

Вестник НЯЦ РК

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Издается с января 2000 г.

ВЫПУСК 2 «ГЕОФИЗИКА И ПРОБЛЕМЫ НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ», ИЮНЬ 2001

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

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ ВЫПУСКА – д.ф.-м.н. ЖОТАБАЕВ Ж.Р., БЕЛЯШОВА Н.Н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д.т.н. АРЗУМАНОВ А.А., к.т.н. АХМЕТОВ М.А.,
д.ф.-м.н. КАДЫРЖАНОВ К.К., КОНОВАЛОВ В.Е., д.ф.-м.н. КОСЯК Ю.Г., ПИВОВАРОВ О.С.,
к.ф.-м.н. СИТНИКОВ А.В., д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Ж.С., д.ф.-м.н. ТАКИБАЕВ Н.Ж.

ҚР ҰЯО Жаршысы

«ГЕОФИЗИКА ЖӘНЕ ТАРАТПАУ ПРОБЛЕМАЛАРЫ»

2 ШЫҒАРЫМ, МАУСЫМ, 2001 ЖЫЛ

NYC IRK Bulletin

«GEOPHYSICS AND NON-PROLIFERATION PROBLEMS»

ISSUE 2, JUNE 2001

УДК [550.34(574):621.039.9]:504.064.36(100)

ПЛАН РАЗМЕЩЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНЫХ СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕТИ МОНИТОИНГА В КАЗАХСТАНЕ И НА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ

Richards P.G., Won-Young Kim, Khalturin V.I.

Ламонт-Дохертская Земная обсерватория Колумбийского университета, США

Представляется трехлетняя программа прикладных исследований, начатая в марте 2000 г., с целью улучшенного определения сейсмических событий, публикуемых в Бюллетене Обзора Событий (БОС) Международного Центра Данных (МЦД) по результатам работы 30 станций Международной системы мониторинга (МСМ), расположенных в Восточной Азии. Описываются процедуры, предназначенные для улучшения калибровки сейсмических станций МСМ в Казахстане (АКТ, BRV, KUR, МАК), России (ZAL) и Кыргызстане (ААК).

Следуя рекомендациям двух симпозиумов по «Размещению калибровочных станций МСМ», проведенных в Осло (1999, 2000 гг.), в программе принят подход, который заключается в создании годографов для каждой наблюдаемой сейсмической фазы как функции расстояния и азимута (а, где возможно, и глубины) с использованием: (а) - ранее исследованных землетрясений, (b) - глубинного сейсмического зондирования, (с) - последних исследований ядерных и химических взрывов. Предполагается использовать также (d) - эмпирический метод, позволяющий анализировать фазы так называемых достоверных событий, зарегистрированных станциями с известным расположением.

Предполагается обеспечить возможность регулярно обнаруживать сейсмические события с погрешностью не более 1000 квадратных километров в целях мониторинга ДВЗЯИ.

ВВЕДЕНИЕ

Основными пользователями сейсмических данных являются: (1) исследователи, занимающиеся инженерной сейсмологией и уменьшением последствий землетрясений, (2) ученые, исследующие внутреннее строение Земли и физику сейсмических процессов, (3) национальные и международные группы, организованные для мониторинга соблюдения ДВЗЯИ. Хотя самыми основными данными в сейсмологии для всех этих пользователей являются сейсмограммы, на практике большинство работающих с сейсмическими данными (1)-(3) не используют сейсмограммы напрямую. Вместо этого, они чаще всего пользуются данными, полученными по сейсмограммам. Наиболее важные из этих данных - сейсмические бюллетени.

За последние 20 лет качество и количество сейсмограмм претерпело значительные улучшения, что связано с разработкой датчиков обратной связи и технологиями цифровой записи, позволяющими использовать большой динамический диапазон в широком диапазоне частот. Продолжаются революционные усовершенствования доступа к данным сейсмограмм с развитием спутниковых коммуникаций и распространением Интернета в самых удаленных регионах. Поэтому странно видеть, что качество главного продукта обработки данных, полученных с сейсмограмм, - глобального бюллетеня сейсмичности - не претерпело каких-либо значительных улучшений, необходимых заинтересованным пользователям (1)-(3). Геологическая служба США (USGS) и Международный Сейсмологический Центр (МСЦ) публикуют свои ежемесячные бюллетени с опозданием на срок от нескольких месяцев до лет, используя добровольно поданную информацию,

имеющую различное качество, проанализированную с использованием различных методов, которые почти не менялись в течение 60 лет.

Обзорный Бюллетень Событий (REB) группы контроля за соблюдением ДВЗЯИ, составляемый прототипом Международного Центра Данных (МСЦ) с января 1995 г. по февраль 2000 г., а позднее - МЦД в Вене, значительно превосходит другие бюллетени по срочности публикации. Однако оценка локализации REB и погрешности (эллипсы ошибок) не соответствуют требованиям ДВЗЯИ, который REB должен поддерживать. Для иллюстрации адекватности можно процитировать параграф 3 части II из протокола к ДВЗЯИ: "...Район Инспекции на месте представляет собой единое целое и его размер не превышает 1000 квадратных километров. Линейное расстояние в любом направлении не превышает 50 километров". В параграфе 41б утверждается также (со ссылкой на требования Инспекции на местах), что границы района, подлежащего инспекции, определяются по карте в соответствии с параграфом 3. Здесь следует обратить внимание, что для площади около 1000 км² радиус круга составляет величину всего порядка 18 км. Это требование приводит к возникновению технической проблемы для специалистов, работающих в МЦД и определяющих местонахождение события, поскольку их данные могут стать основой для проведения Инспекции на месте. Проблема усложняется, если событие имеет небольшую интенсивность и его локализация, произведенная в МЦД, основывается на региональных волнах, записанных отдельно на первичных и вспомогательных станциях. Следует заметить, что точная локализация важна для событий, по которым необходимо проведение инспекции на месте. Такие определения являются основными для всех

событий, которые относятся к группе обнаружения, так как на практике локализация (включая определение глубины события) в основном используется для растривания в МЦД и быстрой идентификации в Национальных Центрах Данных. Важно знать, расположен ли источник события под океаном, или на земле; превышает ли его глубина 10м, или близка от поверхности; на территории какой страны он находится.

Одним из первых заявлений о технических несоответствиях был отчет Роберта Норса по GSETT-3 спустя приблизительно два года после начала издания REB: «...большинство событий, описанных в ... (REB) плохо локализованы. При надежности определения 90% эллипсы ошибок превышают 1000 км² в 70% случаев, и 10000 км² в 30% случаев от всех событий REB. Более того, сравнение результатов локализации событий для территорий разных стран, произведенных собственными национальными, более плотными сетями, и локализаций из REB показывает, что только в половине случаев результат локализации, произведенной по данным национальной сети, находится в эллипсе ошибок с надежностью 90%. Одна из особенностей, которая вызывает сомнение, это то, что большое число событий будет записано только на телесеismicких расстояниях, и лишь несколько – только на региональных (менее 2000 км). Таким образом, необходимо разрабатывать соответствующие средства использования телесеismicких времен пробега, зависящих от трассы, и переходить от них к региональным годографам». На первом симпозиуме в Осло по калибровке локализации МСМ в январе 1999г. несколько докладчиков говорили о тех же самых проблемах, спустя 4 года после публикации REB: указанные эллипсы ошибок, построенные с надежностью 90% имели размер более 1000 км² и не включали действительное расположение источников событий в 90% случаев, из-за погрешности определения глубины неадекватно отражалась реальная ситуация. В выпуске REB от 20 февраля 2000 г. (последний выпуск REB перед передачей выпуска ежедневного бюллетеня в МЦД) было описано 15 сейсмических событий с магнитудой, больше или равной 4. Из этих 15 событий только 3 были локализованы с эллипсами ошибок менее 1000 км². Важно четко понять причину того, почему оценка локализации REB в настоящее время так неточна. Погрешность измерения времени вступления сейсмической волны обычно менее 1 секунды (и даже менее 0.1 секунды при хорошем отношении уровня сигнала к шуму), скорость сейсмической волны во внешнем слое Земли меньше 10 км/сек, а именно здесь происходят интересующие события и производятся измерения. Из этих данных получается, что сейсмический источник может быть определен с точностью в пределах нескольких километров при площадной погрешности менее 100 км². Это заключение принципиально верно, несмотря на то, что в настоящее время оно не достигнуто.

Причина состоит в отсутствии достаточно хорошей модели скоростной структуры Земли. Это наиболее типичная ошибка, происходящая не от сбора исходных данных, которая в настоящее время преобладает над ошибками конечного определения расположения источников событий (по крайней мере, для событий с магнитудой большей 4.5). Основная цель улучшения определения расположения сейсмических событий на основе времени вступления сейсмических волн может быть достигнута только при уменьшении влияния типичных ошибок.

На глубинах больше 200 км, скоростная структура Земли известна достаточно точно. Основные трудности в ее определении возникают на меньших глубинах, т.е. в пределах коры и верхней мантии. Здесь реальная скорость сейсмической волны может изменяться в неизвестных направлениях, возможно до 10% от скорости, допускаемой в IASPEI 91 или другой стандартной модели Земли. В действительности, Земля имеет негоризонтальные границы раздела, которые не учитываются в простых моделях Земли, и которые могут влиять на азимут распространения прибывающего сигнала. Вследствие этого, измеренные времена вступления и направления прихода телесеismicких волн, находятся под влиянием непредсказуемых путей неизвестной структуры Земли. Времена вступления и направления региональных волн, которые в основном зависят от тонкой структуры, могут подвергаться изменениям в большей степени, чем телесеismicкие волны. Например, если сейсмическое событие находится в 1000 км от станции МСМ и генерирует региональную волну, регистрируемую на станции, и, если вступление волны определяется с ошибкой скорости в 5%, то событие будет определено на расстоянии с погрешностью в 50 км.

Возможны три способа, позволяющие избежать незнания структуры Земли при локализации сейсмических событий и оценке погрешности (например, типичных ошибок):

1. использовать многочисленные станции, расположенные в различных азимутах вокруг источника события, таким образом усредняя эффект различия между реальной скоростной структурой Земли и ее моделью (в которой обычно скорость зависит от глубины);
2. получить информацию о скоростной структуре Земли и таким образом определить более сложную и более точную трехмерную модель для интерпретации времен вступления сейсмических волн;
3. провести калибровку станции (группы станций) с тем, чтобы интересующий источник мог быть определен относительно другого события, расположение которого известно точно и который расположен предпочтительно недалеко от интересующего источника.

В последнем способе данные неизвестного источника имеют различия во времени вступления для двух событий, записанных на каждой станции. В большинстве случаев по этим данным можно точно определить разницу между расположением известного и неизвестного источников, а затем определить расположение неизвестного источника. Аналогично, при достаточном количестве калибровочных событий и использовании соответствующих методов усреднения, можно использовать эмпирически определенные времена пробега для каждой сейсмической волны, для каждого потенциального расположения, для каждой станции.

Геологическая служба США и Международный Сейсмологический Центр (ISC) опираются на первый из приведенных способов - регулярную обработку данных станций, уменьшающую эффект использования неверной модели Земли. Исследовательское сообщество использует один или более способов (1), (2), (3), но, как правило, при изучении специальной группы, относящейся к очень малым регионам. МЦД ограниченно использует способ (1), так как REB основывается только на работе станций МСМ. Он начинает также использовать методы (2) и (3). Однако очевидно, что даже при огромных усилиях и сотнях специальных исследований, в короткие сроки невозможно в достаточной степени изучить трехмерную структуру неглубокой части Земли на глобальном уровне. Это ограничивает применение способа (2), хотя он мо-

жет быть успешно использован для некоторых регионов. Для применения остается способ (3) как самый важный и краткосрочный. Авторы статьи абсолютно согласны со следующей точкой зрения, выраженной в отчете симпозиума по калибровке локализации станций МСМ, проходившего 1 февраля 1999 г. в Осло (ДВЗЯИ/РГБ/ТЛ-2/18): «...такие калибровки необходимы для значительного улучшения точности локализации землетрясений, проводимых международными агентствами...», «...не было сделано никаких попыток включить эти поправки в регулярную обработку локализации на глобальном уровне».

В марте 2000г. авторами начато трехгодичное совместное научно-практическое исследование, проводимое в Ламонте и вовлекшее в работу консорциум из пяти институтов. Начата комплексная серия проектов, целью которых является улучшение возможностей определения сейсмического события на основе данных, собранных станциями МСМ в Восточной Азии. Для этого предполагается использовать данные 30 станций, список которых приводится в табл. 1 и размещение которых показано на рис.1. Наименование и координаты станций МСМ приведены в варианте "Приложения к Протоколу ДВЗЯИ" (1996), для которого в результате работ по проекту должны быть получены поправки для улучшения локализации событий по записям системы «источник – станция» (SSSC).

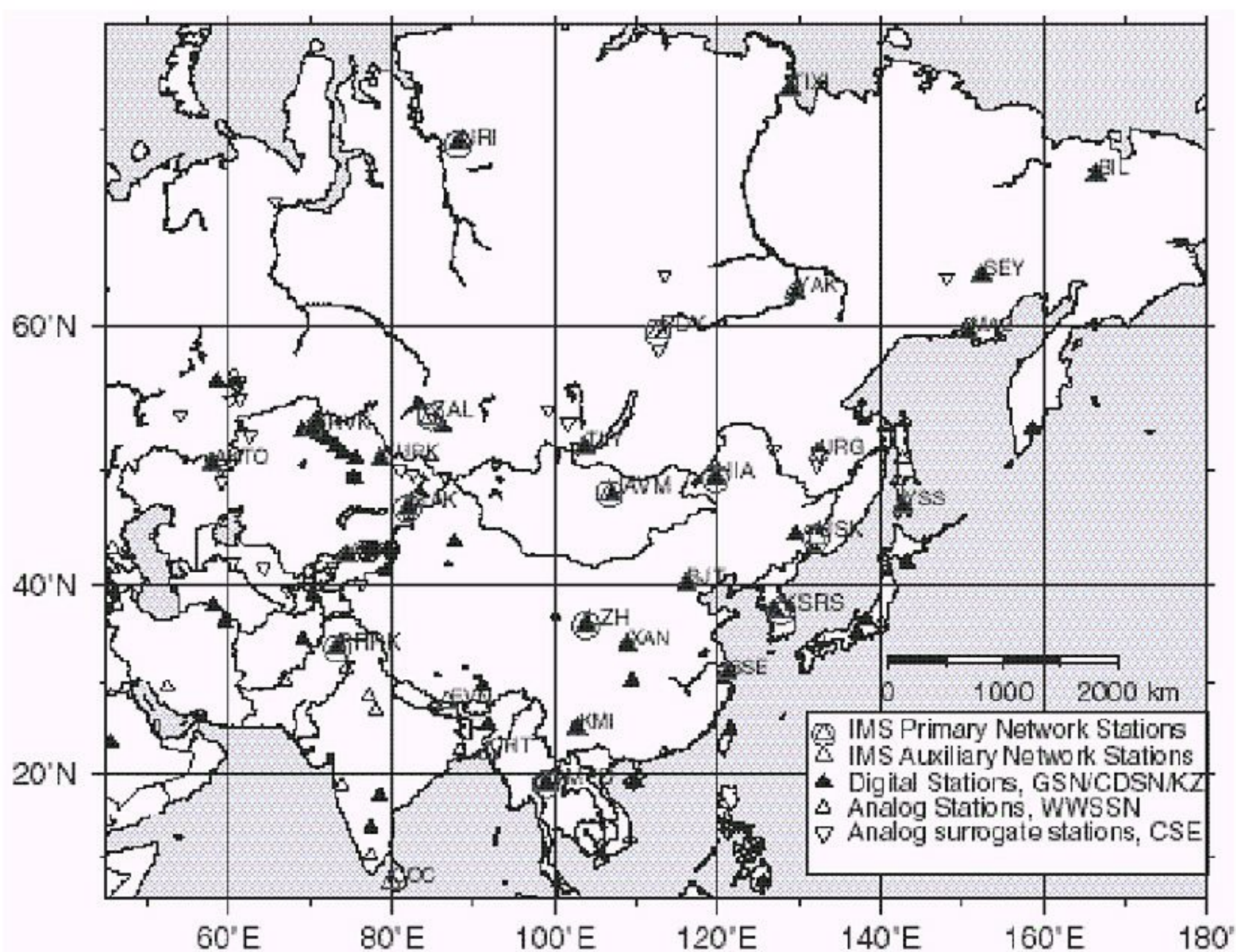


Рис. 1. Расположение 30 сейсмических станций, данные которых предполагается использовать в разработанном проекте

Помимо станций первичной и вспомогательной сети МСМ, на рис.1 показаны такие станции, расположенные вблизи станций МСМ, которые могут предоставлять данные, относящиеся к обсуждаемому проекту, для выбора фаз и/или волновых форм,

что позволит получить эмпирические времена пробега (так называемые "суррогатные" станции).

Основной метод совместных научно-практических исследований – использование различных, так называемых эталонных сейсмических событий в Вос-

точной Азии, местоположение которых было точно определено региональными или локальными сетями. Полученные времена пробега составят основу для построения их функциональной зависимости от расстояния и азимута. Именно эти функциональные зависимости будут предложены для улучшения локализации новых событий, которая должна превосходить результаты, полученные на основе действующих процедур (обычно, основанных на модели Земли IASPEI 91). Совместные научно-практические исследования предусмотрено провести по пяти проектам.

По первому проекту Ламонт-Дохертская Земная Обсерватория Колумбийского Университета будет работать над выбором расположения эталонных событий в Восточной Азии, для которых предполагаются ошибки локализации порядка 5 км или меньше (так называемые события GT5) и которые имеют магнитуду, достаточную для регистрации их станциями МСМ. В большинстве случаев эти требования были достаточны для включения в Обзорный Бюллетень Событий PIDC с 1995г.

Табл. 1. Список 30 станций МСМ, используемых в научно-практическом проекте

№	Код станции	Государство, ответственное за станцию	Местоположение	Широта	Долгота
1	PS12	Китай	Хайлар	49.27	119.74
2	PS13	Китай	Ланжоу	36.09	103.84
3	PS23	Казахстан	Маканчи	46.80	82.00
4	PS25	Монголия	Явхлант	47.99	106.77
5	PS29	Пакистан	Пари	33.65	73.25
6	PS31	республика Корея	Вонху	37.50	127.90
7	PS33	Российская Федерация	Залесово	53.94	84.81
8	PS34	Российская Федерация	Норильск	69.40	88.10
9	PS35	Российская Федерация	Пеледуй	63	112.70
10	PS37	Российская Федерация	Уссурйск	44.28	132.08
11	PS41	Таиланд	Чианг Май	18.80	99.00
12	AS7	Бангладеш	Читагонг	22.40	91.80
13	AS20	Китай	Байхиатуан	40.02	116.17
14	AS21	Китай	Кунминг	25.15	102.75
15	AS22	Китай	Шешан	31.10	121.19
16	AS23	Китай	Хиан	34.04	108.92
17	AS57	Казахстан	Боровое	53.06	70.28
18	AS58	Казахстан	Курчатов	50.72	78.62
19	AS59	Казахстан	Актюбинск	50.40	58.00
20	AS60	Киргизстан	Ала-Арча	42.64	74.49
21	AS68	Непал	Эверест	27.96	86.82
22	AS86	Российская Федерация	Сеймхан	62.93	152.37
23	AS87	Российская Федерация	Талая	51.68	103.64
24	AS88	Российская Федерация	Якутск	62.01	129.43
25	AS89	Российская Федерация	Ургал	51.10	132.36
26	AS90	Российская Федерация	Билибино	68.04	166.37
27	AS91	Российская Федерация	Тикси	71.66	128.87
28	AS92	Российская Федерация	Южно-Сахалинск	46.95	142.75
29	AS93	Российская Федерация	Магадан	59.58	150.78
30	AS100	Шри Ланка	Коломбо	6.90	79.90

По второму проекту Университет Вайоминг будет изучать наблюдаемые времена пробега 3000 трехкомпонентных записей станциями, расположенными на всей территории бывшего СССР и установленными для обнаружения региональных волн от 19 ядерных взрывов, проведенных во время программы глубинного сейсмического зондирования. Этот набор данных является бесценным источником для тщательной калибровки основных асейсмичных регионов России и Центральной Азии. Ожидается, что удастся найти аналоговые сейсмограммы для некоторых из этих 19 взрывов, записанные станциями в Восточной Азии, теперь являющимися частью МСМ, или станциями, которые использовались на площадках, расположенных близко к станциям МСМ («суррогатные» станции).

правок для трасс «станция – источник» (SSSC- поправки) для каждой из 30 станций МСМ. Эти поправки представляют разницу между временами пробега для предполагаемой идеальной модели (от любого определенного источника до определенной станции МСМ) и временами пробега, указанными в стандартной модели Земли IASPEI 91 (для того же маршрута). URS Greiner Woodward Clyde передаст эталонные данные для Индии, Непала, Пакистана, Тибета и опыт моделирования двухмерных структур. Университет Коннектикута поделится опытом построения трехмерных моделей.

По третьему проекту Mission Research Corporation (MRC) разработает и проведет тестирование времен пробега для станций МСМ, которые будут соответствовать эталонным данным и данным REB. Особое внимание MRC обратит на получение по-

Организации, выполняющие исследования по третьему проекту, и Университеты Вайоминга и Ламонт будут работать вместе по четвертому проекту, предусматривающему получение ожидаемых времен пробега для 30 станций МСМ в Восточной Азии. Ожидается, что в этом четвертом проекте ключевую роль будут играть примерно 70 мирных ядерных взрывов, проведенных в советское время и зарегистрированных многими станциями в Евразии. Предпо-

лагается также, что при работе над получением точной локализации землетрясений (GT5 или лучше), будут использованы современные методы группового определения местоположения большого числа землетрясений [П. Ричардс, IRIS Newsletter, 2000].

По пятому проекту члены консорциума будут работать совместно, чтобы оценить и сравнить степень улучшения локализаций с использованием разработанных поправок SSSC по отношению к методам, предусматривающим использование только стандартной модели Земли (IASPEI 91). Оценка достоверности является важным шагом, необходимым перед принятием поправок SSSC для оперативного использования.

В следующем разделе приводится описание нескольких наборов данных, важных для проекта и относящихся к станциям МСМ в Казахстане и на близлежащих территориях.

ДАННЫЕ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СТАНЦИЙ МСМ В КАЗАХСТАНЕ И НА ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ

Из большого количества литературных источников о сейсмических временах пробега, структуре земной коры и верхней мантии на территории Казахстана и в прилегающих регионах, отметим первое классическое исследование Нерсесова И.Л. и

Раутиан Т.Г. (1964 г.) по «Большому профилю», работы по которому были выполнены Комплексной сейсмологической экспедицией ИФЗ АН СССР. Халтурин В.И. и др. (2001г.) использовали сейсмические наблюдения подземных ядерных взрывов малой магнитуды, произведенных на Семипалатинском испытательном полигоне, а также хорошо локализованных землетрясений с целью заново получить годографы Нерсесова И.Л. и Раутиан Т.Г., и адаптировать их к условиям данного полигона и прилегающих районов. Используя несколько станций, они локализовали ряд событий малой магнитуды, произошедших на полигоне, с точностью до 5 км. Сравнение с эталонными данными, полученными после произведения сейсмической оценки, подтвердило эти результаты.

В табл. 2 дан перечень 27 профилей глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), пройденных в Центральной Азии. Таблица составлена по информации, помещенной в работах Антоненко А.Н. (1984 г.), Шацилова В.И. (1993 г.), Зуннунова Ф. Х. (1985 г.), а также в работе [7]. На Рис. 2 показано расположение этих 27 профилей. Часть их состоит из двух и более сегментов (номера профилей, приведенные на Рис. 2, 3 и в Табл. 2-4 соответствуют друг другу).

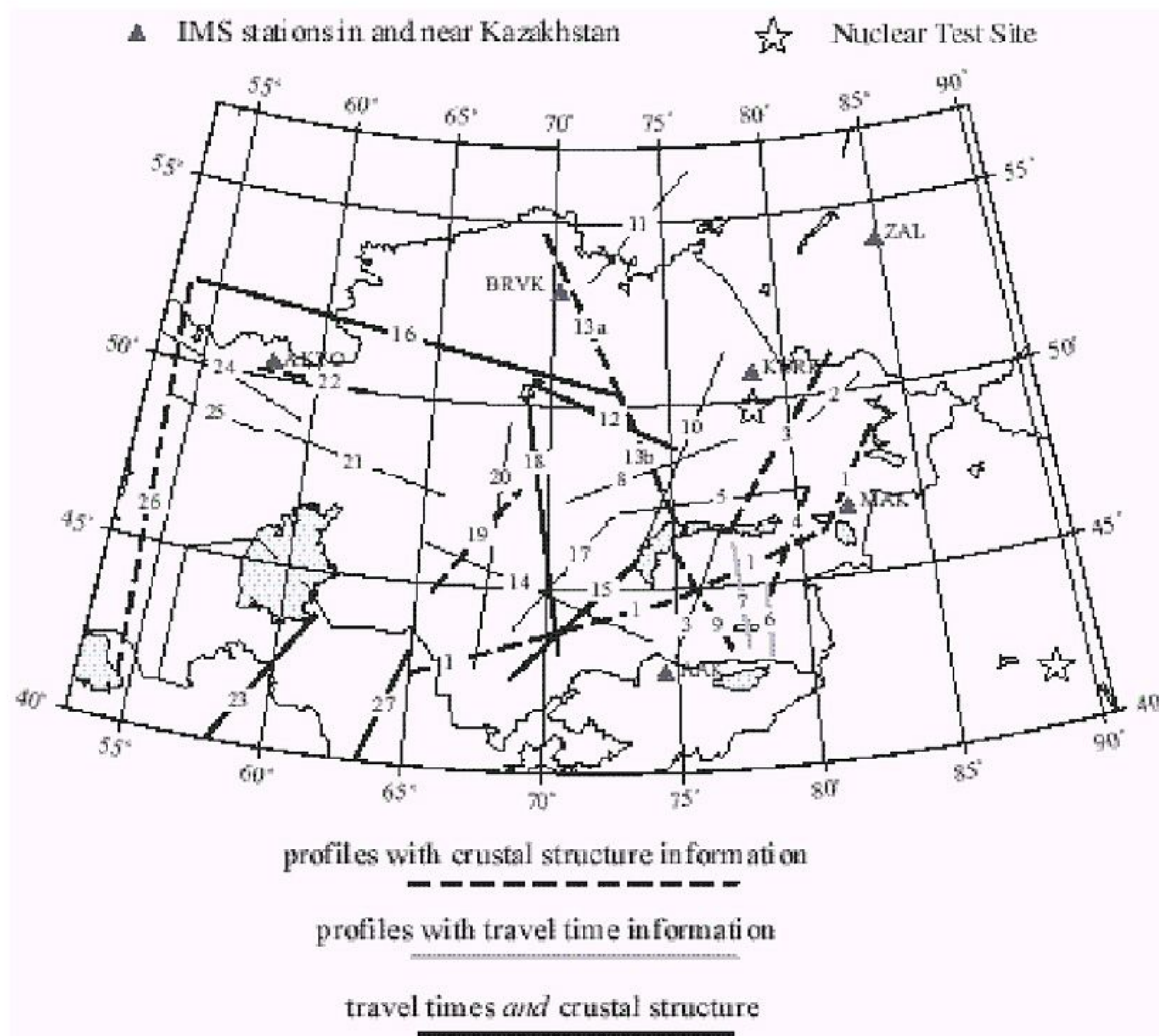


Рис. 2. Расположение 27 профилей ГСЗ на территории Казахстана и прилегающих регионах

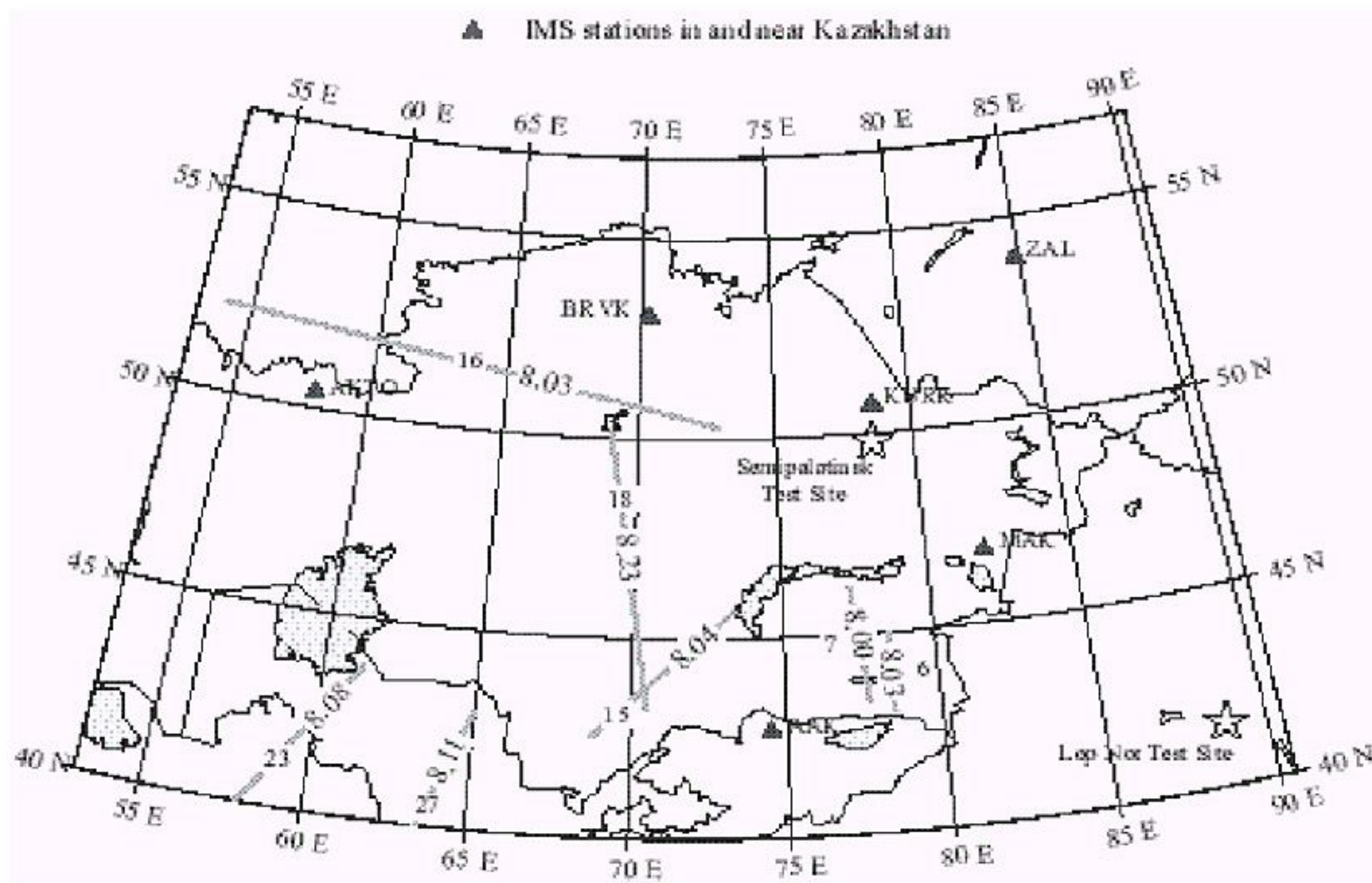


Рис. 3. Фазовые скорости Pn-волн (км/с) по данным ГСЗ для семи профилей, расположенных на территории Казахстана и прилегающих регионов

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проектами предусмотрено использование большого количества дополнительных данных. Дополнительные данные, относящиеся к калибровке станций МСМ на территории Казахстана и прилегающих территориях, включают в себя:

- Времена вступлений сигналов от мирных ядерных взрывов, записанных станциями МСМ и станциями, не включенными в МСМ.
- Времена вступлений сигналов от подземных ядерных взрывов, произведенных на полигонах, записанных станциями МСМ и станциями, не включенными в МСМ.
- Времена вступлений сигналов от химических взрывов с известными координатами гипоцентров (например, взрывы, произведенные в последние годы на Семипалатинском испытательном полигоне).
- Времена вступлений сигналов землетрясений, гипоцентры которых известны с точностью GT5, зарегистрированных станциями МСМ, или заме-

няющими их станциями («суррогатными станциями»).

Для получения станционных поправок с использованием эмпирических данных о времени пробега сейсмических волн предполагается использовать несколько методов. Первый метод описан в [2], где весь регион Восточной Азии сначала делится на субрегионы, для каждого из которых по имеющейся информации получают зависимость времен пробега основных региональных сейсмических фаз (Pg, Pn, Sn, Lg) от расстояния. Пример такой предварительной регионализации для большей части Евразии показан на рис. 4. Данный подход и предварительная регионализация, приведенная на рис.4, основываются на предположении, что внутри каждого из субрегионов структура не изменяется и для региональных сейсмических волн (Pg, Pn, Sn, Lg) зависимость времени пробега от расстояния одинакова в пределах субрегиона.

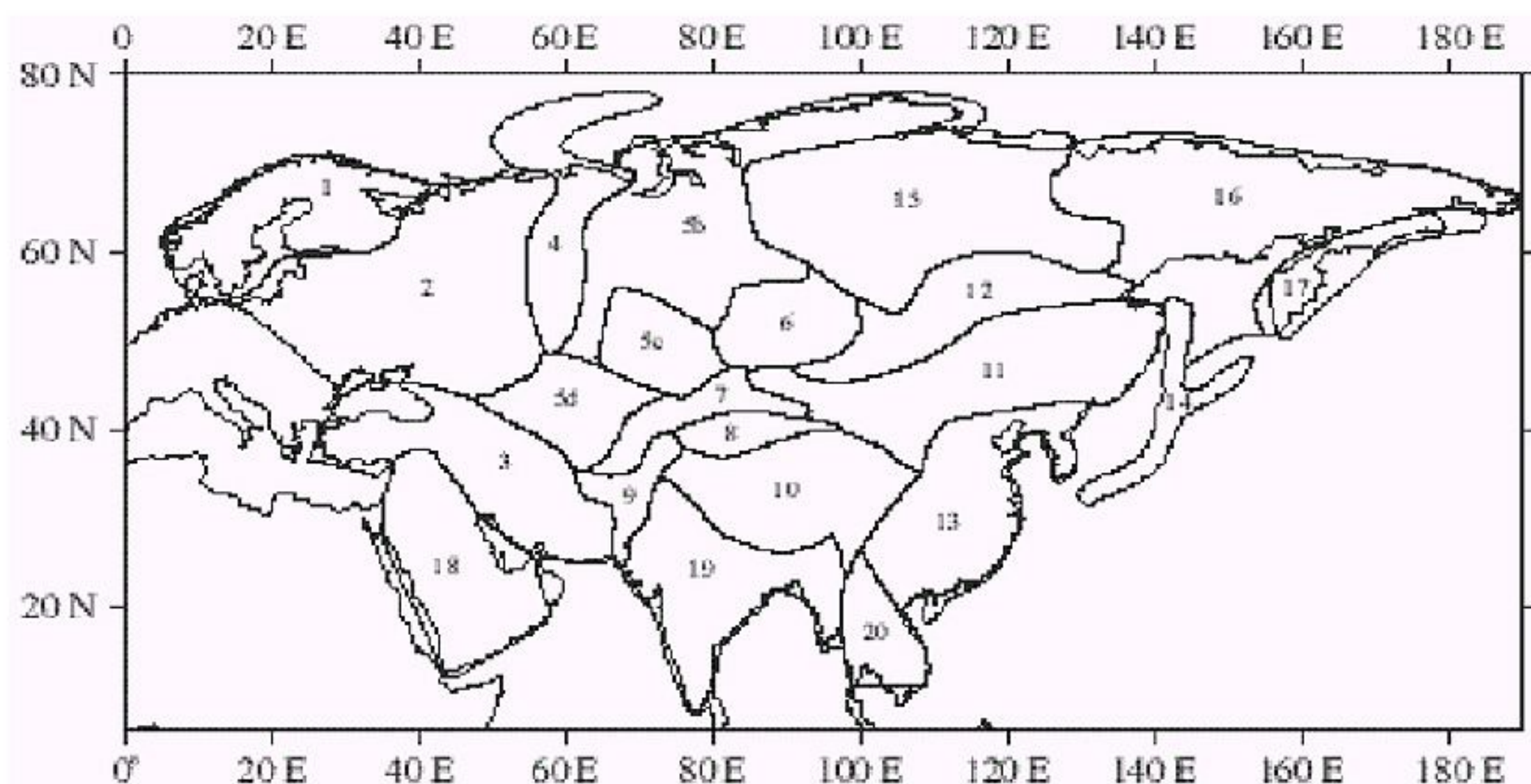


Рис. 4. Предварительная регионализация части Евразии для вычисления времен пробега региональных сейсмических волн до станций МСМ, расположенных в Восточной Азии

Так как времена пробега, а, следовательно, и структура будут установлены для каждого субрегиона, будет возможно вычислить время пробега от любой точки территории, показанной на рис.4, до каждой из 30 станций МСМ, которые предполагается откалибровать. Для трассы, пересекающей одну или несколько границ раздела субрегионов, время пробега будет определяться методом интегрирования по реальному пути луча, который в общем случае будет испытывать преломление на границах раздела субрегионов, так что луч может не находиться в одной и той же вертикальной плоскости. Однако в [6] предложена следующая простая формула для получения приближенного времени пробега на расстоянии X :

$$T(X) = \sum (x_i/X) * T_i(X)$$

Здесь индекс i - текущий номер региона, пересекаемого лучом, а x_i и $T_i(X)$ - путь и время пробега (для полного пути, равного X) в i -ом субрегионе, соответственно. Таким образом, искомое время пробега определяется как средневзвешенное от времен пробега в каждом субрегионе, где вес (x_i/X) - есть доля пути в каждом данном субрегионе от полной длины пробега. Однако приведенная формула применима к субрегионам, размерами менее 1000 км, и не действительна при длине пробега сигнала более 1000 км. В последнем случае может быть использовано соотношение между T_i и X для случая, когда длина пробега больше, чем размер субрегиона. Когда получено $T(X)$, тогда значение стационарной поправки выражается формулой:

$$T_{SSSC} = T(X) - T_{IASPE191}$$

Предполагается использовать дополнительные методы определения времени пробега $T(X)$ по эмпирическим данным:

- разработать набор изменяющихся региональных сейсмических скоростей с использованием метода томографии и последующего вычисления времени пробега в полученной трехмерной структуре;
- разработать чисто эмпирический подход, при котором, в случае достаточного количества информации о временах пробега, время пробега на заданном пути вычисляется путем прямого усреднения локальных значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко А. Н., 1984. Глубинная структура земной коры в Казахстане (по сейсмическим данным), Наука, Алма-Ата. 242.
2. Bondár, I., 1999. Combining 1-D models for regional calibration, in Proceedings of a Workshop on IMS Location Calibration, Oslo, January 1999.
3. Khalturin, V.I., T.G. Rautian, and P.G. Richards, 2001. A study of small magnitude seismic events during 1961 – 1989 on and near the Semipalatinsk Test Site, Kazakhstan, Pure appl. Geophys., 158, 143 – 171.
4. Нерсесов И. Л., Раутиан Т. Г., 1964. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км, Институт Физики Земли, Москва, т32 стр. 63-87.
5. Шацкилов В.И. в соавторстве, 1993. Скоростные модели земной коры в Казахстане. Издательство Евразия, Алматы, 105 стр.
6. Зуннунов Ф.Х., 1985. Литосфера Центральной Азии по сейсмическим данным, Ташкент, изд. ФАН, 108 стр.
7. Сейсмические модели литосферы основных геоструктур на территории СССР, 1980.

В табл. 5 и табл.6 приведены времена пробега сигналов, которые используются в настоящее время для интерпретации вступлений региональных сейсмических волн для Казахского массива, районов Алтая и Саян. (рис. 4).

Табл. 5. Времена пробега сейсмических волн для Казахского массива

R, км	Уравнения времени пробега
1. Времена пробега для первого вступления P волны (Pg или Pn)	
0 – 200	$t(Pg) = R/6.21 + 0.8$
200- 900	$t(Pn) = R/8.13 + 8.4$
900-1600	$t(Pn) = R/8.36 + 11.4$
1600-2000	$t(Pn) = R/8.73 + 19.5$
2000-2200	$t(P) = R/9.57 + 39.6$
2200-2400	$t(P) = R/10.10 + 51.7$
2400-2700	$t(P) = R/10.95 + 70.1$
2700-3400	$t(P) = R/12.00 + 91.5$
2. Время пробега для одиночной волны Pg	
50-1200	$t(Pg) = R/6.21 + 0.8$
3. Время пробега для волны Sn	
200-1300	$t(Sn) = R/4.68 + 13.8$
4. Время пробега для волны S	
1200-2000	$t(S) = R/5.58 + 94.7$
5. Время пробега для волны Lg	
200-1100	$t(Lg) = R/3.57 + 0.50$
1100-2500	$t(Lg) = R/3.61 + 4.0$

Табл. 6. Времена пробега сейсмических волн для района Алтая и Саян.

R, км	Уравнения времени пробега
1. Времена пробега для первого вступления P волны (Pg или Pn)	
50-200	$t(Pg) = R/6.13 + 0.3$
200-900	$t(Pn) = R/8.13 + 8.3$
900-1600	$t(Pn) = R/8.36 + 11.3$
1600-2000	$t(Pn) = R/8.73 + 19.4$
2000-2200	$t(P) = R/9.30 + 33.4$
2200-2500	$t(P) = R/10.1 + 52.2$
2. Время пробега для одиночной волны Pg	
50 - 1200	$t(Pg) = R/6.13 + 0.3$
3. Время пробега для волны Sn	
200 - 1200	$t(Sn) = R/4.56 + 12.7$
4. Время пробега для волны Lg	
50 - 2000	$t(Lg) = R/3.57 + 0.5$

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа авторов статьи по калибровке станций МСМ основывалась на большом объеме данных, собранных сейсмологами по данному региону. Будущая работа также будет зависеть от помощи сейсмологов, работающих в интересующей нас области.

**ХМЖ ҮЛГІЛЕУ СТАНЦИЯЛАРЫН ҚАЗАҚСТАНДА ЖӘНЕ
ЖАНАСҚАН АУМАҚТАРДА ОРНАЛАСТЫРУ ЖОСПАРЫ**

Paul G. Richards, Won-Young Kim, Vitaly I. Khalturin

Колумбия университетінің Ламонт-Дохерт жер обсерваториясы

Халықаралық мониторинг жүйесінің Шығыс Азияда орналасқан 30 станциялардың жұмысы нәтижелері бойынша, Халықаралық Деректер Орталығының Оқиғаларды Шолу Бюллетенінде жарияланған сейсмикалық оқиғаларды жақсартып анықтау мақсатымен, 2000 ж. наурызда басталған қолданбалы зерттеулердің үшжылдық бағдарламасы ұсынылған. Қазақстандағы (АКТ, BRV, KUR, МАК), Ресейдегі (ZAL) және Қырғызстандағы (ААК) сейсмографиялық станцияларының үлгілеуін жақсартуына арналған рәсімдері хатталған.

«ХМЖ үлгілеу станцияларын орналастыру» жөніндегі Ослода (1999, 2000 ж.ж.) өткен екі симпозиумның ұсыныстарын қолдана, қашықтық пен азимуттың (мүмкіншілігінде терендігінде) фунуциясы болатын әрбір байқалған сейсмикалық фазасына, (a) – бұрын зерттелген жер сілкіністерін, (b) – терең сейсмикалық зондылауын, (c) – ядролық және химиялық жарылыстардың соңғы зерттеулерін пайдаланып, годограф құрастыруында тұратын тәсілі қабылданған. Сонымен қатар, орналасқан жері белгілі станциялармен тіркелген анық деп аталатын оқиғалардың фазалары талданатын (d) эмпириалық әдісін қолдануы болжауда.

ЯСБТШ шегінде мониторинг мақсатында 1000 текше километрден аспайтын қателігімен сейсмикалық оқиғаларын жүйелі байқауын қамтамасыз етуі болжауда.

A PLAN FOR LOCATION CALIBRATION OF IMS STATIONS AND NEAR KAZAKHSTAN

Paul G. Richards, Won-Young Kim, Vitaly I. Khalturin

Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University

For purposes of monitoring compliance with the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty, it is desirable to be able to locate seismic events routinely to within an uncertainty not greater than 1000 square km. From more than five years of experience with publication of the Reviewed Event Bulletin (REB) by the Prototype International Data Centre (PIDC), resulting in estimated locations for more than 100,000 seismic events, it is apparent that improved location accuracy is needed in order to reduce uncertainties below 1000 square km. In this paper, we outline a three-year program of applied research which commenced in March 2000 and which has the goal of achieving improved REB locations based upon data to be contributed to the International Data Centre from 30 IMS stations in Eastern Asia. Our first efforts will focus on the four IMS seismographic stations in Kazakhstan (АКТ, BRV, KUR, МАК), together with IMS stations ZAL in Russia and ААК in Kyrgyzstan.

Following the recommendations of two “IMS Location Calibration Workshops” held in Oslo, Norway, in 1999 and 2000, our approach is to generate station-specific travel times for each observable seismic phase, as a function of distance and azimuth (and depth, where possible). Such travel times are obtained on the basis of (i) early studies based mainly on earthquake data (e.g. Nersesov and Rautian, 1964), (ii) Deep Seismic Sounding, and (iii) recent studies of nuclear and chemical explosions. We are also using (iv) an empirical approach in which phases are picked at IMS stations, for so-called Ground Truth events whose location is known quite accurately on the basis of additional data, obtained for example from local and regional networks