

## РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ

### Ола Дальман, Дженифер Макби, Свейн Миккелтвейт и Хейн Хаак Обнаружить и сдержать: могут ли страны верифицировать запрещение ядерных испытаний (Шпрингер, 2011; 271 страница)

Дэвид Хафемейстер

Дэвид Хафемейстер работает на физическом факультете Политехнического университета штата Калифорния, Сан Луис Обиспо, Калифорния, США.

Почтовый адрес для корреспонденций: David Hafemeister, Physics Department, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA 93407-0404, USA. Электронный адрес: dhafemei@calpoly.edu

Мониторинг Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) глобально важен и научно интересен. Через десяток лет после первых подписей Временный технический секретариат (ВТС) Организации ДВЗЯИ организовал проект Международных научных исследований (МНИ), который заказал научные статьи в восьми областях: сейсмология, инфразвук, гидроакустика, мониторинг радионуклидов, моделирование переноса в атмосфере, показатели работы системы, инспекция на месте, и интеллектуальный анализ данных. Отклик на конференции МНИ в июне 2009 года в Вене был весьма обширным, 660 ученых из 99 стран представили 236 статей, с более 50 приглашенных докладчиков и участников публичной дискуссии. В книге "Обнаружить и сдержать" приводится сводка имеющихся и развивающихся технологий и возможностей для мониторинга подземных, атмосферных и подводных ядерных испытаний, также как инспекций на месте, и синергизм науки и национальных перспектив по сравнению с международными перспективами. Книга "Обнаружить и сдержать" будет служить ценным справочником по мониторингу ДВЗЯИ для ученых, дипломатов и общественности. Результаты очень обнадеживают и наука развивается. Объем статьи ограничивает этот обзор одной темой сейсмического обнаружения.

#### СЕЙСМИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ

Во время подписания обычно предполагалось, что Первичная сейсмическая сеть Международной системы мониторинга (МСМ) будет иметь пороговую магнитуду  $m_b$ , равную четырем для взрывов с хорошим сцеплением мощностью примерно в 1 килотонну, или более, на трех, или более, первичных станциях МСМ с вероятностью обнаружения в 90%. Сейсмологи ожидали, что она будет лучше, но они не давали таких обещаний, ожидая результатов строительства и измерений. Через шесть лет после подписания Национальная академия наук США пришла к выводу, что предел обнаружения составляет  $m_b = 3,5$  (около 0,1 кт) для Азии, Европы, Северной Америки и Северной Африки, что на порядок величины меньше уровня 1996 года в 1 килотонну. Этот результат был хорошо подтвержден относительной простотой обнаружения двух ядерных испытаний КНДР. Испытание 9 октября 2006 года в 0,6 - 0,9 кт было обнаружено с взрывными характеристиками на 22 станциях МСМ, даже в Южной Америке, во время, когда сейсмическая сеть МСМ была закончена только на 60%. Испытание 25 мая 2009 года в 2,5 - 4,6 кт было обнаружено на 61 станции МСМ. Международный центр данных предоставил оценки для расположения и магнитуды испытания в течение четырех часов, еще до того, как КНДР заявила об испытании. Взрывы обычного ВВ в 0,002 кт ( $m_b = 1,9$ ) были обнаружены с взрывными характеристиками и идентифицированы Ричардсом и Кимом на Корейском полуострове, используя данные о четырех подземных взрывах ВВ на расстоянии в 289 км<sup>2</sup>.

Книга "Обнаружить и сдержать" подтверждает дальнейший прогресс в мониторинге ДВЗЯИ. Хорошим отправным пунктом является работа Кверна и Рингдала (стр. 42 - 46), в которой они используют индивидуальные

характеристики станций МСМ, которые могут отличаться на 1,5 единицы магнитуды, для того, чтобы определить возможности сети. Из результаты на рис. 2.12 дают пороговое значение  $m_b = 3,4$  для северного полушария и  $m_b = 3,6$  для южного полушария для 90% вероятности обнаружения тремя, или более, станциями. Но следует рассматривать много пороговых величин. Если вероятность обнаружения уменьшить до 10% для трех, или более, станций, то пороговое значение уменьшится на 0,4 единицы  $m_b = 3,0$  (0,03 кт) для северного полушария и  $m_b = 3,2$  (0,06 кт) для южного полушария. Вероятность регистрации в 10% не кажется очень хорошим результатом, но такое обнаружение на одной трети от порога заставит нарушителей взять паузу для размышлений. Окончательно 33 из 50 первичных станций будут оборудованы решетками из до 25 сейсмографов на станцию, что еще более уменьшит шум и улучшит определение местоположений. Спектральные отношения P/S на частотах более 6 Гц позволят эффективно различать землетрясения и взрывы в большинстве относящихся ситуаций.

#### ПОРОГОВОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ

Сейсмические сигналы на расстояниях в несколько сотен километров намного сильнее, чем аналогичные события на расстоянии в 2000 км, и знание прошлых региональных событий может помочь интерпретации (рис. 2.9). Если страна захочет следить за конкретным государством, то обнаружение более слабых сигналов, чем те, которые обсуждались выше, может быть достигнуто в концепции "порогового мониторинга", которая использует ранее измеренные формы сейсмических сигналов и опирается для идентификации на меньшее количество станций. В книге "Обнаружить и сдержать" делается следующий вывод (стр. 47 - 48):

Можно сказать, что требование обнаружения на трех станциях, или более, является слишком консервативным, или ограничивающим, в том смысле, что его применение не использует полного потенциала сети... Подвергнув испытательный полигон КНДР пороговому мониторингу, Кверна и др. (2007), используя данные сети МСМ, доступные во время испытаний, пришли в выводу, что за этим полигоном можно наблюдать - в смысле порогового мониторинга - на уровне вероятности обнаружения в 90% вплоть до магнитуды между 2,3 и 2,5. Это соответствует взрыву всего лишь 10 тонн ВВ в твердом скальном грунте. Не удивительно, что для получения столь малых значений важно использовать станцию сейсмической сети МСМ в Южной Корее. ...Можно сказать, что метод порогового мониторинга предоставляет более полную картину реальных возможностей, чем традиционный подход, основанный на обнаружении на трех станциях, и в том смысле, что этот метод представляет оптимальное использование доступных данных... Кверна и др. (2002) непрерывно следили за полигоном на Новой Земле в течение ноября-декабря 1997 года, большую часть этого периода до магнитуды 2, и были уверены в том, что не произошло ни одного события, превышающего 2,5 по магни-

туде. В анализ могут быть включены данные со станций вне сети МСМ, и это может внести свой вклад в дальнейшее понижение порога обнаружения. Эти новые пороги будут представлять существенное сдерживание для тайных ядерных испытаний в режиме ДВЗЯИ.

### ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ И ГЛОБАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ СЕТЬ

Анализ сейсмических сигналов от 16 000 сообщающих результаты измерений сейсмографов во всем мире может облегчить интерпретацию более близких, региональных волн. Геологическая служба США получает формы сейсмических сигналов во времени, близком к реальному, более, чем от 1000 сейсмографов. Эти данные могут быть использованы в интерпретации данных МСМ, но они непосредственно не используются Международным центром данных (МЦД). Очевидно, что большее количество качественных сейсмографов улучшит данные ДВЗЯИ. Вспомогательная сеть добавит 120 станций к 50 первичным станциям, увеличив плотность станций в 170/50, или в 3,4 раза. Простой расчет показывает, что, в среднем, сеть из 170 станций уменьшит пороговую чувствительность на 0,25 магнитуды для дальнейшего уменьшения регистрируемой мощности взрыва примерно в два раза. Данные Вспомогательной сети сейчас используются МЦД в выбранных случаях для Бюллетеня задержанных событий, еще более понижая пороговый уровень обнаружения и улучшая оценки расположения. Книга "Обнаружить и сдержать" не проявляет значительного доверия к использованию Вспомогательной сети. Следует ожидать, что позднее появятся дополнительные сейсмограммы с еще более низкими порогами.

### ИСПЫТАНИЕ В ПОЛОСТЯХ

В книге "Обнаружить и сдержать" указывается на следующие факты, которые делают испытание в полостях рискованным. Испытание в полости с уменьшенной связью не приводит к образованию полости со стеклообразным герметичным покрытием, которое блокирует утечку радиоактивного ксенона. На изотоп  $^{133}\text{Xe}$  приходится шесть процентов осколков деления, или  $10^{22}$  ядер на килолону. "1 процент выброса от подземного взрыва будет на один или два порядка величины больше, чем суточный выброс от большого перерабатывающего завода производства плутония" (стр. 67). ;0 ксеноновых станций МСМ могут быть дополнены национальными наземными ксеноновыми станциями, как это было сделано в Швеции после испытания КНДР в 2006 году, или станциями на пролетающим вблизи предполагаемого ариона самолете. Кроме того, понизившиеся пороги сейсмического обнаружения, обсуждавшиеся выше, заставляют нарушителя проводить испытания с очень малыми мощностями; испытание в 1 кт с ослаблением в 70 раз (меньше на высоких частотах) может представлять значительный риск для маломощного взрыва. Кроме того, страна, проводящая

испытание впервые, может не знать реальной мощности устройства и будет рисковать тем, что избыточная мощность может быть обнаружена; эти знания доступны тем странам, которые проводили подземные испытания.

### ПРЕЗИЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ

В книге "Обнаружить и сдержать" делается вывод о том, что должен быть реализован новый интегрированный подход для полного использования преимуществ информации в формах сейсмических сигналов: (стр. 85):

Уверенная дискриминация между взрывами и землетрясениями, в особенности для маломощных событий, должна достигаться в региональном масштабе. ...Тот факт, что только менее половины событий, о которых сообщает ВТС, могут быть отделены от землетрясений, показывает, что такая характеристика, использующая глобально применимые процедуры, не является успешной. Для характеристики событий, оптимального обнаружения и локализации необходим региональный подход... Существующие методы и процедуры для анализа сейсмологических данных, используемые ВТС, устарели почти на три десятилетия, и пришло время для создания новой парадигмы для такого анализа. Достижения в области анализа и использования данных создали средства, необходимые для формирования нового и интегрированного подхода к обнаружению, локализации и характеристике сейсмических событий, использующие данные из быстро расширяющихся ресурсов, доступных от региональных и глобальных сетей.

### ВЫВОДЫ

В книге "Обнаружить и сдержать" анализируется развивающаяся научная отрасль "Могут ли страны верифицировать запрещение ядерных испытаний" и задается направление для последующих улучшений. Она выполняет свою задачу обзора работ экспертов по всем мире и представляет результаты проекта МНИ ясным и понятным образом. Результаты впечатляют. Любой серьезный исследователь мониторинга ДВЗЯИ должен прочитать книгу "Обнаружить и сдержать" и статьи МНИ<sup>3</sup>.

### ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. National Academy of Sciences, *Technical Issues Related to the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty* (Washington, DC: National Academy Press, 2002), <[http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=10471](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10471)>.
2. P. Richards and W. Y. Kim, "Seismic Signature," *Nature Physics* 3 (2002): 4–6.
3. ISS09–International Scientific Studies: <<http://www.ctbto.org/specials/the-international-scientific-studies-project-iss/>, 2011: <<http://www.ctbto.org/specials/ctbt-science-and-technology-20118-10-june-22>>.