

КАК НАУКА МОЖЕТ ПОДДЕРЖАТЬ ПРОЦЕСС ПРОДВИЖЕНИЯ К СВОБОДНОМУ ОТ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ МИРУ

Ола Дальман

АННОТАЦИЯ

Ученые успешно участвовали в течение многих десятилетий в структуре Конференции по разоружению, в подготовке Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), начав эту работу задолго до начала переговоров. В данной статье предлагается создание Международной научной сети (МНС) для вовлечения всемирного научного сообщества к исследованиям того, как научные и технические разработки могут поддержать ядерное разоружение и нераспространение. В ней рассматривается опыт, приобретенный в научной работе по ДВЗЯИ, и определяется широкий диапазон научных и технических направлений, которые могли бы войти в круг интересов МНС. Ключевой вопрос заключается в том, как можно будет создать международную научную кооперацию в отсутствие существующей установленной политической или управленческой структуры.

Ола Дальман работает в компании «Од Скиенс Аппликацион», Стокгольм, Швеция.

Почтовый адрес для корреспонденций: Ола Дальман.

Адрес электронной почты: ola.dahlman@gmail.com

Статья получена 9 января 2013 года и принята к публикации 26 февраля 2013 года.

ВВЕДЕНИЕ

На совещании на высшем уровне в Рейкьявике в 1986 году Президент Рейган и Генеральный секретарь Горбачев представили общее видение «уничтожения всего ядерного оружия»¹. В течение последних нескольких лет появилось несколько политических инициатив для инициирования процессов сокращения и окончательной ликвидации ядерного оружия и укрепления ядерного нераспространения и, в особенности, предотвращения приобретения террористическими организациями ядерных возможностей². В 2008 году возникло международное движение «Глобальный нуль» с целью уничтожения всего ядерного оружия³.

Процесс создания мира, свободного от ядерного оружия, будет одним из наиболее вызывающих глобальных усилий и достижений в истории. Мир должен будет измениться, чтобы этот процесс смог продвинуться вперед, и процесс сам по себе изменит мир. Такой процесс должен будет охватить весь мир, и он должен будет охватить два взаимно усиливающих друг друга элемента: сократить и в конце концов уничтожить ядерное оружие, и усилить ядерное нераспространение⁴.

Наука и ученые находились среди движущих сил в развитии военных компонентов систем безопасности во всем мире, и они также поддерживали переговоры и реализацию существующих договоров по разоружению. Королевское общество Великобритании в своем политическом документе указывало, что «уместно подчеркнуть, как научное сообщество может поддержать контроль над ядерными вооружениями и многостороннее разоружение. Это сотрудничество может стать катализатором в развитии политических условий, необходимым для многостороннего разоружения, помогая построить весьма необходимое доверие между государствами.» Далее в документе предлагается «научная кооперация для подготовки оснований для будущих переговоров»⁵. В статье отмечается, что «ни одна международная группа специфически не направлена на научные и технические проблемы ядерного разоружения».

Аналогичные идеи о том, почему международная научная кооперация важна для поддержки ядерного разоружения, были представлены тремя экспертами из Королевского общества в 2010 году. Они отметили, что «сейчас научное сообщество должно помочь разработать технологию для поддержки процесса разоружения, так, чтобы технические основы были подготовлены до того, как они потребуются для многосторонних переговоров». Далее они отметили, что «хорошо установленные международные сети научного сообщества могут достигнуть тех стран, политические связи с которыми напряжены или ослаблены»⁶.

Продолжительная программа международного научного сотрудничества может различными способами поддержать процесс продвижения к миру, свободному от ядерного оружия. Глобальный диалог научных экспертов, желательный включающий экспертов из государств, которые до сих пор отказывались от участия, может помочь построить взаимное доверие и ответственность. Глобальное научное сотрудничество поможет также определить научные и технические разработки, которые могут поддержать ядерное разоружение и нераспространение.

Верификация играет центральную роль в этапах продвижения к миру, свободному от ядерного оружия. Разработка систем верификации выиграет от драматического прогресса во многих отраслях науки и техники, включая датчики, средства связи, и анализ информации. Датчики становятся меньше, более качественными, дешевыми, и они могут быть развернуты в больших количествах для близкого и дистанционного мониторинга. Системы связи обеспечивают передачу данных большого объема с высокой скоростью и малой стоимостью. Все более увеличивающийся объем информации становится общедоступным, а драматическое глобальное расширение современной технологии мобильных телефонов привело к резкому увеличению обмена информацией и ее доступности. Управление, анализ и интерпретация этого быстро растущего потока данных для целей верификации, вероятно, в течение ближайших лет станет для нас основным вызовом. К счастью, научные достижения в глубинном анализе данных (или интеллектуальном анализе данных), модном названии последних достижений в анализе и интерпретации данных, также было весьма драматичным, и стоящая перед нами проблема заключается в выборе и применении этих достижений.

Основываясь на положительном опыте научной поддержки договора о запрещении ядерных испытаний, данная статья призывает международное научное сообщество собраться и сделать критически важный вклад в многообещающий процесс, ведущий к миру без ядерного оружия.

ДОГОВОР О ЗАПРЕЩЕНИИ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) более, чем любой другой международный договор, зависит от науки и технологии в своем верификационном режиме⁷. В июле 1976 года, до того, как начались политические переговоры по ДВЗЯИ, Конференция Комитета по разоружению создала Группу научных экспертов (ГНЭ) для того, чтобы «установить характеристики международной системы мониторинга». ГНЭ работала в течение 20 лет, до тех пор, пока в 1996 году не закончились переговоры о запрещении ядерных испытаний, завершив формальный процесс представления основ верификации ДВЗЯИ⁸. По политическим причинам работа Группы была ограничена сейсмической верификацией. Группа ГНЭ встречалась по четыре недели в каждом году с участием экспертов со всего мира. Эти совещания были верхушкой айсберга. В создании современных станций и систем анализа данных для испытаний предложенных группой систем участвовали сотни специалистов из многих стран.

В начале работ ГНЭ определила принципиальную схему глобальной сейсмологической системы мониторинга договора по запрещению испытаний, состоящей из трех основных элементов⁹:

- Сети из более, чем 50 сейсмологических станций по всему миру.
- Международной системы обмена данными.
- Международных центров данных для рутинной обработки данных.

Интересно отметить, что принципиальная схема, представленная ГНЭ еще в 1978 году, стала основой Международной системы мониторинга (МСМ) для ДВЗЯИ.

Технологии, доступные в конце 1970-х годов, накладывали серьезные ограничения на то, что могло быть практически организовано. Важнейшей частью работы ГНЭ было проведение большого количества системных испытаний, а новые технологии внедрялись постепенно, по мере того как они становились доступными. Большая часть этих испытаний относилась к мелкомасштабной деятельности с несколькими участвующими институтами. Группа провела также три эксперимента с участием институтов со всего земного шара (так называемые крупномасштабные испытания). Первое такое крупномасштабное испытание было проведено в конце 1984 года. Были использованы данные, извлеченные из сейсмологических записей с 75 станций в 37 странах. Данные о наблюдавшихся событиях (в основном землетрясениях естественного происхождения) были проанализированы в трех экспериментальных международных центрах данных (ЭМЦД), созданных в Москве, Стокгольме и Вашингтоне. Во втором испытании, проведенном в 1991 году, участвовали те же станции, и цифровые данные использовались на экспериментальной основе. Был подключен четвертый экспериментальный центр данных в Канберре, и между центрами были установлены выделенные линии связи от компьютера к компьютеру.

Дальнейшее развитие системы было основано на результатах второго испытания и использования быстрого развития средств связи и аппаратных средств и программного обеспечения компьютеров. Двумя основными направлениями развития были: двухъярусная сеть станций из примерно 50 первичных станций, непрерывно передающих цифровые данные в реальном времени, и около 100 вспомогательных станций, данные от которых можно было получать по запросу. Вторым направлением развития был переход к одному центру ЭМЦД, расположенному в Вашингтоне.

Третье, и последнее крупномасштабное испытание началось в 1995 году и было продолжено начальным построением установок Временного технического секретариата (ВТС) Организации Договора по всеобъемлющему запрещению ядерных испытаний (ОДВЗЯИ) Подготовительной комиссии в Вене. ЭМЦД в Вашингтоне не был закрыт до марта 2000 года. В этом испытании участвовало шестьдесят стран, и оно включало 43 основных и 90 вспомогательных сейсмологических станций. Это испытание проводилось на этапе ввода в строй сейсмологической компоненты системы МСМ, который сейчас, в общем и целом, завершен.

ГНЭ не только представила предложение по сейсмологическому элементу системы верификации ДВЗЯИ, но и послужила образцом для других технологий верификации. Она показала, что такая система может быть реализована, и продемонстрировала ее возможности по мониторингу. Под эгидой ГНЭ во всем мире были основаны многие современные сейсмологические станции. В международном центре данных были разработаны, испытаны, и окончательно переданы в ВТС в Вене процедуры анализа и необходимое программное обеспечение для анализа данных.

Какие уроки можно извлечь из 20 лет работы ГНЭ? ГНЭ доказала, что возможно, и в самом деле наиболее полезно провести подготовительный научный и технический анализ до начала политических переговоров. Работа ГНЭ не рассматривается ни как замена политических переговоров, ни как обязательство начать такие переговоры. Она представляет собой всесторонние научные и технические усилия для разработки и испытания концепции системы верификации. Формальная инфраструктура ГНЭ, определенная Конференцией по разоружению, важна с нескольких точек зрения. Она не только способствует проведению совещаний Группы, но и предоставляет канал связи с политическим органом. Формальная инфраструктура привлекает государства, и помогает им не только назначать экспертов для участия в совещаниях, но также и выделять значительные средства для проведения испытаний, создания станций мониторинга и другого оборудования. ГНЭ получило уникальный долгосрочный мандат и право на самоопределение в управлении и руководстве, как это принято для международных организаций с ротацией руководителя. За 20 лет у ГНЭ было всего два председателя. Это позволило прилагать устойчивые, согласованные и целенаправленные усилия в течение длительного периода времени. Деятельность ГНЭ также позволила обеспечить взаимное обучение участников из многих стран, и многочисленные эксперты впоследствии вносили свой вклад в реализацию режима верификации.

Другая относящаяся к ДВЗЯИ деятельность – это проект Международных научных исследований (МНИ), начатый в марте 2008 года Временным техническим секретариатом (ВТС) ОДВЗЯИ в Вене. Двойное назначение МНИ состояло в оценке готовности и возможностей режима верификации ДВЗЯИ и выявлении областей, в которых государства и ОДВЗЯИ могли «воспользоваться плодами» научных и технических разработок для улучшения действий и возможностей системы верификации.

МНИ организовано в форме сетевой структуры, перекрывающей восемь выбранных научных и технических направлений, особенно важных для ДВЗЯИ. Четыре направления относились к технологиям мониторинга: сейсмологии, инфразвуку, гидроакустике и радионуклидам. Четыре дополнительных направления относились к инспекциям на месте, системному анализу, интеллектуальному анализу данных и моделированию атмосферного переноса для поддержки интерпретации наблюдений радионуклидов.

Научная работа МНИ проводится национальными научными и академическими учреждениями, как правительственными, так и частными. Было проведено большое количество семинаров и совещаний, в основном в различных научно-технических областях. На конференции МНИ 09 в июне 2009 года в Вене было представлено более 200 исследований с 600 участниками из 100 стран¹⁰.

Большая часть докладов представляли научные исследования в рамках определенной области. Всего лишь несколько работ были посвящены специальному анализу ДВЗЯИ и связанных с ним вопросов. Однако они оказались наиболее важными для обоснования оценок и улучшений верификации ДВЗЯИ. В целом, исследования показали, что во многих областях научные задачи и научная инфраструктура существенно продвинулись с тех пор, когда в конце 1990-х годов велись переговоры о договоре. Наиболее впечатляющими были достижения в инфразвуке и обнаружении инертных газов. Обе эти области во время переговоров по договору находились на самой ранней стадии развития, и с тех пор в них был достигнут существенный прогресс. Сейчас обнаружение инертных газов является важнейшим средством мониторинга подземных ядерных испытаний, а инфразвук, вероятно, найдет наиболее важное применение не в мониторинге ДВЗЯИ, а в исследованиях атмосферы. МНС впервые также представила исследования того, как различные геофизические методы могут быть

использованы во время инспекций подозрительных событий на месте.

В некоторых областях, в особенности в сейсмологии, научное сообщество развернуло большое количество новых станций с тем же самым качеством и возможностями, которыми обладают станции МСМ. Эти станции, взятые вместе, могут проводить мониторинг заданной области с возможностями, далеко превосходящими те, которые могут быть достигнуты МСМ в одиночку. Аналогичное развитие происходит и в других областях технологии. Это показывает, что существующая научная инфраструктура может предоставить данные, полезные для целей верификации. Поскольку научные системы со временем развиваются и улучшаются, они могут предоставлять большие возможности по сравнению с определенными в договоре системами верификации, которые рискуют оказаться устаревшими.

Важным элементом процесса МНИ было исследование того, как интеллектуальный анализ данных может помочь анализу и интерпретации различных видов верификационных данных. Для того, чтобы преодолеть разрыв между научными вопросами и идентификацией того, как интеллектуальный анализ данных может оказаться полезным, потребовались значительные усилия и несколько совещаний и семинаров с участием экспертов по интеллектуальному анализу данных, сейсмологическим и другим верификационным технологиям. Было обнаружено, что традиционные методы анализа данных, например, сейсмологических, могут быть значительно улучшены, и могут быть разработаны новые парадигмы. Интеллектуальный анализ данных может также существенно улучшить интегрированную интерпретацию различных видов данных. Применение современных методов интеллектуального анализа данных к верификации все еще находится на ранней стадии развития, но вполне вероятно, что его вклад будет весьма существенным.

ВТС организовало следующую конференцию в 2011 году, и в июне 2013 года планируется провести новую научно-техническую конференцию¹¹. Опыт этих уникальных методов привлечения научного сообщества показал, что:

- Получая вызов, ученые стремятся участвовать и внести свой вклад в решение важных глобальных вопросов.
- Большой объем знаний и инфраструктуры в научном сообществе доступен и может быть применен к ядерному разоружению и другим вопросам глобальной безопасности.
- Для обращения к сложным техническим вопросам, таким, как верификация разоружения, потребуется долгосрочное участие. Оно требует инфраструктуры и координирующего механизма; одни лишь узкоспециализированные совещания и публикации не позволят достичь значительного прогресса.
- Важно найти новые способы содействия диалогу между политическим и научными процессами.

ЧТО МОЖЕТ ДАТЬ НАУКА?

Как только мы начнем переходить к миру, свободному от ядерного оружия, появится множество вопросов¹². Одним из ключевых вызовов станет предотвращение распространения ядерного материала. Эта проблема охватывает широкий спектр вопросов, включая Договор о запрещении производства расщепляющихся материалов (ДЗПРМ)¹³, обнаружение незаконной передачи ядерных материалов, и разработку устойчивых к распространению ядерных топливных циклов. Другой ключевой проблемой является «устойчивая к распространению прозрачность» для того, чтобы обеспечить прозрачность ядерного разоружения для всех стран без распространения секретной информации, ограничиваемой Договором о нераспространении ядерного оружия. Было идентифицировано несколько конкретных задач, включая верификацию деклараций, хранения и демонтажа ядерного оружия¹⁴. Для обращения к этим и другим вопросам необходимо понять, обобщить и применить научные разработки в ряде направлений, и некоторые примеры будут приведены ниже.

Последние достижения в микро- и нанотехнологии дают возможность создавать революционно новые микро-масштабные системы твердотельных датчиков. Ключевым применением таких систем может стать предотвращение нелегальной перевозки ядерного материала через границу¹⁵. Существует немедленная и насущная необходимость в защищенных от злонамеренного вмешательства метках и печатях для обеспечения целостности контейнеров, и в надежных и высокочувствительных датчиках и системах датчиков для высокоскоростного сканирования контейнеров, поскольку через крупные порты проходит порядка 10 – 20 тысяч контейнеров в сутки¹⁶. В 2003 году Национальная администрация ядерной безопасности США выступила с «Инициативой Мегпортов» с целью оборудования 100 крупных морских портов в 31 стране оборудованием для регистрации радиации. На август 2012 года было завершено оборудование всего лишь 42 портов¹⁷.

Системы датчиков вместе с печатями и метками могут также быть использованы для слежения за оружием или компонентами оружия на складах или в процессе демонтажа^{18,19}. Критическим фактором является возмож-

ность подтверждения целостности цепочки сохранности ядерных материалов оружейного качества. Мониторинг процесса демонтажа в международном контексте создает специальные проблемы; он должен быть прозрачным в таких пределах, чтобы показать, что оружие было демонтировано так, как это было согласовано, но, с другой стороны, он не должен раскрывать определенную информацию, относящуюся к оружейной технологии. Этому сложному балансу были посвящены многолетние кооперативные усилия Великобритании и Норвегии по верификации демонтажа ядерных боеголовок²⁰. Рассматриваемые в этом проекте информационные базы и процедуры управляемого доступа находят некоторое применение в ядерном разоружении и контроле над вооружениями.

Спутниковые наблюдения играли важную роль в мониторинге соглашений по ядерному и иному разоружению и контролю над вооружениями; они также существенно понизили неопределенность и повысили доверие между государствами. За последние десятилетия такие наблюдения существенно улучшились. Угловое и спектральное разрешение в оптическом диапазоне увеличилось, а радиолокационные датчики позволили наблюдать в ночное время и в условиях облачности. Сегодня разрешение оптических спутников примерно равно одному метру. Соответствующее разрешение спутниковых радиолокаторов зависит от диапазона; в X-диапазоне оно может достигать одного метра, а в C-диапазоне – 10–30 метров. Возросшее количество спутников и усовершенствование спутниковой технологии увеличило покрытие и предоставило возможность более частых наблюдений с высоким разрешением. Спутниковые данные и компьютерные программы для более сложного анализа спутниковых данных стали более доступными. Спутниковые наблюдения, несомненно, будут продолжать поддерживать укрепление доверия и верификацию²¹.

В течение двух последних десятилетий были разработаны и использованы в военных целях беспилотные самолеты. Они постоянно усложнялись, несли различные типы датчиков и дистанционно управлялись с больших расстояний. Беспилотные самолеты применялись и в мирных целях, таких, как наблюдения ураганов²². В будущем беспилотные самолеты могут быть применены в контроле над вооружениями и разоружении в качестве платформ для различных типов датчиков, таких, как оптические, инфракрасные, и радионуклидные.

Для военного применения были разработаны и автоматические системы наземных датчиков^{23,24}. Аналогичные системы могут быть разработаны для мониторинга перемещений людей и транспортных средств, а также для контроля за перемещением крупных объектов в указанных объектах и районах.

Количество общедоступной информации (данных из открытых источников) драматически возросло в течение последнего десятилетия по мере нашего приближения к возрастающей глобализации. Сегодня более 50 процентов населения во всем мире имеет доступ к сетевым телефонам, интернету, или и к тому, и другому. Социальные сети способствуют распространению информации, а интернет предоставляет удобное средство для поиска информации со всего мира. Как такое изобилие информации может быть использовано для поддержки ядерного разоружения и укрепления доверия между государствами и для улучшения верификации²⁵?

Драматическое увеличение объема данных сопровождалось аналогичным увеличением нашей способности передавать, получать, хранить, анализировать, и интерпретировать большие объемы данных. Прогресс в области искусственного интеллекта показывает огромный потенциал для развития все более сложных средств, не только для автоматического анализа больших объемов данных, но также и для помощи в интеграции и интерпретации различных видов информации²⁶. Как обсуждалось ранее, самые первые приложения вквалификации ДВЗЯИ оказались весьма интересными и многообещающими^{27,28}.

В дополнение к прогрессу в индивидуальных верификационных технологиях и анализе данных, наука может предоставить поддержку и на более широком системном уровне. Системный анализ важен для изучения того, как можно комбинировать различные компоненты для предсказания конечных результатов. Он также является важным средством для идентификации критических компонентов в системе верификации и исследовании возможных путей улучшения общей эффективности системы^{29,30}.

Анализ операций предлагает еще более широкий подход для анализа систем в отношении к ее задачам и к окружающей среде, в которой они работают; эта методология появилась в конце 1930-х годов и пришла к осуществлению в период Второй мировой войны³¹. С тех пор она широко использовалась в военном сообществе во всем мире и постепенно вошла в широкий круг гражданских приложений³². Анализ операций может применяться к различным аспектам, относящимся к ядерному разоружению и нераспространению, в частности, к тому, как системы верификации могут выполнять политические и операционные требования.

ПУТЬ ВПЕРЕД?

Не имеется никакого установленного политического форума для обсуждения или рассмотрения того, как продвигать и достигать мира без ядерного оружия, и этой цели никогда нельзя будет достигнуть при помощи только одного форума. Различные вопросы должны будут обсуждаться на различных форумах. Это означает,

что в настоящее время не имеется никакой естественной политической инфраструктуры для продвижения глобальной кооперации среди научных экспертов по верификации ядерного разоружения и нераспространения.

МНС может служить в качестве средства для участия и организации мирового научного сообщества для изучения того, как научные и технические разработки могут поддерживать и подкреплять ядерное разоружение и нераспространение. Задача МНС должна состоять в том, чтобы соединять вместе научно-технические разработки в различных областях и интегрировать и прилагать их к ядерному разоружению и нераспространению. Намерение состоит не в том, чтобы предрешать политическое развитие или возможные соглашения, которые могут возникнуть, но в том, чтобы идентифицировать средства, которые может принести наука в поддержку будущих политических процессов. Такое научное сотрудничество может внести свой вклад в глобальную базу знаний в научных областях, относящихся к ядерному разоружению и нераспространению.

МНС должна соединять вместе научное сообщество и быть открытой для ученых и научных учреждений во всех странах. Национальные научные сообщества могут предоставлять важные вклады и проводить совместные исследования, построенные на модели совместного проекта Национальных академий США и Российской академии наук по тому, как будет выглядеть международная ядерная безопасность в 2015 году³³. МНС должна стать глобальным учебным мероприятием и должна создавать диалоги с теми, кто обычно не участвует в обсуждениях, относящихся к ядерному разоружению и нераспространению. Глобальное научное сотрудничество по вопросам, относящимся к ядерному разоружению и нераспространению, должно также построить доверие и внести таким образом вклад в устойчивый и гибкий процесс продвижения к миру, свободному от ядерного оружия.

МНС может быть организована как открытая сеть с не иерархической структурой управления проектами для способствования и поддержания открытого обмена информацией и мнениями. В сети должно быть несколько узлов, каждый из которых будет направлен на конкретную научную область или на конкретное применение. За каждый узел должны отвечать один или два эксперта, координирующие диалог и кооперацию внутри экспертного сообщества или по конкретному применению. Начальный этап в образовании МНС должен включать в себя идентификацию этих экспертов и сведение их вместе для подготовки плана начальной работы. Узлы должны быть расположены в институтах по всему миру для поддержания глобального охвата. Сеть должна будет обслуживаться небольшим секретариатом для обеспечения координации и интеграции и для поддержания единой домашней страницы МНС.

МНС должно будет организовывать и поддерживать ряд мероприятий, включая совещания, семинары и специальные сессии на научных конференциях, исследования конкретных приложений, политические программы помощи, и, время от времени, большие конференции. МНС может также работать с организациями и институтами для создания новых действий и инициатив. Ежегодные конференции МАГАТЭ по гарантиям и конференции Института по управлению ядерными материалами могут предоставить хорошие возможности для перекрытия областей, интересных для МНС. То же самое может оказаться верным для научно-технических конференций ОДВЗЯИ.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит д-ра Зиан Миана, проф. Фрэнка фон Хиппеля и д-ра Харольда Фейвесона за предоставление весьма ценных комментариев и предложений.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Svetlana Savranskaya and Thomas Blanton (Eds.), "The Reykjavik File," *Formerly Secret Documents from U.S. and Soviet Archives on the 1986 Reagan–Gorbachev Summit*. The National Security Archive, George Washington University, Washington D.C. National Security Archive Electronic Briefing Book No. 203 (<http://www.gwu.edu/~nsarchiv/NSAEBB/NSAEBB203/index.htm>).
2. George P. Shultz, William J. Perry, Henry A. Kissinger, and Sam Nunn, "A World Free of Nuclear Weapons," *The Wall Street Journal*, 4 January 2007. Treaty between the United States of America and the Russian Federation on measures for the further reduction and limitation of strategic offensive arms, 8 April 2010. Communique of Nuclear Security Summit, The Associated Press, 13 April 2010. 2010 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, Final Document NPT/ conf 2010/L.2 27 (May 2010).
3. Global Zero: A World Without Nuclear Weapons (<http://www.globalzero.org/>).
4. George P. Shultz, Steven P. Andreasen, Sidney D. Drell, and James E. Goodby (Eds.), *Reykjavik Revisited—Steps Towards a World Free of Nuclear Weapons* (Stanford, CA: Hoover Institution Press, 2008). Sidney D. Drell and James E. Goodby, *A World without Nuclear Weapons: End-State Issues* (Stanford, CA: Hoover Institution Press,

- 2009). Barry M. Blechman and Alexander K. Bollfrass (Eds.), "Elements of a Nuclear Disarmament Treaty—Unlocking the Road to Zero," The Henry Stimson Center (2009).
5. The Royal Society, "Scientific Cooperation to Support Nuclear Arms Control and Disarmament," Policy Document 03/10 (March 2010) (http://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/policy/publications/2010/4294970232.pdf).
 6. Martin Rees, Ben Koppelman, and Neil Davison, "Scientific Steps to Nuclear Disarmament," *Nature* 465 (May 2010): 290–291.
 7. O. Dahlman, J. Mackby, S. Mykkeltveit, and H. Haak, *Detect and Deter: Can Countries Verify the Nuclear Test Ban?* (Springer Dordrecht, 2011)
 8. O. Dahlman, S. Mykkeltveit, and H. Haak, *Nuclear Test Ban—Converting Political Visions to Reality* (Springer Dordrecht, 2009).
 9. First report of the Ad Hoc Group of Scientific Experts to Consider Cooperative Measures to Detect and Identify Seismic Events, CCD/558, Conference of the Committee on Disarmament, 7 March 1978, Geneva.
 10. Science for Security, Verifying the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty, ISS09, International Scientific Studies Conference, 10–12 June 2009, Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization, Vienna, September 2009.
 11. CTBTO Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, 2013 Science for Security (<http://www.ctbto.org/the-organization/scienceand-technology-the-conference-series/>).
 12. George Perkovich and James M. Acton (Eds.), "Abolishing Nuclear Weapons: A Debate," Carnegie Endowment for International Peace (2009) (http://www.carnegieendowment.org/files/abolishing_nuclear_weapons_debate.pdf).
 13. IPFM, "Global Fissile Material Report 2009: A Path to Nuclear Disarmament," Fourth Annual Report of the International Panel on Fissile Materials (<http://fissilematerials.org/library/gfmr09.pdf>).
 14. Steven Fetter and Ivan Oelrich, "Verifying a Prohibition on Nuclear Weapons," (<http://faculty.publicpolicy.umd.edu/sites/default/files/fetter/files/2010-Stimson.pdf>).
 15. Lawrence Livermore National Laboratory, "Thermal Neutron Sensor Technology to Detect Illicit Nuclear Materials." December 2012 (https://www.eng.llnl.gov/mic_nano/mic_nano_sensor.html)
 16. Ola Dahlman, Jenifer Mackby, Bernard Sitt, Andre Poucet, Arend Meerburg, Bernard Massinon, Edward Ifft, Masahiko Asada, and Ralph Alewine, *Container Security: A Proposal for a Comprehensive Code of Conduct* (U.S. National Defense University: Washington D.C., 2005).
 17. U.S. Government Accountability Office, "Combating Nuclear Smuggling, Megaports Initiative Faces Funding and Sustainability Challenges," GAO 13–37, Washington D.C. (October 2012).
 18. Michele R. Smith, "Tag and Seal Technology Needs for Arms Control and Nonproliferation Applications," Presented at the International Workshop on Containment and Surveillance: Concepts for the 21st Century" (June 2010) (<http://www.iaea.org/safeguards/Symposium/2010/Documents/PapersRepository/099.pdf>).
 19. Roger G. Johnston, "Tamper Detection for Safeguards and Treaty Monitoring: Fantasies, Realities and Potentials." *The Nonproliferation Review* (Spring 2001).
 20. "The United Kingdom–Norway Initiative: Research into the Verification of Nuclear Warhead Dismantlement," Working Paper submitted by the Kingdom of Norway and the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland. The 2010 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons New York, 3–28 May 2010 (<http://www.reachingcriticalwill.org/images/documents/Disarmament-fora/npt/revcon2010/documents/WP41.pdf>).
 21. B. Jasani, M. Pesaresi, S. Schneiderbauer, and G. Zeug (Eds.), *Remote Sensing from Space, Supporting International Peace and Security* (Springer 2009).
 22. Steve Cole and Keith Koehler, "NASA Earth Observation Drone Becomes Hurricane Hunter," *Earth Imaging Journal* (<http://ejournal.com/industry-insightstrends/nasa-earth-observation-drone-becomes-hurricane-hunter>).
 23. U.S. Marine Corps, Remote Sensor Operation, Department of the Navy, MCWP2–15.1, Washington DC (1997).
 24. Gerard E. Sleaf, Mark D. Ladd, Timothy S. McDonald, and Gregory J. Elbring, "Acoustic and Seismic Modalities for Unattended Ground Sensors," Sandia National Laboratories, MS 0859, Albuquerque (1999).
 25. Corey Hinderstein and Kelsey Hartigan, "Societal Verification: Leveraging the Information Revolution for Arms Control Verification," Presentation at the 53rd Annual Meeting of the Institute of Nuclear Materials Management, Orlando, Florida, July 15–19, 2012 (https://www.nti.org/media/pdfs/Hinderstein_Hartigan_INMM_2012_FINAL.pdf?_=1348683664).
 26. Stuart Russel and Peter Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Third Edition (Prentice Hall, 2010).

27. Stuart Russell, Sheila Vaidya, and Ronan Le Bras, "Machine Learning for Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Monitoring." *CTBTO Spectrum* 14 (2010): 32–35.
28. Heidi Kuzma and Sheila Vaidya, "Data Mining, Science for Security, Verifying the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty." *CTBTO PTS* (June 2009) (<http://www.ctbto.org/publications/iss-information-material/iss-publication-science-forsecurity>).
29. Rudolf Avenhauss, Nicholas Kyriakopoulos, Michel Richard, and Gottard Stein (Eds.), *Verifying Treaty Compliance: Limiting Weapons of Mass Destruction and Monitoring Kyoto Protocol Provisions* (Springer, 2006).
30. Mikhail Z. Zgurovsky and Natalia D. Pankratova, *System Analysis: Theory and Applications* (Springer, 2007).
31. Maurice W. Kirby, *Operational Research in War and Peace: The British Experience from the 1930s to 1970* (London: Imperial College Press, 2003).
32. *European Journal of Operational Research*, Elsevier (<http://www.journals.elsevier.com/european-journal-of-operational-research>).
33. "Future of the Nuclear Security Environment in 2015: Proceedings of a RussianU.S. Workshop." Committee on International Security and Arms Control: Policy and Global Affairs (<http://www.nap.edu/catalog.php?recordid=12590#toc>).