 метров (450 000 куб.м. блоков I-IV группы). Составлен техни- ческий проект для проходки опытных карьеров. Вве- ден в эксплуатацию камнерезный завод.		
6	ТОО "Аша"	Лицензия МГ № 1054, выдана 11.09.96г. Проведение разведки Майского месторождения поделоч- ных камней.	Составлена геологическая карта участка месторожде- ния масштаба 1:2000, проведены разведочные работы для прогнозной оценки запасов до глубины 30 метров.		
7	ФПГ "Семей"	Лицензия МГ № 202Т, выдана 23.05.96г. Разведка и добычи угля на месторождении "Каражыра"	Разведка закончена в 1998 году. Запасы угля до глуби- ны 300 метров составляют более 1 миллиарда тонн. Эксплуатация начата с 1998 года, производительность разреза превышает 1 миллион тонн угля в год.		
8	ФПГ "Семей"	Лицензия МГ № 1195/27, выдана 27.09.96г. Разведка на золото на уча- стке "Кишкен".	Выполнены комплексные геолого-геофизические ис- следования масштаба 1:10000; дана оценка мелкого месторождения золота Кишкен и открыто крупное медно-молибденовое месторождение Шорское.		
9	ИГН	Геологическая съемка масштаба 1:200 000 (М-44-XIII)	Построена геологическая карта м-ба 1:200000, лист М- 44-XIII, уточнена и построена геологическая карта м- ба 1:200000 на всю территорию СИП		
10	ГГАО"Азимут"	Региональные геофизические, геоло- госъемочные, поисковые и геоэколо- гические исследования масштаба 1:50 000	Выполнены: гравиразведка, магниторазведка, электроразведка и литохимическая съемка на пл. 828 кв.км. (листы М-44-61-Б-б,г; 62-А-а,в; В-а,в; 73-Б-б; 74-А-а)		
11	АО "Центргеол- съемка"	Региональные геофизические, геоло- госъемочные, поисковые и геоэколо- гические исследования масштаба 1:50000	Выполнены: гравиразведка, магниторазведка, электроразведка и литохимическая съемка на пл. 1632 кв.км. (листы М-43-47-Б; 48-А,Б,В,Г)		
12	ТОО "Эком"	Радио-геоэкологические исследова- ния на территории полигона в пре- делах Карагандинской области (пл.1388кв.км.)	Охарактеризована общая картина радиационной об- становки (опробование проведено по сети 1х1 и 1,5х1,5км.)		

В целом перспективность территории СИП на обнаружение существующих ресурсов полезных ископаемых, положительный опыт эксплуатации месторождения угля Каражира, введенный в эксплуатацию ТОО «Дегелен» камнерезный завод, ориентированный на переработку местного сырья, завершение работ по составлению ТЭО по добыче золота на месторождении Найманжал ТОО «ФМЛ Казахстан» позволяют надеяться, что минеральносырьевые ресурсы Семипалатинского полигона в перспективе станут важным фактором развития экономики Восточно-Казахстанского региона.

Рациональное использование полезных ископаемых полигона может стать импульсом развития горнорудного производства в регионе и поможет обеспечить достижение тех экономических и социальных рубежей, которые намечены Президентом РК Назарбаевым Н. А. в стратегии развития Казахстана до 2030 года.

Семей полигонының минералды-шикі зат ресурстерін зерттеуінің конверсиялық, экологиялық және әлеуметтік аспектілері

¹⁾Тухватулин Ш.Т. ,²⁾Беляшова Н.Н.,²⁾Недбаев И.Н.

¹⁾ ҚР Ұлттық ядролық орталығы ²⁾ Геофизикалық зерттеу институты

Семей сынау полигонының жерлерінің өзгешілігіне қарамастан, бүл территорияда геология барлау жұмыстары мен минералды ресурстерінің қоры қанауына ықылас болып көрінеді.Алаңнын болашағы сынаулар басталмай-ақ белгілі болған.Қазіргі кезде полигонда бірнеше компаниялар жұмыс өткізеді. Қаражыра көмір кен орны қанауының жағымды тәжірибесі, тас кесу зауытында жергілікті габброны өңдеуі, Найманжал кен орнында алтын шығаруын дайындауы Семей полигонының минералды-шикі зат ресурстері болашақта Шығыс - Қазақстан аймағы экономикасың артыуна маңызды факторы болуына үміттендіреді.

Conversion, Ecological and Social Aspects of the Research on Mineral Resources at the Semipalatinsk Test Site

¹⁾Sh.T. Tukhvatulin, ²⁾N.N. Belyashova, ²⁾I.N. Nedbaev

¹⁾ National Nuclear Center of Republic Kazakhstan ²⁾ Institute of Geophysical Research

Despite the history of the Semipalatinsk Test Site in nuclear weapons testing, this territory is of interest for geologic exploration and utilization of mineral resources. The prospect for minerals on this territory was already known before the beginning of tests. Nowadays several companies work on the territory. Positive experience of using Kara-Zhila coal deposit, refinement of local gabbro at a stone-cutting plant, and preparation for gold mining at Naimanzhal deposit, allow us to hope that these mineral and raw material resources of the Semipalatinsk Test Site can become an important economic factor for development of the Eastern Kazakhstan region. УДК [550.31: 621.039,55] (574.4)

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Ергалиев Г.Х., Мясников А.К., Никитина О.И., Сергеева Л.В.

Институт геологии Министерства образования и науки Республики Казахстан

Приводится краткое геологическое описание територии Семипалатинского испытательного полигона. Отмечается ее недостаточная изученность, сообщается о новых данных по стратиграфии и геологии палеозойских отложений, полученных после прекращения подземных ядерных испытаний. Приводится перечень вопросов по стратиграфии, структурно-тектоническому и геологическому строению территории, требующих дополнительного изучения.

Территория Семипалатинского полигона в геологическом отношении изучена весьма слабо ввиду длительной ее недоступности для исследований. Сведения, полученные до 50-х годов (Высоцкий Н.К., Краснопольский А.Д., Колокольников Б.Б., Горнрстаев Н.Н. и др.), не отвечают современным требованиям. Выполненные более поздние съемки относятся к прилегающим территориям и не увязаны между собой [1,2,4,7,8,10,11]. В [5,6,9] приведены результаты современного геологического изучения полигона. Настоящая публикация продолжает описание этого изучения.

Территория Семипалатинского полигона расположена на стыке Чингиз-Тарбагатайской (каледонской) и Иртыш-Зайсанской (герцинской) структурно-формационных зон, отличающихся по геологическому строению и металлогении; их разделяет Калба-Чингизский глубинный разлом. В соответствии с современными геотектоническими палеоструктура Чингизконцепциями, Тарбагайской зоны развивалась как островодужная система Казахстанского палеоконтинента, который в палеозое являлся активной окраиной Палеоазиатского океана. Система состоит из трех террейнов -Аркалыкского, Чингизского и Акчатачского (последний - за пределами полигона), из которых второй - отвечает островодужному поднятию, а первый и третий - глубоководным околодужным бассейнам, расположенным симметрично относительно поднятия.

Чингизский террейн, обнажающийся в югозападной части полигона, представляет собой горстообразно приподнятый континентальный блок, служивший основанием вулканических построек островодужного типа. Формирование собственно островодужного поднятия с мелководными морскими бассейнами и набором терригенных и вулканических формаций шельфового ряда происходило с начала палеозоя, прерываясь в отдельные периоды затуханием вулканической активности, погружением бассейнов с образованием обстановок континентального склона и накоплением флишевых, вулканогенных и терригенно-кремнистых формаций.Эти процессы, развившиеся в основном в кембрии и ордовике, сменяются, начиная с силура, орогеническими преобразованиями, связанными, в свою очередь, с развитием субдукционных и коллизионных процессов. В них вовлекаются соседние террейны, что приводит к общему воздыманию территории, обмелению морских бассейнов (в силуре сохраняются лишь остаточные прогибы) и формированию краевого вулканического пояса в раннем-среднем девоне, когда накапливаются мощные толщи субаэральной базальт-андезитриолитовой формации. К концу девона Чингизский террейн становится пенепленезированной сушей с отдельными мелковидными эпиконтинентальными морскими бассейнами фамена.

Аркалыкский террейн, как и симметричный ему на юго-западе Акчатауский террейн, представляет собой примыкающий к Чингизской дуге околодужный прогиб, который являлся, вероятно, частью задугового бассейна, погружавшегося на северо-восток Он характеризуется почти непрерывной, последовательностью относительно глубоководных вулканогенных, кремнистых терригенных, реже - карбонатных формаций от нижнего кембрия до нижнего силура включительно. Для раннего палеозоя, особенно раннего и позднего кембрия, а также, возможно, раннего ордовика, характерны проявления подводного вулканизма, с которым связано формирование покровов пиллоулав яшмово-диабазовой (С1) и вулканогеннокремнистой (С3-О1-2) формаций раннеостроводужной стадии. Возможно, они развивались на коре океанического типа. В среднем и, особенно позднем, ордовике вулканическая деятельность связана с отдельными проявлениями андезито-базальтового (абаевская свита Шунайского синклинория) и андезитового (жартасская свита) вулканизма, более характерного для зрелой островодужной стадии. В Аркалыкской подзоне, так же, как и в Чингизской, эпизоды вулканической активизация и последующего орогенеза прерывались эпохами накопления мощных терригенных, в том числе, флишевых формаций, особенно в раннем-среднем кембрии и среднем ордовике. Раннесилурийские молассовые формации отражают общее воздымание территории в начале основной каледонской стадии орогенеза. В раннем-среднем девоне Аркалыкский террейн вместе с Чингизским становится частью краевого вулканического пояса, а, начиная с фамена, вслед за стадией орогенеза н денудации испытывает частичное погружение с образованием мелководных морских и субконтинентальных прогибов, в которых накапливаются маломощные терригенные и карбонатные фации.

Палеоструктуры Иртышгерцинской Зайсанской зоны развивались в области субокеанического палеобассейна, тяготеющего к активной окраине Сибирского палеоконтинента и в современной структуре представлены двумя террейнами – Жарма-Саурским – переходным и Западно-Калбинским - собственно океаническим, с фрагментами офиолитовой ассоциации Чарско-Горностасвского ультрабазитового пояса. В раннем палеозое Жарма-Саурский террейн, повидимому, являлся областью глубоководного околодужного бассейна, связанного с Чингиз-Тарбагатайской островной дугой и подвергшегося орогенезу вслед за Аркалыкским террейном. В раннем-среднем девоне он являлся частью краевого вулканического пояса, с которым связаны выходы риолитовой формации в его юго-западной части, прилегающей к Калба-Чннгизской зоне разломов. Начиная с позднего девона, на герцинской стадии тектонической активизации террейн испытывает частичное резкое погружение на северо-востоке, и в обстановках континентального склона и его подножия формируются преимущественно турбидитные отложения кремнисто-вулканогенно-терригенной формации фаменско-турнейского возраста. В раннем и частично среднем карбоне эта область испытывает относительную стабилизацию, и на этом этапе существуют мелководные морские бассейны с преимущественно терригенным осадконакоплением. Начиная со среднего карбона развивается основная стадия орогенеза, когда происходит становление верхнепалеозойского вулканогенного пояса, отмеченное накоплением контрастного ряда вулканогенных формаций от андезнто-базальтовой (С2-3) до риолитовой (P₁) и трахибазальтовой (P₂-T).

Западно - Калбинский террейн на территории полигона почти не имеет выходов на поверхность палеозойских отложений. По данным большинства исследователей, он развивался как глубоководный герцинский субокеанический бассейн со спилит-кератофировой и офиолитовой формациями на стадии спрединга, преимущественно карбонатными отложениями в девонское время, вулканической активизацией в позднем девоне и терригеннофлишоидными прогибами и мелководными морскими бассейнами в раннем-среднем карбоне, на коллизионной и постколлизионной стадиях. В геологическом строении полигона принимают участие образования *верхнего докембрия и всех систем фанерозоя.* С рядом формаций связаны продуктивные (на полезные ископаемые) стратиграфические уровни.

Верхний докембрий представлен тремя толщами: порфиритов и порфиритоидов, сланцев, микрокварцитов, развитых в Чингизской подзоне (г. Муржик).

Кембрийская система представлена в Чингизской подзоне вулканогенно-терригенной толщей условно \mathcal{C}_{1-2} , в Аркалыкской подзоне – балкыбекской (вулканогенной), едрейской (терригенной) свитами \mathcal{C}_1 , терригенной толщей (бывшая коксенгирская свита) \mathcal{C}_{1-2} , чингизтауской (терригенной) свитой \mathcal{C}_2 , карбонатной \mathcal{C}_{2-3} и вулканогеннокремнистой \mathcal{C}_3 толщами.

Балкыбексквя свита ε_1 - сложена преимущественно вулканогенными образованием основного ряда от диабазов и андезито-базальтов до андезитов, с подчиненным объемом кремнистых и терригенных фаций. Она относится к яшмоводиабазовой раннеостроводужной формации, а по петрохимическому составу вулканитов - к трахибазальтовой (по В.С.Звонцову, 1991) формация. По условиям образования отвечает глубоководному субокеаническому бассейну с подводными вулканическими постройками. С ней связан коскудукстратоуровень колчеданноский полиметаллического оруденения (месторождение Коскулук).

Едрейская свита C_1 - а терригеннам толща C_{1-2} сложены в основном терригенными фациями и выделены в единую терригенную формацию регрессивного характера, с преобладающими мелкозернистыми разностями в нижний части (едрейская свита - песчаники, алевролиты, оолитовые известняки) и более грубозернистую в верхней части (гравелиты, конгломераты, литокластические туфы, горизонты андезитовых порфиритов); в терригенной толще. По условиям образования они отвечают обстановкам внешнего шельфа и склона с каньонамн и авандельтами. Органические остатки представлены беззамковыми брахиоподами в терригенной толще.

Чингизтауская свита ε_2 относится к терригенной флишевой формации и представлена ритмичной толщей песчаников, алевролитов, гравелитов, конгломерагов, линзами известняков. Из органических остатков известны трилобиты майского возраста. Условия образования отвечают обстановкам континентального склона с подводными шлейфами и конусами выноса. Взаимоотношения с выше- и нижележащими кембрийскими формациями не установлены.

Карбонатная толща С₂₋₃ выделяется впервые. Отличается однородным составом и мощностью (около 200 м) и отвечает карбонатной формации. Это преимущественно оолиговые н водорослевые известняки с прослоями глинистых комковатых известняков у подошвы. Выходы ее почти непрерывно прослеживаются на большом расстоянии (порядка 100 км). Залегает предположительно в едином разрезе с терригенной толщей C_2^1 . Органические остатки (трилобиты, беззамковые брахиоподы, водоросли) в основном неопределимые из-за высокой степени метаморфизма, часто до фации мраморов, которые могут представлять практический интерес. Взаимоотношения с вышележащими отложениями достоверно не установлены. Возможно, данная толща согласно перекрывается вулканогенно-кремнистой формацией C_3 - O_2 .

Верхний кембрий, нижний- низы среднего ордовика представлен вулканогенно-кремнистой формацией, объединяющей вулканогеннокремнистую толщу С3 и найманжальскую свиту О1-2. Вулканиты основного-среднего состава (спилиты, андезито-базальты, андезиты, реже дациты н разнообразные туфы) присутствуют, главным образом, в составе первой, где чередуются с горизонтами черных и серых франитов, сургучных яшм и реже граувакковых терригенных фаций. Найманжалъская свита, сложена преимущественно кремнистыми разностями серыми:, розовыми, бурыми (до белых) силицитами, бурыми яшмами, микрокварцитами. В серо-черных кремнях вулканогеннокремнистой толщи встречены позднекембрийские конодонты, а в найманжальской свите - конодонты ордовика (аренига раннего лланвирна.) По условиям образования данная формация отвечает, скорее всего, обстановкам открытого глубоководного бассейна с вулканнческими постройками преимущественно ранне-островодужного подводного типа. По степени распространения эта формация, особенно найманжальская свита играет главенствующую роль в северо-восточной части Аркалыкского террейна. Мощность ее кремнистой части вероятно не превышает 200-400 м, а ширина выходов резко увеличивается за счет сложно-складчатого, возможно шарьяжного строения.

Ордовикские отложения Аркалыкской подзоны представлены существенно кремнистой найманжальской свитой $(O_{1,2}nm),$ вулканогеннотерригенной тайгынской $(O_2 tg)$, терригеннофлишоилной карагачской (O2kr) и вулканогенной жартасской (O₃gt) свитами. В Чингизской подзоне на ранний и часть среднего ордовика приходится перерыв, карадокский ярус среднего ордовика представлен вулканогенно-терригенной бестамакской свитой с рифогенными известняками (O₂bt) и терригенно-флишоидной саргалдакской свитой (O₂sg), а верхний ордовик - мелководными терригенно-вулканогенными талдыбойской (O₃td) и намасской (О₃nm) свитами.

Бестамакская свита O_2 - в низах свиты значительную роль играют карбонатные отложения, относится к карбонатно-туфо-терригенной форма-

ции и в основном сложена вулканомиктовыми терригенными фациями: конгломератами, осадочными брекчиями (микститами), песчаниками, алевролитами и литокластическими туфами среднего основного состава. Залегает трансгрессивно на кембрийских отложениях и до среднеордовикских интрузиях, или на вулканитах абаевской свиты. В известняках содержится богатая и разнообразная фауна: брахиоподы, трилобиты, остракоды, криноидеи и лр. Фациальный комплекс отложений и положение в ряду выше- и нижележащих формаций указывает на условия формирования в обстановке узкого, тектонически подвижного шельфа и его склона, с резко расчлененным рельефом. Возраст бестамакской свиты по комплексу органики определяется как лландейло-раннекарадокский. Общая мощность 1500-2000 м.

Саргалдакская свита О2 представлена терригенной флишоидной формацией и связана постепенными переходами с бестамакской свитой и трансгрессивными взаимоотношениями: (за пределами полигона) с более древними отложениями. Фациальный состав весьма однородный. Это преимущественно терригенные гравитационные ритмиты (турбидиты) сформировавшиеся в условиях подвижного внешнего шельфа с авандельтами н каньонами и островного склона островодужных бассейнов. Это зеленоцветные алевролиты, песчаники и конгломераты с редкими линзующимися прослоями известняков, часто с градационной слоис-тостью. Возраст свиты определяется как среднеордовикский (карадокский). Общая мощность ее около 1400 м.

Талдыбойская и намасская свиты О3 относятся к терригенно-вулканогенной формаций, и имеющей облик вулканогенной молассы. Талдыбайская свита сложена мелководными терригенными фациями вулканомиктового состава - песчаниками, алевролитами, туфоалевролитами, с подчиненными горизонтами туфов среднего состава и известняков. Верхняя часть формации (намасская свита) связана постепенными: переходами с нижней и характеризуется появлением мощных пачек вулканитов андезитов, андезито - базальтов, реже базальтов, иногда - дацитов, а также туфов и туфоконгломератов. Комплексы органических остатков, обнаруженных в известняках талдыбойской и намасской свит, (трилобиты, брахиоподы, кораллы) указывают на позднеордовикский (ашгиллский) возраст отложений. Фациальный состав указывает на формирование в условиях подвижного мелководного шельфа с расчлененным рельефом вблизи вулканических построек- Вулканогенные образования намасской свиты относятся к трахибазальттрахиандезитовой формации. Большая общая мощность формации (порядка 5000 м) указывает на высокую скорость осадконакопления, связанную с интенсивной вулканической деятельностью.

В Аркалыкской подзоне ордовикские отложения имеют следующий состав:

Тайгынская свита О2 представлена преимущественно терригенными грубообломочными фалдами: конгломератами, песчаниками, алевролитами, яшмовидными алевролитами, относится к вулканогенно-терригенной формации. В резко подчиненном количестве встречаются вулканогенные образования - прослои лав и туфов андезитового состава. Взаимоотошения с ниже н вышележащими отложениями достоверно не установлены. Редкие органические остатки (брахиоподы), известные за пределами, полигона и отчасти определяющие среднеордовикский возраст отложений, указывают на мелководный характер условий обитания. По фациальному составу отложений, можно предполагать, что они образованы в обстановке мелководного шельфа околодужиого бассейна с резко расчлененным рельефом. Мощность ее порядка 2.000 м.

Карагачская свита О2 относится к терригенной флишоидной формации и имеет особенно широкое распространение на юго-восток от территории полигона. Фациальный состав весьма однородный -это зеленоцветные терригенные ритмиты (турбидиты и контуриты,. песчаники и алевролиты, являющиеся отложениями гравитационных потоков и сформированные в глубоководной зоне околодужного бассейна, у подножья островных склонов в виде присклоновых конусов выноса. Органические остатки очень редки и представлены только граптолитами пландейльского возраста. Взаимоотношения с нижележатщими отложениями не установлены. Возможно, это глубоководный аналог тангынской свиты. Видимая мощность формации в пределах полигона, где она обнажается лишь в небольших тектонических блоках, не превышает нескольких сотен метров, но на юго-восточном продолжении Аркалыкской подзоны она достигает 2200 м. Жартасская свита Оз завершает последовательность ордовикских отложений Аркалыкской подзоны и соответствует началу позднекаледонского этапа развития района. Она представлена вулканогенной формацией (вулканогенной молассой) и имеет согласные взаимоотношения с мелководной терригенной формацией среднего ордовика (тайгынской свитой) и транстрессивные - с более древними отложениями. В ее составе преобладают вулканиты, от трахибазальтов до трахиандезитов н андезитодацитов (трахиандезит-трахибазльтовая вулканическая формация), среди которых, в свою очередь, господствуют разнообразные туфы особенно валунные агломератовые, а также, туфоконгломераты. Терригенные фации присутствуют в подчиненном количестве из органических остатков в известняках встречаются брахиоподы и криноидеи обычные для мелководных шельфовых фаций и указывающие на их раннеашгиллский возраст. Фациальный состав указывает на тесную связь с наземными вулканическими постройками н условия мелководного шельфа с резко расчлененным рельефом и мелкими биогермами. Общая мощность отложений до 1800 м в пределах полигона и более 2.200м - на юго-восточном продолжении подзоны.

Силурийские отложения в Чингизской подзоне не известны, а в Аркалыкской широко развита мелководная терригенная моласса – доненжальская свита (S₁dn). Девон в обеих подзонах, а также в части Жарма-Саурской подзоны представлен преимущественно вулканогенными образованиями, включающими базальт-андезитобазальтовую толщу (D₁) и контрастную риолитовую машанскую свиту (D₁₋₂).

Дуненжальская свита верхнего лландоверивенлока залегает трансгрессивно на жартасской свите и более древних отложениях выделена в карбонатно-вулканогенно-терригеную формацию. Фациальная последовательность в целом регрессивная - от алевролитов и органогенных известняков в нижней части разреза до пестроцветных вуаканомиктовых и полимиктовых конгломератов в верхней части. Из органических остатков известны в основном брахноподы и кораллы, типичные для мелководных шельфовых фаций и биогермных построек. Все особенности: формации указывают на условия мелководных остаточных бассейнов.

Девонскими вулканогенными формациями (D₁₋₂,) завершается каледонский этаж Чингиз-Тарбагатайской складчатой области. Они отвечают стадии коллизии и обмеления островодужных бассейнов, выразившейся в образования обширной, но весьма подвижной и неустойчивой островной кордильеры (микроконтинента) с большими участками суши, наземными вулканическими постройками и мелководными субконтинентальными бассейнами в составе девонского вулканического пояса.

Базальт-андезитобазальтовая толща D₁ Аркалыкской подзоны, выделенная В.М.Шужановым в 1996 г., по возрасту отвечает почти всему нижнему девону (кроме верхов эмского яруса). Залегает с резким угловым несогласием и базальными конгломератами на додевонских отложениях. В ее составе основная роль принадлежит вулканогенным образованиям эндезито-базальтам, различным туфам, лавобрекчиям, субвулканическим телам диабазового, трахиандезитового и риолитового состава. Подчмненную роль играют вулканомиктовые терригенные фракции, преимущественно грубообломочные красноцветные. Эта тольща отнесена, к вулканогенной базальт - андезитовой формации. Возраст ее определяется по корреляции с айгыржальской свитой Предчингизья. Мощность порядка 1000 м.

Машанская свита (D_{1-2}) представленная вулканогенной риолитовой формацией, имеет широкое распространение как в Чингизском и Аркалыкском так и в Жарма-Саурском террейнах. В составе ее основная роль принадлежит континентаильным эффузивно-пирокластическим образованиям н подчиненная - вулканогенно-осадочным. Вулканические и субвулканические фации отличаются весьма пестрым составам - от трахириолитового., риодацитового, дацитового до трахибазальтового. В Аркалыкском террейне выделяются две вулканические структуры -линейная трещинного типа и Дегеленская кольцевая. В последней хорошо прослеживаются две толщи вулканитов, нижняя. - трахибазальтового состава и верхняя - трахириолитового. Осадочные фации представлены маломощными пачками красноцветных туфопесчаников, туфоалевролитов, туффитов, редкими линзами известковистых фауной кораллов остатками мелких биогермных построек. Это преимущественно континентальные фации дельт, и лишь в незначительном объеме прибрежно-морские (литоральные). Видимая общая мощность около 550м. Пространственные взаимоотношения риолитовой формации с нижнедевонской базальт-андезито-базальтовой не установлены. Возможно, они частично одновозрастны. Машанская свита с резким несогласием залегает на ордовикских образования и также несогласно перекрывается мелководными морскими фаменскими отложениями. Таким образом, в данном районе на живет-франское время приходятся значительный перерыв в осадконакоплении, связанный со структурной перестройкой, формированием обширных участков суши, которые лишь в поздневизейское время были отчасти вовлечены в образование обширных морских бассейнов герцинского этапа тектонической активизации. С машанской свитой, связан коктобинский рудоносный медно-колчеданный стратоуровень.

Фаменские отложения в – Чингизской, и фамен-каменноугольные - в Аркалыкской подзонах относятся уже к герцинскому структурному этажу и слагают мелкие заложенные мульды. Представлены органогенными известняками, содержащими в разном количестве терригенный материал. В пределах Аркалыкской подзоны они образуют единую карбонатно-терригенную формацию с отложениями нижнего карбона до нижнего визе ключительно. Эта формация является первым этапом обширной фаменско-раннекаменноугольной трансгресии, широко проявленной на территории Казахстана. В основании ее лежат окремненные и глинистые известняки фаций внутренней зоны шельфа, которые постепенно, по мере развития трансгрессивного цикла, н на его пике переходят в фации внешней зоны шельфа. Заключительный период формирования формации приходится на начало раннего визе. Мощность ее от 100 до 500 м. К ней приурочены два рудоносных стратоуровня - муржикский в Чингизской подзоне (Te Mn) и :каражальский в Аркалыкской редкометальный скарновый).В Жарма-Саурской подзоне к верхнему девону (фамену ?) относится нижняя часть вулканогенно-кремнистой-терригенной толщи D₃ fm. -C₁ t, представленная пачками сургучных железистых яшм и микрокварцитов с конодонтами фаменского возраста. Яшмово-кремнистая пачка залегает в едином разрезе с турбидитами вулканогеннотерригенной зеленоцветной толщи, к которой приурочен Балтемирский стратоуровень - золотополиметалического оруденения. В целом фаментурнейские отложения образуют здесь единую формацию, которая по условиям образования относится к склоновым и склоноподошвенным фациям окраины, открытого глубоководного субокеанического палеобассейна. В районе месторождения Балтемир часть этой толщи, непосредственно вмещающая рудную зону, ранее нами: датировалась условно как серпуховская (верхи нижнего карбона), а другая часть ее, на юго-западном фланге лицензионной площади некоторыми исследователями относилась к нижнему палеозою. По последним данным в составе отложений, ранее относившихся к терригенной толще C1 s, преобладают глубоководные фации, не типичные для серпуховских отложении: Жарма-Саурской подзоны. В целом это подводно-склоновые фации зерновых и дебристых потоков, турбидиты, кремнистые турбидиты, контуриты (?), переходящие в глубоководные фации открытого бассейна - бурые, железистые яшмы к полосчатые пестро окрашенные кремни с конодонтами, радиоляриями и спикулами губок. Фации зерновых и дебристых потоков (подводных русел:, каньонов, проксимальных частей подводных конусов выноса) представлены зеленовато-серыми несортированными грубозернистыми до гравелистых песчаниками, конгломерато-брекчиями, состоящими из неокатанных и полуокатанных обломков желтовато-серых кремнистых алевролитов, туффитов (?), песчаников, бурых и бирюзовых кремней, порфиритов и туфов среднего и основного состава. С ними ритмично чередуются серо-зеленые н желтовато-серые мелкозернистые песчаники, алевролиты (часто с градационной слоистостью н атаками ряби течения (турбидиты и, возможно, контуриты). Одним из наиболее характерных элементов этой толщи являются пестроцветные полосчатые кремнистые турбидиты (ритмиты), представленные тонким (0,5 - 3 см) чередование кварцполимиктовых мелкозернистых песчаников с градационной слоистостью (0,1 - 1,5 см) в основании ритмов н ярко окрашенных вишневых н зеленоцветных (до бирюзовых) кремнистых алевролитов, аргиллитов, яшм и кремней (0,1-1,0 см). Верхние элементы ритмов (кремни, аргиллиты) часто имеют волнистую, косую слоистость и завершаются неровной поверхностью размыва. Соответственно песчаные элементы оснований ритмов имеют неровную подошву. Часвстречаются мелкие складки то подводнооползневого характера. Основной внешней характерной чертой кремнистых туфбидитов является их ярко выраженная тонкая ленточная полосчатость и яркая пестрая окраска. Это, скорее всего, присклоновые фации дистальных частей конусов выноса и открытого глубоководного бассейна. Мощность наблюдавшихся пестроцветных пачек от 1,5 до 10-12м. Пока остается неясным вопрос о роли вулканогенного материала в составе описываемой толщи. Можно лишь отметить, что вблизи рудоносной
зоны месторождения наблюдаются силлоподобные тела темно-зеленых диабазов и андезитов и туфы среднего-основного состава, но их изучение затрудняется очень плохой обнаженностью. Подобные же образования отмечаются к югу от гор Коския и в горах Сарыадыр. Там они сопровождаются грубообломочными, часто валунными несортированными вулканомиктовыми туфоконгломератами и конголомерато-брекчиями, в которых преобладают обломки различных темно-окрашенных и бирюзовых туфо-алевролитов. Возраст вулканогеннокремнисто -терригенной толщи D₃ -C₁ косвенно подтверждается редкими находками фауны криноидей мшанок и брахиопод в грубозернистых песчаниках по юго-западной периферии Лицензионной площади месторождения. В целом для глубоководных отложений склоновых фаций присутствие органических остатков не характерно, чем и объясняется их крайне редкая встречаемость. Найденные формы представлены обломками, которые, скорее всего, были перемещены из зоны мелководного шельфа гравитационными потоками, но являются практически одновозрастными с вмещающими породами:.

Описываемая толща вероятно может коррелироваться с карабайской свитой D₃ -C₁t, которая, по данным И.Ф Кудинова (1988г.), С.Н. Воронцова (1993г.), развита на юго-восточном продолжении Жарма-Саурской подзоны И в Западоно-Калбинской подзоне. В Западно-Калбинской подзоне девонские формации изучены крайне слабо, т.к. не имеют выходов на поверхность и выделяются по материалам бурения под чехлом рыхлых отложений. К ним относятся две условно выделенные карбонатные толщи: нижне-среднедевонская и живет-франская, заключенные в серпентинитовом меланже - вероятно, в виде олистолитов и олистоплах. Они представлены мраморизованными органогенными известняками с фауной криноидей, мшанок и кораллов. С ними пространственно связаны яшмоиды, фтаниты и базальты, являющиеся также фрагментами меланжа и, скорее всего, формационно не связанные с известняками. По этим скудным данным можно лишь заключить, что в герцинской Западно-Калбинской подзоне в дофаменское время формировались морские карбонатные фации, образующие, возможно, единую карбонатную формацию. Видимая мощность ее около 1500 м. В позднем девоне - раннем карбоне здесь формируются глубоководные кремнисто-вулканогенные осадки - карабайская свита D₃ -C₁.

Каменноугольные отложения на территории полигона пользуются широким распространением, главным образом, в пределах Жарма-Саурской подзоны. В Аркалыкской они, как уже отмечалось, образуют единую последовательность с фаменскими и объединены с ними в карбонатнотерригенную мелководно-шельфовую формацию D_3 fm-C₁t. В Западно--Калбинской подзоне они установлены в основном по скважинам.

Каяндинская $(C_1 t)$ и коконьская (C_1-v_1) свиты и низы аркалыкской (С1 v2) свиты нижнего карбона вместе образуют кремнисто-вулканогеннотерригенную формацию. Для кояндинской характеры сероцветные терригенные отложения (песчаники, гравелиты) с прослоями мергелей и кремнистых алевролитов, с фауной брахиопод, мшанок. Для коконьской свиты, так же, как и для низов аркалыкской, характерно присутствие лав и туфов среднего- основного состава среди терригенных пород. В более карбонатных частях разреза содержится ракушняковая фауна и остатки флоры, которые свидетельствуют о весьма мелководных, часто субаэральных условиях осадконакопления прибрежной зоны шельфа. В целом формация отвечает начальному этапу коллизии и орогенеза в Иртыш-Зайсанском субокеаническом палеобассейне. Мощность ее 500-1500м. В Западно-Калбинской подзоне ей соответствует терригенно-флишоидная формация, представленая аркалыкской свитой (С₁v₁₋₂), которая здесь развита наиболее полно н имеет два типа разрезов -флишоидный с биогермными известняками н олистостромовый, в целом большой (более 3000м) мощности. Это типичный представитель гравитационной формации континентального склона, и подножья, для которого характерны подводно-оползневые фации, шлейфы и конуса выноса в условиях сильно расчлененного рельефа. С аркалыкской свитой связан суздальский продуктивный стратоуровень золото колчеданной формации.

Сиректасская (C_1 s) свита в нижней части содержит горизонты лав и туфов андезитов и андезито-базальтов среди разнозернистых терригенных пород с остатками спор и пыльцы серпуховского возраста. В верхней части свита сложена сероцветнымн полимиктовыми песчаниками и алевролитами с флорой серпуховского и фауной брахиопод предположительно среднекаменноугольного возраста, которые перекрываются черно-слацевыми углистыми фациями. Эти отложения выделены как вулканогено-терригенная (углистая) формация ранне-коллизионной стадии. Мощность ее в целом более 3000 м. К ней приурочен жананский стратоуровень гидротермально-метасоматического типа золото-колчеданной формации. В Западно-Калбинской подзоне ей соответствует флишоидная формация терригенных турбидитов с элементами углистых разностей и известняков, так же как и аркалыкская свита, типичная для континентального склона.

Буконьская свита. $(C_2 bk)$ низов среднего карбона (башкирского яруса) представлена преимущественно грубозернистыми терригенными фациями в обеих подзонах -Жарма-Саурской и Западно-Калбииской и образуют единую для них конгломерат-песчаниковую формацию, типичную для весьма, мелководных и субаэральных обстановок в прибрежно-шельфовой зоне. Для нее характерна фауна пелеципод, как наиболее мелководная из ракушняковой. Мощность ее до 2000 м. Формация характеризует начало последней стадии орогенеза на коллизионном этапе развита палеобассейна н сменяется континентальными вулканогенными формациями верхнего палеозоя на этапе формирования краевого вулканического пояса. К буконьской свите приурочен кемпирский стратоуровень золото-колчеданной минерализации.

Верхнепалеозойские отложения развиты лишь в Жарма-Саурской подзоне и представлены рядом орогенных свит.

Андезит-базальтовая толща (С2-3). Ей соответствует бывшая «пестроцветная толща» майтюбинской свиты. Она развита в ряде локальных вулканических структур и сложена преимущественно андезибазальтовыми лавами с редкими прослоями лавобрекчий литокристаллокластических туфов того же состава, доминируют породы с содержанием SiO₂ 53-55% и суммой оксидов натрия и калия от 4,7 до 6,6 % при преобладании натрия. На диаграмме магматических пород в координатах SiO₂ (Na₂ O+K₂ O) андезибазальты расположены в области нормальных на границе с субщелочными разностями. В Жананской структуре в составе толщи заметную роль приобретают песчаники и гравелиты, среди которых залегает довольно выдержанный иногда расщепляющийся пласт пелитоморфных мергелистых известняков мощностью 12-25м и протяженностью около 17км. Конгломераты, песчаники, гравелиты образуют как маломощные (1-5м) пласты, так и пачки до 50-100 м. В общем толща отвечает андезит-базальтовой формации, а в структурах, где терригенные породы составляют более 7-10 % объема толщи, формацию следует относить к терригенно-вулканогенной. Мощностъ 300-500, редко до 800 м. Средне-позднекаменноугольный возраст ее определяется положением в разрезе. Она лежит на буконьской свите С₂ и перекрыта с размывом нижнепермскими отложениями.

Терригенная сероиветная толша (P_1) развита локально и обнажается в районе оз. Борлысор, севернее озер Кумколь и Ойнаксор, юго-западнее оз. Меденколь и у оз. Акбота. Почти повсюду в основании ее присутствуют разногалечные конгломераты (от первых и 7Х0 десятков м) зелено-серые, пестрые, иногда с лиловым и фиолетовым оттенками. Выше по разрезу они переслаиваются с песчаниками и гравелитами. Затем в одних структурах (район оз. Кумколь, Акбота) породы сменяются более мелкозернистыми разностями с прослоями алевролитов, алевропелитов в том числе углистых с линзовидными прослоями угля (мощностью 0,5 до 2м). Такой тип разреза отвечает угленосной терригенной формации с фациями аллювиально -озерных равнин с периодическим развитием болот. В угленосных породах флора указывает на раннепермский возраст, а споры и пыльца из верхних углей даже Р₂ и Р₂-Т₁. В районе оз. Борлысор и югозападнее оз. Меденколь в составе толщи преобладают вулканические породы - литокристаллокластические и пепловые туфы с прослоями игнимбритово риолитового состава. Здесь формация вулканогенно терригенная. Вопрос одновозрастности обеих типов формаций однозначно не установлен. Не исключен вариант позднекаменноугольного возраста вулканогенно-терригенных образований и ранне-пермского (P₁₋₂) возраста для Кумкольских угленостных формаций, входящих в южную часть Прииртышской угленосной провинции.

Риолитовая толща (Р1). Толща туфов и игнимбритов существенно риолитового состава развита севернее и западнее оз. Айбас на площади свыше 300 км². Она залегает на андезибазальтах С₂₋ 3 и перекрыта верхнепермскими базальтами. Прямых соотношений с вулканогенно-терригенной формаций не установлено, но по косвенным данным она залегает выше. В составе толщи преобладают светло-серые и белесые литокристаллокластические риолитовые, реже дацитовые туфы с прослоями сиреневатых, буроватых, красноватокоричневых игнимбритов и игниспумитов того же состава. В районе Майского месторождения агатов (в 10 вд1. западнее оз. Айбас) в нижний частя толщи среди перестаивающихся туфов и игнимбритов риолитового и риодацитового состава широко развиты сферолоидные разности. По вулканитам до глубины нескольких метров развита каолинитовая кора выветривания; в которой сохранились литоидные сферолоиды. Строение их зональное. Внешняя часть сложена красновато-коричневой полустекловатой лавой риолитового состава (SiO₂ 76,22%) с редкими чешуйками свежего биотита и вкрапленниками полевых шпатов, затем следуют полосы 1-2 см шириной коричневого, светло н голубоватосерого халцедона, местами опала, а центральная часть жеод нередко выполнена друзовидным и гребенчатым полупрозрачным н прозрачным кварцем. Размер сферолоидов - жеод от первых см до 1.5-2.0, а иногда до 40-60 см. Наряду с полосчатами агатами очень редко встречается благородный опал. На этом же уровне расположены маломощные (до 1-2 м) линзовидные обособления почти черных витрофиров, крупные промышленные скопления которых известны в более молодых - триасовых вулканитах в Семейтауском массиве. По химическому составу породы колеблются от дацитов и риодацитов до риолитов утракислого состава (SiO₂ до 76-79%) и соответствуют риолитовой формации. По щелочности породы нормального ряда, обычно с преобладанием калиевой составляющей и на диаграмме SiO₂ (Na₂ O+K₂O) тяготеют к границе распространения риолитов с трахириолитами, лишь в единичных случаях располагаясь в поле трахириолитов. По составу и, особенно по наличию некоторые витрофиров, исследователи сопоставляют риолитовую толщу с семейтауской T₁. Однако, соотношение свитой ee с верхнепермскими базальтами указывает на наиболее вероятный раннепермский возраст. Мощность формации 300-800 м.

Айбасская, трахибазальтовая свита (P_2). Свита развита, в районе оз. Айбас, откуда в юговосточном направлении протягивается почти непрерывной полосой 1-3 км на расстояние свыше 30 км к оз. Айбас. Она сложена темно-серыми, темными красновато-коричневыми трахибазальтами, обычно миндалекаменными. В породе присутствует анальцин (до 5-10%), темноцветные представлены оливином и моноклинным пироксеном. Оливиновые базальты в районе оз. Айбас отмечала еще К.А.Рачковская (1948 г), но считала их силурийскими. В 1996 г. А.К.Мясников толщу базальтов выделял в айбасскую свиту P_2 .

По химическому составу среда вулканитов преобладают порода базальтового и андезибазальтового состава, реже встречаются горизонты андезитов. По наличию нешироких закрытых интервалов между коренными грядами силлопотоков вулканитов можно предполагать присутствие в разрезе терригенных (вулканомиктовых) разностей, но доля их в общем объеме формации невелика. На диаграмме SiO₂ -(Na₂O+K₂O) все вулканиты попадают в область пород повышенной щелочности: субщелочных и трахибазальтов и во всех случаях характеризуются натровым уклоном (отношение Na₂O и К₂О больше 1, нередко достигает значения 2-3), т.е. свита отвечает трахибазальтовой формации. Базальты повсеместно миндалекаменные; местами на поверхности от препарированные миндалины образуют россыпи площадью до несколько сотен м². Размер миндалин варьирует от первых или до 3-5 см и более (отдельные жеоды до 15-2.5 см в поперечнике). Они выполнены светло-серым, белым, пепельно-серым, голубоватым очень тонкополосчатым халцедоном-агатом; изредко в центре жеод встречаются хрусталь и аметистовый кварц. Наиболее перспективны для поисков сырья участки развития миндалекаменых базальтов,- обнажающихся из-под юрских отложений галька базальных слоев в таких местах состоит почти целиком из халцелонов и опалов.

Позднепермский возраст формации обоснован положением в разрезе: непосредственно под базальтами в вулканогенно-терригенных отложениях найдена флора P_1 (P_2 ?), а перекрыта она шандыкольской свитой P_2 . Мощность 100-500 м.

Шандыкольская свита (P_2). Эта свита, венчает верхнепалеозойский орогенный комплекс. Она развита в районе оз. Шандыколь (по нему и названа свита) на площади около 15 км² и залегает без видимого несогласия, но с размывом на верхнепермских базальтах. Низы представлены довольно мощной (не менее 150-200- м) пачкой бурых, вишневосерых (красноцветных) разногалечных до валунных конгломератов, переслаивающихся с песчаниками и гравелитами. Верхняя часть разреза, сероцветная, - это светло-, желтовато- и зеленовато-серые песчинки с прослоями (до 10-15м) алевролитов с флорой P_2 . Мощность около 1000 м. По составу свиту

можно сопоставлять с конгломерат-песчаниковой формацией.

Мезозойские отложения распространены ограниченно и представлены вулканогенной *семейтауской свитой* (T_lsm), и мощными угленосными толщами нижней и средней юры.

Почти по всей территории на палеозойском фундаменте развиты линейные, площадные и линейно-площадные *коры выветривания* мощностью до 100 и более метров, как правило, сложного состава, обычно перекрытые маломощным чехлом неоген-четвертичных отложений. Возраст их от позднетриасового до позднепалеогенового. С ними связаны проявления полезных ископаемых на ряде месторождений (Балтемир, Юбилейное и др.).

Интрузивные образования на территории полигона широко развиты и представлены целым рядом комплексов: позднерифейским плагиогранитовым (plyR₂?), чаганским гранодиоритовым (O_1) , сарыкольским габбро-гранодиоритовым (D₁₋₂), кызылобинским граносиенитовым (D₂), чингизским гранит-лейкогранитовым (D₃), сауранским габбродиорит-гранодиоритовым (С1) шангирауским диорит-гранодиоритовым (С2-3), максутским габбронорит-диоритовым (С2-3) и группой постколлизионных орогенных гранитоидных формаций пермского возраста. Это жамантауский (Р1), эспинский (Р2), кандыгатайский (Р₂), тлеумбетский (Р₂), керегетасэспинский (Р₂) комплексы, а также буранский и преображенский комплексы гранитграносиенитовой формации (Р2) в Западно-Калбинской зоне.

Таким образом, для территории Семипалатинского полигона проведен анализ формационных типов отложений по вещественному составу и предполагаемым условиям образования, выделены формационные ряды по всем структурноформационным подзонам. Выделены и охарактеризованы стратиграфические уровни, к которым приурочены проявления полезных ископаемых: коскудукский, байтемирский, найманжальский, коктобинский, муржикский, каражальский, балтемирский, суздальский, жананский, кемпирский, кумкольский, майский и айбасский.В процессе полевых исследований, проведенных в последние годы, получены новые данные по целому ряду проблем стратиграфии и геологического строения палеозойских отложений на территории полигона [5,6,9]. Так, новые материалы, полученные в процессе геолого-съемочных работ в районе месторождения Балтемир, позволили пересмотреть прежние представления о составе, возрасте и формационной принадлежности отложений, вмещающих рудоносные структуры в зонах вязких разломов. Эти отложения представлены единой толщей глубоководных склоновых и склоноподошвенных фаций, среди которых значительная роль принадлежит кремнистым разностям, турбидитам и вулканитам среднего-основного состава. Кремнистые фации охарактеризованы конодонтами верхнего девона, а турбидиты и туфы – ракушняковой фауной фаментурнейского возраста. Выделенная толща коррелируется с карабайской свитой (D₃fm-C₁t) Западно-Калбинской подзоны.

Однако в изученности геологического строения территории полигона остается достаточно много вопросов, требующих дополнительных исследований. Кратко они сводятся к следующему:

- Необходимо уточнить возраст и стратиграфическое положение вновь выделенной карбонатной толщи, условно отнесенной к среднему – верхнему кембрию.
- Необходимо уточнить литостратиграфическую принадлежность отложений, отнесенных к балкыбекской свите €₁, которая под таким названием ранее выделена в Акчатауской подзоне югозападного Предчингизья.
- Остаются неясными возраст нижней границы найманжальской свиты O₁₋₂ и взаимоотношение с вулканогенно-кремнистой верхнекембрийской толщей (возможно, они связаны постепенным переходом). Необходимы дальнейшие поиски фауны конодонтов.
- Не решен вопрос о выделении вулканогенной абаевской свиты среднего ордовика Шунайского синклинория в пределах полигона, т.к. здесь пока не найдены органические остатки. Необходимы дополнительные исследования.
- 5. Тайгынская и карагачская свита среднего ордовика остаются в целом слабо изученными. Необхо-

димы полевые исследования с поисками фауны и детальным изучением разрезов.

- Девонские, особенно верхнедевонские, отложения недостаточно изучены на территории Жарма-Саурской подзоны. Это касается и вновь выделенной вулканогенно-кремнисто-терригенной толщи D₃-C₁t в районе месторождения Балтемир, ранее отнесенной к серпуховскому ярусу нижнего карбона. Необходимы более детальные работы.
- Для каменноугольных отложений остается неясным вопрос о возрасте верхней подсвиты сиректасской свиты, которую, возможно, следует относить к среднему карбону, что требует дополнительных сборов органических остатков.
- 8. Для выполнения структурно-тектонического районирования территории полигона важно уточнить структурную принадлежность и ранг Шунайского синклинория, ныне включаемого в состав Аркалыкской подзоны. Последняя остается в целом менее изученной с точки зрения выделения более мелких единиц – синклинориев и антиклинориев по сравнению с симметричной ей Акчатауской подзоной юго-западного Предчингизья. Решение этого вопроса также требует новых исследований.
- В связи с обеспечением поисков полезных ископаемых, на ряде объектов остается малоизученным геологическое строение вмещающих отложений.

Литература

- 1) Глухенький В.Я. Государственная геологическая карта масштаба 1:200 000, серия Чингиз-Саурская. Объяснительная записка к листу М-43-XXIV, М. 1986г.
- Глухенький В.Я., Нахалюк В.П. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Объяснительная записка к листу М-43-XVIII, М. 1987г.
- Горностаев Н.Н. Семейтауский магматический комплекс Восточного Казахстана. Изв. АН СССР, серия геол. № 8-9, 1935г.
- Жаутиков Т.М., Полянский Н.В. и др. Геология и металлогения Чингиз-Тарбагатайского мегантиклинория. Алма-Ата, Наука, 1977г.
- 5) Ергалиев Г.Х., Мясников А.К., Никитин И.Ф. и др. Новые данные по палеозою Семипалатинского полигона // Геология Казахстана. №4. 1998г. С.11-132.
- Ергалиев Г.Х., Мясников А.К., Фомичев В.И. Рудоносные уровни в палеозоидах Семипалатинского полигона. Сб. Минерагения и перспективы развития минерально-сырьевой базы. Алматы. 1999 г.
- Кузьмин С.С., Сополев А.В., Мацуй В.М. Государственная геологическая карта СССР, масштаб 1:200 000, серия Чингиз-Саурская. Объяснительная записка к листу М-44-XX, М. 1979г.
- Кузьмин С.С., Сополев А.В., Кагарманов А.Х. Государственная геологическая карта СССР, масштаб 1:200 000, серия Чингиз-Саурская. Объяснительная записка к листу М-44-XIX, М. 1981г.
- Сальменова Л.Т., Сергеева Л.В. Коядинская и коконьская свиты Семипалатинского полигона // Геология Казахстана. № 1. 1998г. С.70-73.
- Севрюгин Н.А., Лифшиц М.Б. Геологическая карта СССР, масштаб 1:200 000, серия Чингнз-Саурская. Объяснительная записка к листу М-44-XX, М. 1964г.
- 11) Щерба Г.Н., Дъячков Б.А. и др. Жарма-Саурский геотектоген. Алма-Ата. Наука. 1976г.

Семей сынау полигоны территориясының геологиялық құрылысы

Ергалиев Г.Х., Мясников А.К., Никитина О.И., Сергеева Л.В.

ҚР Білім және ғылыми министрлігінің геология институты

Семей сынау полигоны территориясының қысқаша геологиялық бейнелеуі келтірілген.Оның аз зерттеуленуі байқаланады, жер астындағы ядролық сынаулар тоқталынған соң палеозой шөгінділерінің стратиграфия және геология жөнінде алынған жаңа мәліметтері хабарланады.Қосымша зерттеу қажеттейтін территорияның стратиграфия, құрылым-тектоникалық және геология құрылысы жөнінде сұрақтардың тізімі келтірілген.

Geologic Structure of Sesmipalatinsk Test Site Territory

G. Kh. Ergaliev, A.K. Myasnikov, O.I. Nikitina, L.V. Sergeeva

Institute of Geology of the Ministry of Education and Science of Republic of Kazakhstan

This article gives a short description of the territory of Semipalatinsk Test Site. Poor knowledge of the region is noted, and it tells us about new data on stratigraphy and geology of Paleozoic layers, obtained after termination of underground nuclear explosions. The paper contains a list of questions on stratigraphy, structural, tectonic and geologic formation of the territory, that require additional study.

УДК[55:621.039ю55] (574.4)

О КОМПЛЕКСНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Акылбеков С.А., Мазуров А.К., Окунев Э.В., Губайдулин Р.А., Каряев В.А., Смольянинов А.Г.

Геолого-геофизическое акционерное общество «Азимут»

В статье изложены некоторые результаты комплексных геолого-геофизических, гидрогеологических и экологических исследований масштаба 1:50 000 - 1:10 000, выполненных геолого-геофизическим акционерным обществом «Азимут» в 1992-1998 гг. в пределах Семипалатинского испытательного полигона за счет средств финансово-промышленной группы «Семей» и бюджетных ассигнований. Отмечается высокая геологическая эффективность и экологическая актуальность подобных комплексных геолого-геофизических и экологических исследований в условиях полигона и обосновывается необходимость продолжения и расширения таких работ на территории полигона.

В 1992 году в связи с закрытием Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и, как следствие, с подготовкой к эксплуатации угольного Каражира Финансовоместорождения промышленная группа (ФПГ) «Семей» заказала геолого-геофизическому акционерному обществу (ГГАО) «Азимут» проведение комплексной геологидрогеологической, гической. инженерногеологической и экологической съемок масштаба 1:50000 на площади в 419км района месторождения Каражира (листы М-44-62-В-б,г; Г-в; 74-А-б; 74-Ба). В восточной и юго-восточной частях этой площади расположены многочисленные боевые скважины, в которых производились подземные атомные взрывы, и Промышленно-сейсмические комплексы, где производились мощные химические взрывы и другие военно-технические испытания в период деятельности СИП.

Комплексный подход к региональным работам, учитывающий специфику испытательного ядерного полигона, а также весьма слабую изученность его территории, способствовал, в основном, успешному решению ряда практических задач освоения крупнейшего угольного месторождения и предопределил высокую геологическую результативность. Применение современной аппаратуры и передовых методик исследований, комплексный и взаимоувязанный характер многопрофильных работ, реальное использование комплексов геофизических методов для решения задач геологии, гидрогеологии, инженерной геологии, экологии, применение компьютерных технологий при интерпретации комплексных данных, высокий профессионализм исполнителей - все это позволило успешно решить геологические задачи и составить комплект весьма информативных карт масштаба 1:50000: геологические карта поверхности и домеловых отложений, гидрогеологическую карту, инженерногеологическую и эколого-фукциональную карты.

Все стратифицированные образования расчленены на ряд свит и толщ, привязанных к современной стратиграфической схеме Жарминской структурно-формационной зоны. Возраст коконьской свиты подтвержден сборами визейской флоры и фауны, а юрская угленосная толща расчленена на три свиты с определением их возрастных пределов по спорово-пыльцевым комплексам.

Разработана схема интрузивного магматизма с ее привязкой к современной региональной схеме, выделены интрузивные тела саурского габброплагиогранитного комплекса, впервые выделены габбро-диабазы аргимбайского комплекса, диориты салдырминского и граниты жарминского комплексов. Выявлено чрезвычайно широкое развитие процессов экзоконтактового метаморфизма с образованием контактовых амфиболитов, различных роговиков, сланцев, скарнов, андалузитовых, хиастолитовых и гранатовых пород. На основе историкоформационного анализа произведено тектоническое районирование территории, охватывающей фрагменты Жарминской и Кояндино-Аркарлинской структурно-формационных зон Иртыш-Зайсанской складчатой системы.

Установлена чрезвычайно важная роль процессов сжатия в формировании структур, результатом чего стало широкое развитие зон интенсивного рассланцевания (вплоть до структур тектонического «течения» горных пород) и мощного катаклаза пород габбро-плагиогранитовой формации, в которой по всей массе интрузивов постоянно наблюдаются брекчиевые, цементные, милонитовые микроструктуры.

Детально изучена внутренняя структура Каражирского грабена, заполненного юрскими угленосными отложениями. С севера-востока грабен ограничен самым крупным региональным Чинрауским разломом, имеющим сбросовый характер, именно этот разлом обусловил возникновение приразломного триас-юрского угленосного прогиба. С юга грабен ограничен Каражирским взбросом, который активно проявил себя в конце юры, когда произошла существенная фаза сжатия и возникла зона покровно-надвиговых чешуи палеозойских пород, тектонически перекрывающих юрские образования вдоль Каражирского взброса.

Применение геофизических методов позволило получить представление о глубинном геологическом строении территории, составить достоверные геолого-геофизические разрезы методом их подбора на ЭВМ, по данным ВЭЗ-ВП уточнены разрезы рыхлых отложений, их литологические характеристики, определены коэффициенты фильтрации, минерализация и положение уровня подземных вод.

По данным собственных исследований и материалам глубокого бурения испытательных скважин изучены гидрогеологические условия района месторождения, произведено гидрогеологическое районирование с выделением развития трещинных и трещинно-жильных вод палеозойских пород, трещинно-пластовых напорных вод Каражирского субартезианского бассейна и поровых вод четвертичных образований, ограниченных региональным неогеновым водоупором.

Изучена общая инженерно-геологическая обстановка месторождения Каражира, определены физико-механические и водно-физические характеристики инженерно-геологических элементов, выделенных на основе анализа стратиграфогенетических типов горных пород, дана характеристика инженерно-геологических подразделений с позиций строительства гражданских и промышленных объектов. Выделены участки, неблагоприятные для строительства, что связано с влиянием естественных и техногенных факторов.

Проведен анализ геоморфологии территории, дана характеристика основных видов искусственного воздействия на рельеф в результате деятельности СЯП. Изучена общая геоэкологическая обстановка в районе месторождения Каражира, которая позволяет осуществлять его промышленное освоение, но при условии обязательного выполнения мероприятий по обеспечению экологической безопасности. Экологическое качество углей позволяет безопасно, без каких-либо ограничений использовать их как энергетическое сырье.

Практическим результатом этих работ стало выявление золотоперспективного участка Кишкен, где были откартированы многочисленные кварцевые жилы И зоны гидротермальнометасоматических изменений в габбро-диоритах и плагиогранитах саурского комплекса углистотерригенной толще коконьской свиты ранневизейского возраста и кремнисто-терригенных породах карабайской свиты фамена-турне. В одной из крупных кварцевых жил, секущих габбро-диориты, мощностью 0,5-2,5м и протяженностью около 1 км были установлены содержания золота до 15г/т. Большое количество кварцевых жил и зон в благо-

приятной геологической обстановке, аномальные концентрации элементов-спутников золота мышьяка и серебра, повышенные содержания молибдена, висмута, вольфрама в почвах, наличие аномалии поляризуемости по данным ВЭЗ-ВП - все эти факты позволили сделать вывод о весьма высокой перспективности площади на поиски месторождений золота и редких металлов. В связи с этим, руководством ФПГ «Семей» было принято решевыполнении комплексных ние 0 геологогеофизических работ масштаба 1:10000 на площади 44 км², прилегающей к выявленному рудопроявлению золота Кишкен.

При исполнении этого заказа ГГАО «Азимут» был применен широкий комплекс современных геофизических и геологических методов, гравиразведку, магниторазведку, включавший электроразведку в модификациях ТЗВП, ВЭЗ-ВП, ЗСБЗ, радиоволновое профилирование РВП, детальное геологическое картирование и поиски, золотометрическую съемку, глубинные геохимические поиски, горные и буровые работы, комплекс каротажных работ КС, ДС, МЭП, ГГК-С, ГК, РРК (Мо). При этом использовались компьютерные технологии при статистической обработке физических и химических параметров, факторном анализе, а также при комплексной интерпретации геологогеофизической информации с подбором геологических моделей по оригинальным программам, разработанным на ВЦ ГГАО «Азимут».

В результате детального картирования все стратифицированые образования участка расчленены на свиты и пачки, изучена литология, характер переслаивания всех подразделений. Разработана схема интрузивного магматизма, детально изучены интрузивные тела саурского габброар-гимбайского плагиогранитного, габбродиабазового и жарминского лейкогранитного комплексов. Выявлено широкое развитие экзоконтакметаморфизма И гидротермальнотового метасоматических изменений, что привело к образованию типичных метаморфитов: контактовых амфиболитов, различных роговиков, сланцев, скарнов, андалузиткордиеритовых, хиастолитовых и гранатовых пород, на которые наложены метасоматические процессы с образованием кварцевых, серицито-кварцевых, эпидот-хлоритовых, альбиткалишпатовых и других метасоматитов.

Применение геофизических методов позволило получить представление о глубинном геологическом строении участка, определить контуры и морфологию интрузивных тел, характер разрывных нарушений и их связь с зонами изменений, составить по серии профилей достоверные геологогеофизические разрезы с помощью подбора геологических моделей на ЭВМ. Результаты спектрозолотометрической съемки после обработки на ЭВМ позволили построить карты вторичных ореолов рассеяния, выделить три геохимических комплекса: золото-мышьяковый, медно-молибденовый, висмут-вольфрамовый. При этом, фактом чрезвычайной важности явилось выделение молибдена из собственно редкометального комплекса и включение его именно в медно-молибденовый комплекс.

Анализ всего имеющегося материала позволил выделить на участке пять аномальных областей, которым дана исчерпывающая характеристика и необходимая оценка. Рудоносными признаны только аномальные области медно-молибденового и золото-мышьякового комплекса. По результатам опоискования рудоносных 30H золотомышьякового комплекса была дана оценка ранее выявленного рудопроявления золота Кишкен, которое было квалифицировано как мелкое золоторудное месторождение с оценкой запасов его по категории С2. Кроме того, выделено еще два участка весьма перспективных на продолжение поисков золоторудных объектов. В пределах медномолибденового геохимического комплекса были выделены две рудоносные зоны с медномолибденовыми рудами штокверкового типа среди углисто-терригенных пород коконьской свиты, прорванной плагиогранитами саурского интрузивного комплекса и жильными телами лейкогранитов жарминского комплекса. Оруденение наложено на все вышеперечисленные породы. Прогнозные ресурсы по всей площади рудоносных зон по категориям Pi+P3 значительно превысили 1млн.т. по молибдену, ЗОО тыс.т. по меди и 300т. по рению. По молибдену для богатых руд за бортовое принималось содержание равное 0.1%. Объект расположен в непосредственной близости от угольного карьера месторождения Каражира, к которому подведена железная дорога.

Таким образом, на участке Кишкен открыто новое крупное медно-молибденовое месторождение штокверкого типа, которое решением НТС ФПГ «Семей» от 2 апреля 1997 года выделено в самостоятельный объект с названием «Шорское медно-молибденовое месторождение».

По результатам комплексной геологической, гидрогеологической, инженерно-геологической и экологической съемки на территории Семипалатинского испытательного полигона» разработан и предложен к внедрению признанный изобретением (предварительный патент РК №5376), оригинальный способ предотвращения последствий радиоактивного воздействия подземных ядерных взрывов на окружающую среду. Геологическое изучение территории полигона практически только начинается, и перспектива обнаружения в его недрах полезных ископаемых очень высока. В то же время мировая практика не имеет прецедента эксплуатации месторождений полезных ископаемых в непосредственной близости от источников радиоактивного загрязнения подземной гидросферы. В естественных условиях, как показали выполненные исследования, подземный поток движется чрезвычайно медленно, подчиняясь законам регионального стока, а подземные воды не выклиниваются на дневную поверхность. Разработка же месторождений полезных ископаемых коренным образом нарушает естественный гидродинамический режим районные депрессионные воронки вокруг карьеров и шахт неизбежно усиливают скорости движения подземных вод на несколько порядков и загрязненная их часть радионуклидами может быть вовлечена в карьерный (шахтный) водоотлив. Эффект «выпущенного джина» при таком развитии событий может привести к безвозвратной потере геологической среды со всеми ее ресурсами. Единственная альтернатива принятие таких превентивных мер, которые могли бы эффективно препятствовать движению подземных вод. Сущность предложенного способа и заключается в том, чтобы перевести загрязненные подземные воды котловых полостей и зон обрушения боевых скважин, а также контактирующих с ними зон и тектонических нарушений в гельобразное, коллоидное или иное малоподвижное состояние. Реализация этого предложения требует детальных (учитывая специфику полигона дистанционных) исследований с целью оценки современного состояния котловых полостей и водоносных зон трешиноватости, а также для создания наблюдательной сети специального мониторинга.

С 1995 года на территории площадью 825 км , (уч. Каражирский, листы М-44-61-Б-б,г; Г-б,г; 62-А-а,в; В-а,в; 73-Б-б; 74-А-а), расположенной западнее вышеописанной, ГГАО «Азимут» проводит опережающие геофизические работы, комплексную геологическую, гидрогеологическую и экологическую съемки масштаба 1:50000 за счет средств госбюджета. Здесь начали собираться уникальные для геологии региона новые данные по магматизму, стратиграфии, палеонтологии и др. На площади произведен отбор макрофауны и флоры более чем из 60 точек из отложений девона, нижнего карбона, собраны конодонты из кремнистых пород предположительно нижнепалеозойского возраста, получены уникальные данные по геологии и геофизике в зоне сочленения Чингиз-Тарбагатайских и Иртыш-Зайсанских структур, выделены мезозойские, возможно, угленосные отложения и т.д. Получен перспективный поисковый материал по детализационному участку Сосновый. Здесь картируется мощная гидротермально-метасоматическая зона, простирающаяся на расстояние свыше 1 Окм, а в кварцевых жилах и метасоматитах этой зоны отмечаются содержания золота от 2 до 18г/т. Участок несомненно заслуживает внимания и требует продолжения здесь поисковых работ, тем более, что эта площадь является непосредственным западным продолжением структур района участка Кишкен. Вызывает большое сожаление, что в настоящее время принято решение приостановить незаконченные геолого-геофизические и экологические работы на участке Каражирский.

Выполненные в 1992-98 гг. компанией «Азимут» геолого-геофизические исследования в масштабе 1:50000-1:10000 в пределах СИП со всей

очевидностью свидетельствуют о геологической эффективности подобных исследований. Получение новых геологических данных безусловно будет способствовать привлечению инвесторов на территорию СИП, в геологоразведочную и горнодобывающую отрасль в целом.

ССП территориясындағы комплексті аймақтық геологиялық зерттеулері туралы.

Ақылбеков С.А., Мазуров А.К., Окунев Э.В., Губайдулин Р.А., Каряев В.А., Смольянинов А.Г.

Геолого-геофизикалық акционерлік қоғам «Азимутң

ССП ішінде 1992-98ж.ж. финанс-өнеркәсіп тобы "Семей" және бюджет қаржысына геологогеофизикалық "Азимут" акционерлік қоғамы өткізген мақалада масштабы 1: 50000-1:10000 комплексті геолого-геофизикалық, гидрогеологиялық, экологиялық зерттеулерінің біршама нәтижелері баяндалған. Полигондар шартында тәрізді комплексті геолого-геофизикалық зерттеулерінің жоғары геологиялық нәтижелілігі мен экологиялық маңыздылығы байқаланады және ССП территориясында сондай жұмыстарды ұлғайтуы мен жалғастыруының қажеттілігі дәлелденеді.

On Integrated Regional Geological Research on the Territory of the Semipalatinsk Test Site

S.A. Akylbekov, A.K. Mazurov, E.V. Okunev, R.A. Gubaidulin, V.A. Karyaev, A.G. Smolyaninov

Geologic- Geophysical Join- Stock Company "Azimut"

The article presents some results of the integrated geological, geophysical, hydro-geological and ecological research at a scale of $1:50\ 000 - 1:10\ 000$, conducted by Azimuth Inc. in the period of 1992-1998 on the territory of the Semipalatinsk Test Site. This work was supported by Semey enterprise and government resources. The article emphasizes the geological efficiency and ecological urgency of similar integrated geological, geophysical and ecological studies and gives other reasons to proceed with research at the STS.

УДК [552.13:553.44] (574.3)

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И МОРФОЛОГИИ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАЙМАНЖАЛ

Бирюлин В.В.

Frontier Mining Ltd. (Kazakhstan)

Описаны морфологические и минералогические особенности золотосодержащего колчеданнополиметалического месторождения Найманжал: его приуроченность к зоне окисления (являющейся комбинацией площадной и линейной кор выветривания), размеры разведанной части (до 1700 м по протяженности, до 600-800 м по ширине, до 5-60 м, в отдельных случаях – до 80-120м, - по глубине), отличительные минералогические особенности руд (присутствие арсенопирита при подчиненности содержания меди), благоприятные свойства химического состава и минералогии золота, допускающие его извлечение кучным выщелачиванием.

Минералогия зон окисления колчеданно – полиметаллических месторождений Казахстана и мира всегда оставалась предметом тщательного изучения специалистов – металлургов, технологов, как одних из природных источников металлов.

Месторождение Найманжал относится к полиметаллически колчеданному с золотом типу вулканогенно - гидротермальных месторождений, локализованных в вулканических толщах. Такие месторождения известны на северо - востоке Центрального Казахстана (Майкаин, Сувенир) и в хребте Чингиз (Акбастау, Косморун). Они залегают среди основных по составу андезито – базальтовых вулканитов ордовика, руды в основном медно цинковые, содержат мало свинца, с резким преобладанием в них пирита над другими сульфидами. Однако месторождение Найманжал, приуроченное к ордовикским вулканитам основного состава, отличает от них присутствие в составе его руд арсенопирита, получившего широкое развитие наряду с пиритом, медь находится в качестве второстепенного минерала.

Для изучения вещественного состава зоны окисления здесь были использованы следующие методы: оптическая минералогия (шлифы и аншлифы), микрошлихоминералогия; микроминералогия с применением лазера; рентгено – структурный анализ; ИК – спектроскопия; спектральный количественный, пробирный и ААС анализы, ICP; анализы химсостава пород и руд; бутылочное тестирование; технологические исследования на уровне лабораторных проб. В результате всестороннего изучения руд были установлены благоприятные их свойства в части химического состава, особенностей минералогии золота, физико – механическим свойствам, допускающие извлечение золота прямым цианированием (кучным выщелачиванием).

Вмещающие оруденение породы характеризуются преимущественно основным (по химизму) составом: базальты, андезито – базальты, их вулканомиктовые продукты (конгломераты, брекчии, песчаники).В подчиненном количестве представлены обломочные породы среднего состава: полимиктовые песчаники, алевролиты с заметной вкрапленностью кварца. Еще меньшая роль в строении разреза вмещающих пород принадлежит кремнистым образованиям: железистым аргиллитам, кварцитам, яшмам..

Основными гипогенными изменениями пород на уровне регионального метаморфизма является хлоритизация, эпидотизация основных пород. Для околорудных их изменений характерны окварцевание, серицитизация, сульфидизация, очень редко – карбонатизация. В соответствии с этими изменениями, и минеральным составом пород в зоне гипергенеза проявлены процессы каолинизации и ожелезнения, реже огипсования, кальцитизация. Исходная порода принимает буроватую окраску, пятнисто окрашенную белыми, желтыми, красными гнездами каолина, глин, гидроокислами железа.

Для пород среднего состава (песчаники, алевролиты) наиболее характерными являются каолинизация и отчасти ожелезнение за счет аутигенного пирита, обломочного магнетита. Реже в зоне окисления по ним можно наблюдать кремнистые желваки, просечки и гнезда халцедона, опала. Цвет пород – желтый, табачно – желтый, пятнисто буроокрашен гнездами гидроксидов железа. Эта группа пород окислена на большие глубины, нежели базальтоиды. Последние, как правило, окислены в пределах первых метров на глубину, или не окислены совсем, в то время как вторая группа пород – на значительно большие глубины (10 – 20 м).

Лиловые алевролиты, повсеместно встречающиеся в разрезе средней (рудоносной) пачки нижнего ордовика также подвержены глубокому окислению, в результате которого они превращаются в интенсивно ожелезненные, густо лилового, бордового цветов каолиновые глины.

Кремнистая группа пород почти не подвержена процессам окисления, поэтому они слагают

практически повсеместно в границах рудного поля положительные формы рельефа с относительными превышениями 15 – 40 м. На них воздействовало лишь «морозное» выветривание, обусловившее их многократное брекчирование и последующее залечивание обломков скрытокристаллическим кварцевым цементом, халцедоном, опалом.

Околорудные породы, изначально серицитизированные и окварцованные, с сульфидами, в зоне гипергенеза подвергнуты глубокому сернокислому выщелачиванию – они осветлены, пропитаны своим и привнесенным из руд железом, заключают в себе обильные псевдоморфозы лимонит – гетита по сульфидам, превращены визуально в глинистые, глинисто щебнистые, щебнистые массы, сохранив зачастую реликтовую слоистую или брекчиевую текстуру. Для них характерна яркая пятнистая, мозаичная, полосчатая окраска – результат сложного сочетания красных, бурых, желтых, коричневых, серых, белых тонов, приобретенная за счет повышенных содержаний железа, марганца, свинца, цинка, кобальта, глинозема, каолина.

Традиционный профиль кор выветривания в рамках месторождения и его ближайшего обрамле-

ния значительно искажен: среди пестро окрашенных глин нередки блоки, будины, линзы, прослои сапролитов, белых каолинитов, элювиальных обломков кварцитов. Участки кор выветривания одинаковой окраски и текстур с трудом увязываются как по латерали, так и по вертикали; постоянно фиксируются резкие контакты литоструктурных разновидностей коры, обусловленные трещиноватостью и резкой сменой физико – химических обстановок выветривания.

Руды на поверхности месторождения представлены губчатыми, сухаристыми, кавернозными железняками, состоящими из лимонита, гетита, гематита и кварца, заключенными в каолиновую оторочку; сапролитами преимущественно каолинового состава с ярозитом, арсениосидеритом, скородитом, лимонитом; щебнем оруденелых окварцованных алевролитов и песчаников, обломками рудного ноздреватого кварца.

Для Северной и Восточной рудных зон более характерны каолиниты с железняками; для Западной, Южной – более силицифицированные разности; для Центральной – смесь всех перечисленных выше (рис).



Рис. Месторождение Найманжал. Карта изомощностей зоны окисления

Руды зоны окисления представлены сыпучими, порошковатыми, сливными (или плотными) и всеми возможными вариантами в сочетании разновидностями. Среди плотных, сливных разновидностей руд выделены следующие типы:

- существенно ярозитовые и ярозит арсеносидеритовые;
- ярозит арсеносидерит железняковые;
- ярозит железняковые и арсеносидерит железняковые;
- железняковые;
- железо марганцевые и марганцевые.

Перечисленные типы руд обладают преимущественно прожилковыми и прожилково – вкрапленными, гнездовыми текстурами, где прожилки и гнезда заключены в каолиновую матрицу. Встречаются руды с брекчиевой текстурой, в которой обломки каолинитов цементируются ярозит – железняковым или ярозит – арсеносидерит – железняковым агрегатом. Реже, брекчиевая текстура формируется благодаря цементации обломков каолинитов каолиновой массой, более плотной, с мелкими гнездами кристаллического ярозита.

Иногда отмечаются полосчатые и массивные текстуры руд. В полосчатых разностях наблюдается чередование каолиновых с кварцем полос с ярозит - лимонитовыми или кварцевыми. В массивных рудах основная масса сложена темно - бурыми гетит - гидрогетитовыми агрегатами, развитым вокруг пустот выщелачивания. В последних наблюдается пленка (по стенкам пустот) пиролюзит псиломелана. Исключительно редко под микроскопом удается наблюдать колломорфные структуры продукцию коллоидных растворов. Это свидетельствует о незначительной степени переноса и переотложения материала зоны окисления. Сыпучие, порошковатые разновидности характеризуются тем же минеральным составом и отличаются структурно – текстурным обликом. Главными рудными минералами зоны окисления месторождения Найманжал являются гидроксиды железа - гетит, гидрогетит, лимонит, а также ярозит, арсениосидерит, скородит, золото самородное, серебро. К числу второстепенных следует отнести гематит, пиролюзит псиломелан и лейкоксен.

Прочие минералы можно квалифицировать как редкие и крайне редкие.

Результаты исследований микрошлихогеохимических проб окисленных руд месторождения показали разнообразие форм золота – кристаллы, зерна неправильной формы, изометричные, комковидные, пластинчатые агрегаты, реже – дендритовидные и губчатые. По размерности золото тонкодисперсное. Цвет его желтый, светло – желтый, присутствуют зерна золота, покрытые красноватой пленкой, состоящей из гидроокислов железа. Окисленные руды Найманжала содержат одновременно золото разного генезиса. Причем основное содержание металла обусловлено присутствием в зоне окисления гипогенного золота. Количество новообразованного, гипергенного золота невелико. К нему можно отнести губчатое золото, золото в «рубашке» и, возможно, дендритовидное золото с разветвленными ветвями, на концах которых находятся мелкие кристаллы золота. Основная часть золота в зоне окисления, судя по микрошлихоминералогическому анализу находится в свободном чистом виде. Редко встречаются золотины в «рубашке».

В зоне окисления месторождения Найманжал так называемое вторичное золото не создает значительных зон обогащения. В основном происходит относительное обогащение золотом вследствие выветривания и сокращения в объеме вмещающей массы. Облагораживание золота в зоне окисления происходит за счет уменьшения в нем количества Ag, Cu и Fe, поэтому золото высокопробное. Примеси железа и меди в низких концентрациях являются типичными для золота.

Изученная разведочными выработками площадь месторождения соответствует примерно 1.02 км², при этом по простиранию зона окисления разведана на 1700 м, вкрест его – от 600 – 800 м в юго - восточной части до 100 - 400 м в северо - западной. Зона окисления повсеместно развита до глубины 5 ÷ 60 м, а в отдельных карманах достигают глубины 80 - 120 м от поверхности (рис). В центральной части месторождения (рудная зона Северная и отчасти Западная) очертания изомощностей зоны окисления имеют ярко выраженный линейный характер. В поперечнике (профиль 5) зона имеет синусоидальный профиль, несколько асимметричный; с двумя карманами: скважина 019 (южнее магистрали в 100 м) – до глубины 50.5 м и в районе пересечения Северной рудной зоны (до 30 – 40 м). Между ними граница зоны приподнята до первых метров (над базальтовыми конгломератами первой пачки нижнего ордовика).

Юго – восточная часть месторождения в пределах рудных зон Южная, Центральная и Восточная изучена бурением более детально, и, как следствие, морфологические характеристики зоны окисления выглядят весьма сложными как в плане, так и в разрезе. Здесь выявлено резкое понижение нижней границы зоны окисления (до 104 м) линейного облика с апофизами в направлении Центральной и Восточной рудных зон. Установленная на сегодня его протяженность превышает 350 м при ширине 50 – 120 м. «Провал» имеет рудную природу – буровыми скважинами под ним вскрыты колчеланные с золотом И серебром рудами.Поперечный профиль здесь также характеризуется тремя понижениями: первое уже указано, а второе и третье – обусловлено рудами Центральной и Восточной зон. Однако здесь глубины проникновения процессов окисления ограничиваются 40 – 45 м от поверхности.

Равным образом, в северо – западной части месторождения также установлено понижение зоны окисления до глубины 53.5 – 67.0 м. Однако здесь

оно обусловлено скорей всего пересечением северо – западных и субмеридиональных разломов (рис.).

В целом, характеризуя строение зоны окисления месторождения Найманжал, можно сделать вывод о том, что она представляет собой комбинацию площадной и линейной кор выветривания. Причем, судя реликтам сульфидов в рудах, малой доли гипергенного золота в общем его балансе, ограниченного развития колломорфных текстур среди вторичных минералов, отсутствию вещественно – минеральной вертикальной зональности и др., возраст зоны окисления небольшой (по всей видимости – олигоцен), и сам процесс окисления был одноактным и скорым, благодаря разовому (а не ритмичному, пульсообразному) воздыманию территории и понижению уровня грунтовых вод.

"Найманжал" кен орнында тотығу зонасының заттық құрамының және морфологиясының ерекшілігі.

Бирюлин В.В.

Frontier Mining Ltd. (Kazakhstan)

Алтынды колчедан-көпметалды Найманжал кен орнының морфология және минералогиялық өзгешіліктері баяндалған - оның тотығу зонасына туралануы (көлемдік және ұзындық желге мүжілген жер қыртысы комбинациясы болып келетін) барланған бөлігінің мөлшері (1700м. дейін ұзындығынан,600-800м. дейін көлденеңінен,5-60м. кейде 80-120м. дейін терендігінен), руданың минералогиялық айырмалық өзгешілігі (жез мөлшері бағын ушылығында арсенопириттің қатысуы),шоғырлы сілтіден айыруға рұқсат беретін алтынның химиялық құрамының және минералогиясының жайлы қасиеті.

Peculiarities of Composition and Morphology of the Oxidation Zone at Naimanzhal Gold-Field

V. V. Biryulin

Frontier Mining Ltd. (Kazakhstan)

Morphological and mineralogical characteristics of the Naimanzhal auriferous sulfur and complex ore deposit are described. These are: correspondence to oxidation zone (which is a combination of area and linear erosion crusts), size of explored part (up to 1700 m long and 600-800 m wide and 5-60 m, sometimes even 80-120 m deep), mineralogical characteristics of ores (presence of arsenite pyrite with dependence of contents of copper), and favorable characteristics of chemical composition and mineralogy of gold, that allow extraction by means of heap leaching.

УДК 55 (574.41)

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ЯДЕРНОГО ПОЛИГОНА

Казакова Ю.И.

Институт геофизических исследований

Территория Семипалатинского испытательного полигона стала доступной для геологического исследования только в 1991 году, после прекращения ядерных испытаний. Наряду с месторождениями полезных ископаемых, здесь имеются геологические достопримечательности. Район располагает уникальным сочетанием геотопов техногенного и природного происхождения, которые нуждаются в изучении, классификации, учете, сохранении и использовании.

Деятельность по изучению и сохранению геологического наследия в международном масштабе определена такими документами, как Конвенция по мировому культурному и естественному наследию (ЮНЕСКО, 1982 г), Международная декларация защите наследия no Земли (ЮНЕСКО/Прогео, 1997 г.) и некоторыми другими. Практическая работа по осуществлению Конвенции проводится Комитетом Мирового Наследия, в составе которого действуют секции, подсекции, а также Рабочая группа по геотопам⁴ - «уникальным или типичным, сравнительно небольшим по площади фрагментам лито- или гидросферы, обладающим научным, культурным, познавательным или эстетическим значением» [6, 13]. Рабочая группа по геотопам действует в рамках совместного проекта ЮНЕСКО, Международного союза геологических наук и Международного союза природных заповедников. Под эгидой ЮНЕСКО, начиная с 1991 и с ежегодной регулярностью проводятся международные симпозиумы - ProGeo, рассматривающие вопросы многоплановой деятельности по изучению и сохранению геологического наследия [12].

Республика Казахстан присоединилась к Конвенции в 1994 г. В 1996-1997 гг. были приняты законы, имеющие непосредственное отношение к проблеме сохранения геологического наследия [1, 2, 5]. Правда, в природоохранных законодательных документах Республики Казахстан термин *геотоп* не используется. Такие объекты именуются как «участки недр, представляющие особую экологическую, научную, культурную и иную ценность» [2]. Однако, так же как в международных документах, в Законе *PK* об особо охраняемых территориях (1997 г, статья 19) для них предусмотрены организация учета и составление государственного кадастра.

Практическая деятельность по изучению геотопов в Казахстане ведется с 1993 г. по темплану Министерства экологии и природных ресурсов РК, по гранту МН – АН РК (руководитель работ Фишман И.Л.) [6, 7, 8]. К настоящему времени создана база данных «Геологическое наследие Казахстана», в которую внесено более 400 объектов, разработана классификация геотопов по различным принципам и признакам, предложена система выявления и учета объектов [6]. Составленные на основе методических разработок первые карты геотопов Казахстана и их списки были представлены и одобрены на республиканских и международных симпозиумах по охране геологического наследия -ProGeo - 97, -98 и -99 [10, 11]. Созданная база данных постоянно пополняется и в настоящее время в ее состав включено около десяти объектов Семипалатинского испытательного полигона.

Семипалатинский полигон в годы проведения ядерных испытаний являлся закрытой территорией и был доступен только для ограниченного количества военных ученых и специалистов. Лишь в 1991 году, после прекращения ядерных испытаний, территория полигона стала доступна для посещений и изучения. Здесь развернулись многоплановые научные исследования, в число которых вошло изучение минерально-сырьевых ресурсов, геоэкологические исследования. Проводятся работы, в результате которых получены новые ценные данные о геологическом строении полигона и его экологическом состоянии. Однако из поля зрения как геологов, так и экологов выпадают объекты геологического наследия.

Геологическое наследие Семипалатинского испытательного полигона изучено слабо. Работа по выявлению и изучению объектов геологического наследия была начата только в 1998 г. и к настоящему времени сделаны первые предварительные оценки. Исходя из классификации, разработанной для Казахстана [6], геотопы Семипалатинского по-

⁴ точный перевод с греческого - «геос» - земля, «топос» - место. В англоязычных странах используется термин «**geosite**». Совокупность геотопов – геологическое наследие.

лигона могут быть подразделены на антропогенные и природные группы. (рис. 1.)



Рис. 1. Размещение некоторых геотопов на территории Семипалатинского испытательного полигона

Антропогенные геотопы представлены петроглифами, древними горными выработками и современными техногенными конструкциями.

Представляет интерес *древняя горная выработка* Акбастау, где найдены остатки древних орудий труда.

На горе Жангызтау находится дайка диабазов с интересными наскальными рисунками.

Большой интерес вызывают *техногенные* объекты - места проведения ядерных испытаний. Такие достопримечательности сохранились на трех испытательных площадках - Опытное поле, Балапан и Дегелен.

Опытное поле являлось полигоном для наземных и воздушных испытаний [9]. Здесь сохранились приборные сооружения, в которых размещалась аппаратура, фиксировавшая параметры ядерного взрыва, многочисленные воронки от проведенных взрывов, а также кусочки пород, оплавленные ядерными взрывами. Площадка Дегелен расположена в одноименном горном массиве на территории полигона и представляет интерес не только как техногенный объект, но и как живописный ландшафт. В склонах гор, сложенных гранитами с матрацевидной отдельностью и живописными останцами, располагались штольни, где проводились подземные ядерные испытания. Поскольку штольни представляли большую опасность в связи с высоким уровнем радиоактивности, после закрытия полигона они были запечатаны бетонными пробками, а их порталы взорваны и засыпаны щебнем. В 1998 году была закрыта последняя штольня, и горы Дегелен приобрели практически первоначальный вид.

Площадка Балапан была местом, где ядерные испытания проводились в скважинах. Здесь наиболее интересным объектом, не только техногенным, но и палеонтологическим, является озеро Шаган. В результате мирного ядерного взрыва, во время которого произошел выброс около 4 миллионов кубических метров горных пород, образовалась воронка глубиной более 100 метров. Диаметр воронки - 430 м, объем - 6.400.000 кубических метров. Кольцевой вал высотой 20-25 м сложен четвертичными породами. По мере удаления от вала наблюдаются обломки пород все более старшего возраста. Наиболее древние породы, наблюдаемые здесь, - каменноугольные песчаники. Их обломки встречаются на расстоянии более 400 м от кольцевого вала. Каменноугольные песчаники содержат многочисленные отпечатки древних листьев и стволов растений хорошей сохранности. Фрагменты подобных палеонтологических остатков вскрыты скважинами в разных частях полигона, но только здесь их можно наблюдать на поверхности.

Из *природных геотопов* представляют интерес стратиграфические разрезы, палеонтологические остатки, месторождения камнесамоцветного сырья.

Стратиграфические разрезы на полигоне представлены стратотипами ордовикских, девонских и каменноугольных отложений и представляют собой разрезы островодужных и олистостромовых формаций Чингизского хребта. Они дают возможность прослеживать латеральную изменчивость процессов палеозойского вулканизма и сопровождавших его тектонических движений. Исключительно интересны здесь разрезы офиолитовых толщ, а также ультрабазитовые тектонические пластины, которые в большинстве случаев замещены золотоносными карбонатными метасоматитами.

Другой стратиграфический объект - угольное месторождение Каражыра. В стенках карьера месторождения можно наблюдать разрез угленосных отложений, охватывающий период от рэтского яруса верхнего триаса до батского - средней юры.

Месторождения камнесамоцветного сырья. На полигоне и прилегающих к нему территориях встречаются многочисленные месторождения и проявления камнесамоцветного сырья: агата, хризолита, голубого микрокварцита, волластонита, хризотил-асбеста, декоративной яшмы, раухтопаза. Имеющейся информации о геотопах Семипалатинского полигона явно недостаточно. Обилие геологических достопримечательностей на территориях, прилегающих к полигону, говорит о том, что и на самом полигоне их должно быть гораздо больше.

Основными задачами по изучению, оценке и регистрации геологического наследия на Семипалатинском испытательном полигоне следует считать:

- 1. Проведение системного тщательного изучения территории полигона в целях более полного выявления всех имеющихся здесь геотопов.
- Занесение выявленных геотопов в национальную базу данных «Геологическое наследие Казахстана».
- Выполнение классификации геотопов согласно принятым принципам - по предметногенетической, научной, культурной и эстетической значимости, официальному статусу и категориям охраны.
- Составление кадастра геотопов Семипалатинского испытательного полигона как будущей составляющей части Государственного кадастра геотопов.
- Выявление среди геологических достопримечательностей полигона геотопов мирового уровня значимости для их внесение в Мировую базу данных ЮНЕСКО.
- Подготовка карты геотопов Семипалатинского полигона, альбомов и путеводителей для развития экскурсионной деятельности.

После прекращения ядерных испытаний Семипалатинский полигон вступил в стадию реабилитации, и поэтому особенно важно выявить, изучить и сохранить существующие здесь геотопы. Вся территория полигона, включая геотопы, может являться интереснейшим объектом экологического туризма [4], делающего в Казахстане свои первые шаги.

Литература

- 1) Закон Республики Казахстан «Об охране окружающей среды», 1997 г.
- 2) Закон Республики Казахстан «Об особо охраняемых природных территориях», глава XIX, 1997 г.
- Нусипов Е.Н., Фишман И.Л., Казакова Ю.И. Проблема геологического наследия в Казахстане // Геология и разведка недр Казахстана, № 1, 1998, с. 58-64
- 4) О развитии экологического туризма в Казахстане. Е.Нусипов, И.Фишман // Информационный экологический бюллетень, 3 квартал 1999 г., с. 112-117.
- 5) Указ Президента Республики Казахстан, имеющий силу Закона «О недрах и недропользовании», 1996
- Фишман И.Л., Казакова Ю.И. Геологическое наследие Казахстана: методические основы концепции. Алматы, Фонд науки МН-АН РК, 1997, 150 с.
- Фишман И.Л., Казакова Ю.И. Проблемы учета, охраны и использования геотопов Казахстана. Алматы, Фонды Минэкологии и природных ресурсов РК, 1995, 188 с.

- Фишман И.Л., Казакова Ю.И. Изучение и систематизация уникальных геологических объектов Казахстана с разработкой рекомендаций по их охране и рациональному использованию. Алматы, Фонды Минэкологии и природных ресурсов PK, 81 с.
- Ядерные испытания СССР. Цели. Общие характеристики. Организация ядерных испытаний СССР. Москва, 1997, 303 с.
- 10) I.Fishman, Yu.Kazakova. The basis aspects of the Geological Heritage Conception in Kazakhstan // ProGEO'98 Abstract Volume, Sofia, 1998, p 15
- 11) I.Fishman, Yu.Kazakova, E.Nusipov. Database "Geological Heritage of Kazakhstan" // The Second General assembly of the European Association for the Conservation of the Geological Heritage. Brochure of Abstracts. Tallinn, 1997, p. 18
- 12) C.E.Johanson and W.A.P.Wimbledon. ProGEO the European Association for the Conservation of the Geological Heritage // ProGeo'97 in Estonia Proceedings, Tallinn, 1997, p. 29-30
- 13) UNESCO/IUGS Geosites and Geoparks. A new programme for conservation and development. ProGEO' 98, Abstract Volume, 1998

Семей ядролық полигонының геологиялық мұрасы

Казакова Ю.

Геофизикалық зерттеу институты

Семей сынау полигонының территориясы геологиялық зерттеуге ядролық сынаулар 1991ж. тоқтатылған соң қолайлы болды.Пайдалы қазындылар кен орнымен бірдей мұнда геологиялық назар аударлықтар айқындалған.Аймақ техногенді және табиғатты пайда болған геотоптардың бірегей үйленестіруіне ие болады.

Geological Heritage of the Semipalatinsk Test Site

Y.I. Kazakova

Institute of Geophysical Research

The Semipalatinsk Test Site territory became available to geological research only in 1991, after stopping of nuclear tests. From information concerning the mineral deposits, we can learn about the geological heritage. The Test Site area has a unique combination of naturally-influenced and human-influenced geologic sites. These need research, classification, description, and preservation in order to use the geological heritage.

СПИСОК АВТОРОВ

GABRIEL L., 31 KHALTURIN V.I., 41 KLUCHKO L.J., 31 KNOWLES C.P., 31 LEITH W., 31 LINGER D.A., 31 RAUTIAN T.G., 41 RICHARDS P.G., 41 Абдрахманова Г.С., 17 АБИШЕВ К.М., 111 Акылбеков С.А., 149 БЕЛЯШОВ А.В., 45, 105, 127 Беляшов Д.Н., 78, 115, 119, 123 Беляшова Н.Н., 5, 13, 31, 45, 105, 111, 127, 135 Бирюлин В.В., 153 Глущенко В.Н., 123 Глущенко Г.М., 123 Грязнов О.В., 101 ГубАЙДУЛИН Р.А., 149 ДЕМИН В.Н., 31, 37 ДРОБЖЕВА Я.В., 86 Емельянова И.В., 78 Ергалиев Г.Х., 139 Казакова Ю.И., 157 КАРИМОВА Л.М., 78 КАРЯЕВ В.А., 149 Кислый Б.И., 119 Комаров И.И., 17, 24, 45, 53, 127 Коновалов В.Е., 31, 101, 127 Копничев Ю.Ф., 65 КРАСНОВ В.М., 86, 95

Крылов Г.Г., 111 Логвинов О.В., 78, 123 МАЗУРОВ А.К., 149 Макаренко Н.Г., 78 Малахова М.Н., 13, 37, 45 МЕЛЕНТЬЕВ М.И., 115, 119 Михайлова Н.Н., 17, 24, 45, 53 Моренко В.С., 123 Мохов В.А., 115, 119 Мурзадилов Т.Д., 123 Мясников А.К., 139 НАГАЙ Т.В., 78 НЕДБАЕВ И.Н., 135 Никитина О.И., 139 ОКУНЕВ Э.В., 149 Русинова Л.А., 105 СЕРГЕЕВА Л.В., 139 Синева З.В., 111 Синева З.И., 17, 24, 45, 53, 127 Смирнов А.А., 105, 111 Смольянинов А.Г., 149 Соколова И.Н., 65 Стромов В.М., 123 Тищенко А.В., 78 Тухватулин Ш.Т., 5, 31, 135 Тюпкина О.Г., 9 ЧЕРЕПНИН Ю.С., 5 Шацилов В.И., 45 ШЕПЕЛЕВ О.М., 65 Шипицына Л.М., 78

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи представляются до 25 числа первого месяца квартала в двух экземплярах на русском языке или в виде электронной копии (на гибком диске или по электронной почте присоединенным (attachment) файлом) в формате MS WORD версий 2, 6, 95, 97 или 2000 для Windows.

Текст печатается на листах формата А4 (210×297 мм) со свободными полями:

сверху 25 мм; снизу 25 мм; слева 25 мм; справа 15 мм,

на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi).

Используйте шрифты Times New Roman или аналогичные высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков.

Текст печатайте через один интервал, оставляя между абзацами 2 интервала.

Название статьи печатайте заглавными буквами. Пропустив 3 интервала после названия, печатайте Ф.И.О. авторов и наименования организаций, которые они представляют. После этого, отступив 3 интервала, печатайте основной текст.

Ответственный секретарь М.К. Мукушева тел. (095) 745-54-04, (322-51) 2-33-35, E-mail: MUKUSHEVA@NNC.KZ

> **Технический редактор** А.Г. Кислухин тел. (322-51) 2-33-33, E-mail: KISLUHIN@NNC.KZ

Адрес редакции: 490060, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.

© Редакция сборника «Вестник НЯЦ РК», 2000.

Регистрационное свидетельство №1203-Ж от 15.04.2000г.

Выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия Республики Казахстан

Печать трафаретная «DUPLO». Заказ 000103. Тираж 100 экз.

Выпуск набран и отпечатан в типографии Национального ядерного центра Республики Казахстан 490060, Казахстан, г. Курчатов, ул. Ленина, 6.

