
НОРВЕГИЯ**Проверка соблюдения всеобъемлющего запрещения
ядерных испытаний**

**Доклад о работе Семинара по сейсмологическим аспектам контроля
за соблюдением запрещения ядерных испытаний, проходившего
в Осло, Норвегия, 14-17 февраля 1990 года**

Всеобъемлющее запрещение ядерных испытаний должно сочетаться с эффективными мерами проверки, направленными на то, чтобы исключить проведение ядерных испытаний в любой среде, т.е. в атмосфере, в космическом пространстве, под водой и под землей. Основным средством обнаружения и идентификации подземных ядерных взрывов является сейсмология, и в связи с этим она закладывает основу для наблюдения за всеобъемлющим запрещением ядерных испытаний в подземной среде. Такова подоплека, на фоне которой 14-17 февраля 1990 года в Осло, Норвегия, проходил Семинар по сейсмологическим аспектам контроля за соблюдением запрещения ядерных испытаний.

Семинар принимало министерство иностранных дел Норвегии, а в качестве организатора выступала Норвежская сейсмическая группа (НОРСАР) в сотрудничестве с Норвежским советом по контролю над вооружениями и разоружению.

Цель Семинара заключалась в том, чтобы лучше высветить различные аспекты сейсмологического контроля за соблюдением всеобъемлющего запрещения ядерных испытаний посредством проведения брифингов и демонстраций на сейсмологических объектах Норвегии, а также посредством представления результатов последних исследований.

На семинаре присутствовали 76 ученых и представителей из 21 страны, и в том числе большое число сейсмологов, принимающих участие в работе Группы научных экспертов (ГНЭ) Конференции по разоружению в Женеве. По приглашению норвежского правительства в работе Семинара в качестве почетного гостя участвовал Генеральный секретарь Конференции по разоружению посол Мильян Коматина.

В своем приветственном слове государственный секретарь Норвегии по иностранным делам г-н Кнут Воллебек заявил, что проведение в Осло этого Семинара свидетельствует о том, что правительство Норвегии придает большое значение Конференции по разоружению и норвежскому участию в работе Конференции. Он подчеркнул, что эффективная проверка является важнейшим компонентом запрещения испытаний как в плане обеспечения соблюдения, так и в плане укрепления доверия. Касаясь работы Группы научных экспертов,

г-н Воллебек заявил, что глобальная сейсмологическая сеть стала бы существенным элементом системы контроля за запрещением ядерных испытаний. По мнению правительства Норвегии, такая сеть должна быть оснащена высококачественной аппаратурой и использовать последние технические достижения в области компьютерной техники и средств передачи данных. В этом отношении г-н Воллебек особо остановился на прогрессивных малоапертурных сейсмогруппах НОРЕСС и АРКЕСС, которые были установлены в Норвегии в последние годы, и заявил, что подобного рода сейсмогруппы могут стать важным компонентом глобальной сейсмической сети, предлагаемой ГНЭ.

Государственный секретарь по иностранным делам подчеркнул, что исследования в рамках НОРСАР представляют собой одну из попыток Норвегии найти решения для неурегулированных проблем проверки в связи с запрещением ядерных испытаний. Большое значение придается сохранению НОРСАР в качестве исследовательского центра, открытого для ученых из всех стран, причем кое-кто из таких ученых занимается исследовательской деятельностью в НОРСАР до двух лет. Г-н Воллебек также подтвердил, что правительство Норвегии предоставит возможность использовать норвежские сейсмологические объекты в качестве участвующих наблюдательных центров в рамках глобальной сети.

Директор НОРСАР д-р Фроде Рингдаль в порядке представления охарактеризовал норвежскую программу сейсмологического контроля. В Центре обработки данных НОРСАР для участников был проведен демонстрационный показ, включающий следующие мероприятия:

- характеристика норвежских сейсмогрупп;
- обнаружение землетрясений и подземных ядерных взрывов;
- анализ сейсмических сигналов с использованием данных региональных сейсмогрупп;
- международный обмен сейсмическими данными с акцентом на проводимый Группой научных экспертов эксперимент ТЭГНЭ-2.

Участники также осмотрели полевые установки Норвежской региональной системы сейсмоприемников (НОРЕСС), которая представляет собой малоапертурную сейсмогруппу и использует новейшие научно-технические достижения в области проектирования и приборного оснащения сейсмогрупп, а также обработки данных. Родственная ей сейсмогруппа (АРКЕСС) расположена в арктической области Финнмарк в Северной Норвегии. В свете того, что потенциально такие сейсмогруппы позволили бы значительно улучшить возможности контроля за соблюдением будущего договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, Норвегия предложила Конференции по разоружению (CD/714) использовать концепцию НОРЕСС/АРКЕСС в качестве основы для сейсмических станций в рамках предусматриваемой ГНЭ глобальной сети.

После брифингов и демонстраций был проведен трехдневный научный симпозиум, цель которого заключалась в оценке достигнутого в региональных сейсмогруппах уровня исследований и смежных проблем. В частности, симпозиум сосредоточился на результатах исследований, проводимых с помощью НОРЕСС и АРКЕСС. Специальное заседание было посвящено обобщению накопленного опыта и обсуждению дальнейших планов в связи с текущим международным экспериментом ГНЭ (ТЭГНЭ-2).

В приложении к настоящему документу приводится краткий обзор некоторых результатов, представленных в ходе этого научного симпозиума.

И, наконец, Семинар в Осло показал, что в последние годы был достигнут значительный прогресс в области сейсмического наблюдения. Он, в частности, продемонстрировал технические достижения в области сейсмической аппаратуры, передачи данных и компьютерной обработки, о чем свидетельствует создание прогрессивных региональных сейсмогрупп, оснащенных весьма совершенными средствами автоматической и интерактивной обработки сигналов. Сообщения, представленные в ходе научного симпозиума, показали, что эти технические достижения сочетаются со значительным научным прогрессом, хотя еще предстоит большая работа в целях полнейшего использования потенциальных возможностей региональных сейсмогрупп в контексте сейсмического наблюдения. Исследования в этом направлении станут центральным элементом дальнейших усилий, предпринимаемых в рамках Норвежской программы сейсмического контроля, и их результаты будут представлены Группе научных экспертов в Женеве.

Приложение

Резюме научных сообщений, представленных в ходе Симпозиума по региональным сейсмогруппам и контролю за соблюдением запрещения ядерных испытаний, проходившего в Осло в 1990 году

Развитие региональных сейсмогрупп

Обзоры последних событий по региональным сейсмогруппам были представлены применительно к НОРЕСС и АРКЕСС в Норвегии [1], применительно к ГЕРЕСС в Федеративной Республике Германии [2] и применительно к ФИНЕСА в Финляндии [3]. В документе [1] характеризуются концептуальные разработки, увенчавшиеся созданием первой региональной сейсмогруппы НОРЕСС, и освещается вопрос о том, как успешная реализация этой новой концепции сейсмогруппы стимулировала развертывание дополнительных сейсмогрупп подобного рода. В этом докладе задокументирована базовая методика обработки сигналов, используемая на сейсмогруппах при проведении анализа данных в реальном масштабе времени, и продемонстрирована высокая эффективность таких сейсмогрупп с точки зрения сейсмического обнаружения на региональных расстояниях (менее 2 000 км). В нем показано, что НОРЕСС и АРКЕСС способны с 90-процентной вероятностью обнаруживать сейсмические явления с магнитудой 2,5, если эти явления происходят на расстоянии в пределах 1 000 км. В докладе, однако, подчеркивается, что порог идентификации явлений не может не превышать порог обнаружения. Как свидетельствуют документы, сейсмогруппа ФИНЕСА также отличается высокой эффективностью [3], и в совокупности эти три сейсмогруппы способны очень точно (обычно в пределах 10–20 км) определять местонахождение слабых сейсмических явлений в Фенноскандии. Разрабатываемая в настоящее время сейсмогруппа ГЕРЕСС во многом обладает столь же высокой эффективностью [2] и позволит в еще большей мере обеспечить превосходный региональный охват обширных частей Северной Европы.

Обработка данных сети региональных сейсмогрупп

Последние технические достижения позволяют применять весьма совершенные методы обработки данных в ходе исследований в области сейсмического контроля с использованием сети сейсмогрупп и одиночных станций, о чем свидетельствует разработка интеллектуальной системы наблюдения (ИСН) [4], [5]. Две цели этой системы заключаются в следующем: 1) продемонстрировать эффективность и возможности системы с точки зрения наблюдения за слабыми явлениями на региональных расстояниях; 2) изучить перспективы использования концепции экспертных систем для повышения эффективности наблюдения по мере накопления опыта. Первый рабочий вариант, описанный в документе [4], предусматривает обработку данных НОРЕСС и АРКЕСС, тогда как последующие варианты будут охватывать и сети, включающие как сейсмогруппы, так и одиночные станции. ИСН предполагает освоение и интеграцию многих новых компьютерных технологий, однако адекватность этой концепции оформлена документально, исходя из оценки ее первоначальных рабочих характеристик [5].

Методы анализа сигналов

Ряд сообщений был посвящен методам обработки сейсмических сигналов, зарегистрированных как трехкомпонентными станциями, так и сейсмогруппами. Было продемонстрировано, что оба типа станций могут давать очень полезную информацию для идентификации фаз, расчета азимутов и оценки кажущейся скорости обнаруженных фаз. Как показывают теоретические прикидки, а также экспериментальные сопоставления [12], [26], [14], сейсмогруппы обладают в этом

отношении преимуществами при малых значениях соотношения сигнал-шум, хотя на точность, например, оценок азимута влияет ряд факторов, и в том числе тип фазы, частота сигнала и систематическая погрешность, обусловленная неоднородностью строения Земли [14], [18], [26]. Весьма перспективным подходом, рассматриваемым в документе [17], является комбинированный анализ данных трехкомпонентных станций и сейсмогрупп.

В нескольких докладах рассматриваются методы обнаружения сигналов. В документе [11] освещается система оперативного обнаружения и анализа сигналов, применяемая на советской трехкомпонентной станции в Казахстане. В документе [13] описана методика обнаружения на основе использования данных сейсмогруппы НОРЕСС и данных трехкомпонентных станций. В документе [7] – применительно к данным сейсмогрупп и в документе [15] – применительно к данным трехкомпонентных станций представлен статистический подход к обработке и оценке данных обнаружения, в основе которого лежит использование адаптивных методов. В документе [25] представлен новый подход к получению точных оценок соотносительного местоположения сейсмических явлений с использованием высокочастотных записей.

Идентификация источника

При проведении исследований в области дифференциации сейсмических явлений основное внимание традиционно уделяется разграничению землетрясений и подземных ядерных взрывов. Согласно договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, основное внимание будет уделяться обнаружению и идентификации слабых сейсмических явлений, но при этом будет важно иметь в виду и еще одну – третью категорию таких явлений: мощные химические взрывы в промышленных целях (например, при горных разработках). В документе [10] описан весьма перспективный метод, применяемый к данным сейсмогруппы НОРЕСС для разграничения землетрясений и серийных карьерных взрывов (горно-взрывные работы, заключающиеся в проведении нескольких взрывов, тесно сгруппированных во времени и пространстве). На основе использования спектральных характеристик сигналов предлагается "автоматический" разграничитель, позволяющий рассчитать вероятность того, что в каждом конкретном случае имеет место серийный взрыв.

В документе [8] реализуется новый подход, основанный на использовании искусственных нейронных сетей для разработки процедуры дифференциации землетрясений и горно-взрывных работ. Кроме того, в рамках этого подхода в качестве основы для процедур разграничения выступают спектральные характеристики сигналов. Нейронная сеть, как представляется, позволяет, в частности, улучшить выделение посторонних элементов совокупности и сократить число неясных явлений. Применение нейронных сетей для повышения эффективности обработки сейсмических данных рассматривается также в документе [9].

С точки зрения идентификации источника значительный интерес представляет также предлагаемый в документе [16] метод, в основе которого лежит применение передаточных функций для взаимного преобразования, например, записей предполагаемых одиночных взрывов и серийных взрывов, а также записей различных датчиков НОРЕСС по конкретному явлению. В перспективе это позволило бы повысить согласованность сейсмических фаз, зарегистрированных на той или иной сейсмогруппе, а соответственно, и привело бы к улучшению оценки параметров источника. В документе [6] обсуждается подход к идентификации явлений на основе покомпонентного анализа и применяется методика сопоставления огибающих линий волновых форм применительно к ряду землетрясений и взрывов, имевших место в Западной Норвегии.

Пороги обнаружения и внутринациональные сети

Хотя первоначально региональные сейсмогруппы были предназначены для повышения возможности обнаружения и определения характера слабых сейсмических явлений на региональных расстояниях, они оказались весьма эффективны и в телесеismicком диапазоне. Например, опубликованные данные о мощности советских подземных ядерных взрывов в Семипалатинске были использованы для оценки порога обнаружения НОРЕСС с точки зрения взрывной силы применительно к явлениям, происходившим на этом испытательном полигоне [21]. Согласно расчетам, порог обнаружения НОРЕСС составляет всего 0,1 кт, исходя из полного отсутствия эффекта декаплинга и при нормальном шумовом фоне. Как отмечается, НОРЕСС находится в особенно благоприятных условиях для обнаружения слабых явлений, происходящих на этом испытательном полигоне, причем порог идентификации сейсмических явлений будет неизбежно превышать порог обнаружения.

Данные новых советских станций Глобальной сейсмической сети, установленных в рамках проекта сотрудничества между американскими и советскими учеными, были использованы в рамках нескольких исследований для рассмотрения проблем, возникающих в связи с внутринациональными сетями наблюдения. В документе [19] проводится анализ уровней сейсмического шума на этих станциях и делается вывод о том, что в диапазоне 1-20 Гц уровни сейсмического шума выше, чем на НОРЕСС, причем максимальная разница составляет от 7 до 25 дБ в зависимости от конкретной станции. Однако благодаря скважинной установке можно добиться значительного снижения фонового шума.

В документе [22] на основе использования данных СССР рассматривается вопрос о затухании региональных сейсмических фаз в зависимости от частоты. Установлено, что характеристики затухания идентичны соответствующим характеристикам, отмеченным в Скандинавии, однако в Восточном Казахстане абсолютная амплитуда P_n почти в два раза выше для фиксированной магнитуды L_g .

В документе [20] проводится анализ записей семипалатинских ядерных взрывов, полученных на новой станции Глобальной сейсмической сети в Советском Союзе, а также данных станций Китая и показывается, что среднеквадратичный L_g может быть измерен с высокой степенью согласованности на весьма разрозненных станциях. Стандартное отклонение расхождений между парами станций составляет всего 0,3-0,4 логарифмической единицы, и надежные измерения можно производить при магнитуде (m_p) примерно до 4,0 применительно к станциям, расположенным приблизительно в 1 500 км от Семипалатинска. Отмечается важность этой констатации с точки зрения проведения оценок мощности ядерных взрывов до одной килотонны, а то и ниже.

Структура земли, распространение волн, рассеяние

Несколько документов посвящено изучению общих проблем сейсмологии и геофизики в тех областях, которые имеют отношение к проблеме сейсмического наблюдения. Структура коры и верхнего слоя мантии в отдельных частях Северной Евразии рассматривается в документах [23], [24], [27] и [29], причем в трех последних документах конкретно привлекаются данные региональных сейсмогрупп. В ряде документов, например, в документах [13], [26], [28], [29], [30], рассматривается вопрос о распространении и рассеянии сейсмических волн.

Библиография

- [1] Svein Mykkeltveit¹, Frode Ringdal¹ and Ralph W. Alewine² — ¹ NORSAR, Norway, and ² DARPA, USA: "Application of Regional Arrays in Seismic Verification Research"
- [2] Hans Peter Harjes — Bochum Univ., Fed. Rep. of Germany: "Design and Siting of a New Regional Array in Central Europe"
- [3] Marja Uski — University of Helsinki, Finland: "The Upgraded FINESA Array and Experiences of Data Analysis"
- [4] Thomas C. Bache¹, James Wang¹, Robert M. Fung², Cris Kobryn¹ and Jeffrey Given¹ — ¹ Science Applications International Corp., USA, and ² Advanced Decision Systems, USA: "The Intelligent Monitoring System"
- [5] Steven Bratt, Henry Swanger, Richard Stead and Floriana Ryall — Science Applications International Corp., USA: "Results from the Intelligent Monitoring System"
- [6] Douglas Baumgardt and Gregory Young — ENSCO, Inc., USA: "Regional Seismic Waveform Patterns and Case-based Event Identification using Regional Arrays"
- [7] A. Kushnir, V. Laphsin, V. Pinsky and V. Pisarenko — Inst. of Physics of the Earth, USSR: "Statistical Procedures for Seismic Signal Detection and Estimation by using Small Array Data."
- [8] Paul Dysart¹ and Jay Pulli² — ¹ Science Applications International Corp., USA, and ² Radix Systems, Inc., USA: "Regional Seismic Event Classification at the NORESS Array: Seismological Measurements and the Use of Trained Neural Networks"
- [9] Kenneth Anderson — BBN, USA: "Automatic Improvement of Seismic Array Performance"
- [10] Michael J. Hedlin, J. Bernard Minster and John A. Orcutt — Scripps Inst. of Oceanography, UCSD, USA: "An 'Automatic' Means to Discriminate between Earthquakes and Quarry Blasts"
- [11] O.K. Kedrov and V.M. Ovtchinnikov — Inst. of Earth Physics, USSR: "An On-Line Analysis System for Three-Component Seismic Data: Method and Preliminary Results"
- [12] David B. Harris — Lawrence Livermore National Laboratory, USA: "A Comparison of the Direction Estimation Performance of High-Frequency Seismic Arrays and Three-Component Stations"

- [13] B.O. Ruud, E.S. Husebye and S.C. Bannister — University of Oslo, Norway: "NORESS Recording, — Joint 3C and Array Analysis"
- [14] Anne Suteau-Henson — Science Applications International Corp., USA: "Estimating Azimuth and Slowness from Three-Component and Array Stations"
- [15] A. Kushnir, V. Pinsky, V. Pisarenko and I. Savin — Institute of Physics of the Earth, USSR: "Wavelet Decomposition and Parameter Estimation Using 3-Component Seismograms"
- [16] Zoltan A. Der¹ and Robert H. Shumway² — ¹ ENSCO, Inc., USA, and ² University of California at Davis, USA: "Coherent Array Processing of Regional Seismic Data for Ripple Fire Patterns, Source Mechanisms and Source Azimuths"
- [17] D.C. Jepsen and B.L.N. Kennett — Australian National University, Canberra, Australia: "Three-component Array Analysis of Regional Seismograms"
- [18] Dorte Bame, Marianne C. Walck and Kathie L. Hiebert-Dodd — Sandia National Laboratory: "Azimuth Estimation Capabilities of the NORESS Regional Seismic Array"
- [19] Holly K. Given — Scripps Inst. of Oceanography, UCSD, USA: "Broadband Seismic Noise and Detection Experiments at IRIS/IDA Stations in the USSR"
- [20] Roger A. Hansen¹, Frode Ringdal¹ and Paul G. Richards² — ¹ NORSAR, Norway, and ² Lamont-Doherty Geological Observatory, USA: "The Stability of RMS Lg Measurements, and their Potential for Accurate Estimation of the Yields of Soviet Underground Nuclear Explosions"
- [21] Frode Ringdal — NORSAR, Norway: "Teleseismic Event Detection using the Small-Aperture NORESS and ARCESS Arrays"
- [22] Thomas Sereno — Science Applications International Corp., USA: "Frequency-Dependent Attenuation in Eastern Kazakhstan and Implications for Seismic Detection Thresholds in the Soviet Union"
- [23] A. Egorkin — International Inst. of Earthquake Prediction, USSR: "New Methods of Seismic Surface Wave Data Processing and its Application for the Study of the North Eurasian Shelf Structure"
- [24] Vladimir Ryaboy — Science Applications International Corp., USA: "Upper Mantle Structure along a Profile from Oslo (NORESS) to Helsinki to Leningrad, based on Explosion Seismology"
- [25] Hans Israelsson — Science Applications International Corp., USA: "Studies Using Seismic High Frequency Data"

- [26] Erik Ødegaard¹, Durk Doornbos¹ and Tormod Kværna² — ¹ University of Oslo, Norway, and ²NORSAR, Norway: "Topographic Effects on Arrays and Three-Component Stations"
- [27] Kristin Vogfjord and Charles Langston — Penn State Univ., USA: "Analysis of Regional Events Recorded at NORESS"
- [28] I. Gupta, C.S. Lynnes and R.A. Wagner — Teledyne Geotech, USA: "F-K Analysis of NORESS Array and Single-Station Data to Identify Sources of Near-Receiver and Near-Source Scattering"
- [29] Douglas Baumgardt — ENSCO, Inc., USA: "Investigation of Teleseismic Lg Blockage and Scattering using the NORESS and ARCESS Regional Arrays"
- [30] Anton Dainty and M. Nafi Toksoz — Earth Resources Lab., MIT, USA: "Array Analysis of Seismic Scattering"

Материалы о работе симпозиума будут опубликованы в качестве специального выпуска "Бюллетеня Американского сейсмологического общества" (Bulletin of the Seismological Society of America), выпуск которого намечен на осень 1990 года. Экземпляры этого специального выпуска будут распространены среди всех участников Группы научных экспертов.
