

ПОЛИТИКА ВЕРИФИКАЦИИ: ОГРАНИЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ЯДЕРНЫХ ВООРУЖЕНИЙ

Грегори Е. ван дер Винк и Кристофер Пейн

С 1982 по 1990 гг. Соединенные Штаты и Советский Союз возобновили переговоры по договоренности о верификации двух нератифицированных соглашений по контролю над вооружениями, которые тем не менее соблюдались с 1977 г., - это Договор о пороге на ядерные испытания и Договор о мирных ядерных взрывах. Переговоры привели к новым процедурам контроля, изменили позиции в отношении выполнения соглашений Советским Союзом и создали полезные прецеденты для дальнейшего ограничения ядерных испытаний. Переговоры продемонстрировали также, как можно неверно применять технические аргументы в поддержку конкретных политических задач - в данном случае, продолжения испытаний ядерных вооружений. Противники запрещения ядерных испытаний путем неправильной интерпретации неопределенностей в американских процедурах контроля и последующего ложного представления этих неопределенностей как неизбежного порока сейсмической методики верификации настолько замутили существенные аспекты верификации, что замедлили продвижение к полному запрещению испытаний ядерных вооружений. Главным препятствием на пути дальнейшего ограничения ядерных испытаний оказалась не возможность обеспечения адекватной проверки, а скорее всего нежелание ряда американских администраций обратиться к реальному вопросу, следует ли Соединенным Штатам и другим ядерным державам в интересах всеобщего ядерного нераспространения прекратить разработку новых типов ядерного оружия, которые нуждаются в проверке на основе подземных ядерных испытаний.

Г.Е. ван дер Винк работает в сейсмологическом консорциуме IRIS (Арлингтон, Вирджиния, США). К.Пейн - сотрудник Совета по защите природных ресурсов (Вашингтон, округ Колумбия, США).

ВВЕДЕНИЕ

25 сентября 1990 года сенат Соединенных Штатов завершил почти десятилетние дебаты, единогласно согласившись на ратификацию двух соглашений по контролю над вооружениями, подписанных в 70-х годах: Договора о пороге на ядерные испытания (ТТВТ) и Договора о мирных ядерных взрывах (PNET). После завершения переговоров по обширным верификационным протоколам администрация Буша направила два этих договора в сенат с заявлением, что требуется неопределенный период их осуществления до того, как можно будет рассматривать дальнейшие ограничения на ядерные испытания. По предварительной договоренности внутри руководства сената со стороны комитета по международным делам не было предложено никаких поправок к двухпартийной резолюции, что достаточно парадоксально послужило одобрением как продолжения ядерных испытаний, так и переговоров по возможному Договору о полном запрещении испытаний (СТВТ).

Будучи нератифицированными более 10 лет, ТТВТ и PNET тем не менее техни-

чески вступили в силу сразу после подписания. Поскольку никто из участников не выразил желания не ратифицировать договоры, обе стороны согласно международному праву были обязаны уклоняться от любых действий, которые нарушали бы цели и намерения договоров¹. Обе страны заявили, что они подчиняются ограничениям, содержащимся в договорах.

Совершенно очевидно, что предшествовавшие ратификации обсуждения затронули необходимость разработки более точных средств верификации для сдерживания повторения того, что американское правительство называло "вероятным" нарушением ТТВТ со стороны СССР. Однако длительная задержка ратификации более отражала споры в самом правительстве США о выгодах ограничения испытаний, чем истинные расхождения по вопросам верификации.

Президент Картер, начавший свою деятельность со стремления к полному запрещению подземных ядерных взрывов, отозвал ТТВТ и PNET из сената. Вместо того, чтобы терять время впустую и пытаться добиться ратификации, которую он рассматривал как промежуточный шаг, дающий небольшой

вклад в прекращение распространения ядерного оружия², президент Картер выбрал погоню за полным запретом на ядерные испытания - Договором о полном запрещении испытаний. Сторонников дальнейшего ограничения ядерных испытаний, таких как администрация Картера, ратификация ТТБТ и PNET ставила перед опасным политическим риском. Они представляли, что движение к СТБТ может быть "спущено с рельсов", если представить оппонентам шансы дополнить резолюцию о ратификации дополнительными условиями, которые эффективно помешают будущему соглашению по СТБТ. Поскольку согласно конституции США от сената Соединенных Штатов требуется одобрение договоров большинством в две трети, это дает возможность одной трети (плюс еще один голос) на "вето меньшинства" по любому соглашению о контроле над вооружениями.

Администрации Рейгана и Буша, напротив, противодействовали дальнейшим ограничениям на ядерные испытания, утверждая, что такие ограничения были бы не в национальных интересах США. Они считали ратификацию ТТБТ и PNET не пустой тратой времени, а скорее важным первым шагом, который придется сделать до того, как можно будет приступить только еще к рассмотрению любых дальнейших ограничений. Для противников дальнейших ограничений на ядерные испытания ратификация ТТБТ представляла первый предательский шаг на скользком склоне контроля над вооружениями, который мог бы повести к дальнейшим ограничениям на ядерные испытания и даже к возможному Договору о полном запрещении испытаний. Быстрая ратификация ТТБТ и PNET в начале 80-х годов сфокусировала бы внимание на возможности ведения переговоров о более ограничительных мерах, чего администрации Рейгана и Буша стремились избежать.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СТАТУС ОГРАНИЧЕНИЙ НА ИСПЫТАНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

Договор о пороге на ядерные испытания. Президент Никсон и генеральный секретарь Брежнев подписали Договор о пороге на ядерные испытания на московской встрече 3 июля 1974 г. всего за месяц до отставки президента Никсона. Хотя оба лидера питали надежды на соглашение об ограничении стратегических вооружений на встрече в июле, они понимали, что их взаимная неспособность добиться внутреннего политического консенсуса о будущей структуре ядерных сил обеих сторон означала невозмож-

ность своевременного выполнения достигнутого компромисса. Поэтому оба руководителя с готовностью пришли к быстрому согласию по Договору о пороге на ядерные испытания, чтобы дать доказательства "успеха" этой встречи на высшем уровне. Договор о пороге на ядерные испытания ограничивает мощность подземных ядерных взрывов, проводимых Соединенными Штатами и Советским Союзом, величиной 150 килотонн (кт), что примерно в десять раз превышает мощность бомбы, сброшенной на Хиросиму.

Договор о мирных ядерных взрывах. PNET был подписан президентом Фордом и генеральным секретарем Брежневым 28 мая 1976 г. PNET служит дополнением к ТТБТ и препятствует обходу ТТБТ под маской невоенных взрывов, используемых для промышленных целей, например, для выемки грунта. PNET ограничивает отдельные мирные ядерные взрывы в США и СССР мощностью не более 150 кт, а групповые взрывы (состоящие из нескольких отдельных взрывов с независимой детонацией) - не более 1500 кт. Из-за технических неопределенностей, связанных с предсказанием реальной мощности испытания ядерного оружия, в рамках как ТТБТ, так и PNET предусмотрена возможность одного-двух незначительных и ненамеренных нарушений порога в 150 кт ежегодно³. Это условие обычно называют "шумливым" пунктом.

Порог в 150 килотонн. Когда администрация Никсона впервые формулировала свою позицию о пороге, выше которого испытания не должны разрешаться, директор агентства по контролю над вооружениями и разоружению рекомендовал порог в 75 кт⁴. Однако, когда Никсон прибыл в Москву, он предложил порог в 100 кт. Не дожидаясь ответа русских, государственный секретарь Киссинджер изменил американское предложение в более высокую сторону, узнав ночью из Вашингтона, что министр обороны Шлесинджер настаивает на минимальном пороге в 150 кт⁵.

Считалось, что все три пороговых уровня лежат в той области, которую можно непосредственно контролировать сейсмическими станциями, расположенными вне территории страны, проводящей испытания. Порог в 150 кт был выбран скорее всего не по соображениям верификации, а потому, что он оказывает минимальное воздействие на американскую программу ядерного оружия и снимает возможную асимметрию потенциала проведения испытания с большей мощностью. Поскольку подземные испытания большой мощности на полигоне в Неваде вызывали повреждения в Лас Вегасе,

Соединенные Штаты не могли больше проводить испытания с большой мощностью на своей континентальной территории. Хотя крупные взрывы могли проводиться (и уже проводились) на аляскинском полигоне (остров Амчитка), такие взрывы были затруднены из-за политических и экологических соображений. С другой стороны, Советскому Союзу пришлось бы, как считалось, продолжать использовать свой изолированный арктический полигон на Новой Земле, где он проводил, как представлялось, подземные испытания с мощностью до 3000 кт (три мегатонны) до подписания ТТБТ⁶.

Испытания под пороговыми договорами. Поскольку ТТБТ не должен был вступить в действие до апреля 1976 года, чтобы позволить завершить подготовку договора о проведении мирных ядерных взрывов (PNET), обе стороны имели в своем распоряжении почти два года для испытаний прототипов нового поколения боеголовок стратегических ракет и бомб, обладавших мощностью, которая, по крайней мере у американской стороны, по порядку величины превышала порог договора в 2-7 раз. Этот период интенсивных испытаний с большой мощностью накануне вступления в силу договора уменьшил немедленное осознание военной значимости неопределенностей в оценке мощности взрывов другой стороны. Каждая сторона предполагала, что другая уже набрала информацию от испытаний с большой мощностью, которая ей необходима для следующего поколения ядерных вооружений. Как сказано в показаниях 1987 года директора Национальной ливерморской лаборатории им. Лоуренса,

"К моменту вступления в силу ТТБТ в 1976 г. мы получили достаточно информации от американских испытаний с большой мощностью, чтобы позволить нам точно установить мощности новых стратегических систем, таких как боеголовки МХ и Трайдент II, а также бомбы В83. В целях оценки ядерной угрозы со стороны СССР мы обычно предполагали, что они провели аналогичные испытания с большой мощностью до вступления в силу ТТБТ.⁷

За 14 лет, которые прошли от момента вступления в силу ТТБТ до его ратификации, США провели примерно 220 подземных ядерных взрывов, а Советский Союз - приблизительно 278 взрывов⁸. В этот период сенат дважды потерпел неудачу в попытках завершить процесс ратификации, причем многие сенаторы выражали свою обеспокоенность относительно того, что мощность советских взрывов не может быть измерена с достаточной уверенностью⁹. В результате

Соединенные Штаты продолжали придерживаться договора, которому сенат не дал своего согласия. Более того, уже само по себе ограниченное значение ТТБТ и PNET для контроля над вооружениями стало еще меньше благодаря усовершенствованиям в точности наведения ракет и в методике экстраполяции мощности взрывов, что понизило стратегическую важность испытаний с большой мощностью, а также в связи с завершением мирных ядерных взрывов. Последний такой взрыв в США состоялся в 1973 г. в рамках серии испытаний для программы "Плоушер"¹⁰. Хотя Советский Союз обладал активной программой мирных взрывов, экологические внутренние проблемы фактически привели программу к остановке в сентябре 1988 г.¹¹

Прогресс в подготовке СТБТ. Начиная с 1985 г. Советский Союз, а затем и СНГ, высказывали желание прекратить испытания, если Соединенные Штаты сделают то же самое. В августе 1985 г. СССР начал 19-ти месячный односторонний мораторий и предложил сделать его постоянным в случае присоединения США. Администрация Рейгана отказалась пойти на это и Советский Союз возобновил испытания в феврале 1987 года. Несмотря на мораторий, СССР все-таки ухитрился провести за четыре года, в период 1984-1987 гг. 61 подземный взрыв, за тот же период Соединенные Штаты провели 62 подземных взрыва.

Через два года после того, как СССР возобновил испытания, после двух его подземных испытаний произошла случайная утечка радиоактивных веществ в воздух. Этот несчастный случай послужил основанием для возникновения экологического движения, охватившего широкие массы и требовавшего закрытия ядерного полигона в Казахстане¹², а лидер движения был избран на Съезд народных депутатов¹³. В начале 1990 г. Москва заявила, что испытания в Казахстане откладываются на три года и переносятся на действующий полигон в Арктике на острове Новая Земля. Но и испытания в Арктике также столкнулись с оппозицией, особенно со стороны только что избранного президента Российской республики Бориса Ельцина, в избирательную платформу которого было включено противодействие испытаниям на Новой Земле. Последнее испытание в Казахстане произошло 19 октября 1989 г., а последнее испытание в бывшем СССР произошло на Новой Земле 24 октября 1990 г. В августе 1991 г. семипалатинский полигон был закрыт на постоянный срок по закону новой независимой Казахской республики. В ожидании СТБТ будущие ядерные испытания в

новом Содружестве независимых государств вероятнее всего будут нечастыми и, как кажется, будут проводиться только на арктическом полигоне Новой Земли или в других удаленных местах России; будущие мирные взрывы кажутся маловероятными¹⁴.

Российский президент Борис Ельцин, который также продолжал стремиться к переговорам по СТБТ, присоединился к одностороннему мораторию на испытания, объявленному бывшим в то время президентом СССР Горбачевым 5 октября 1991 г. Франция, которая долгое время считалась одним из сильнейших противников запрещения испытаний, присоединилась к мораторию 8 апреля 1992 г. и потребовала ответных действий от Соединенных Штатов.

27 февраля 1992 г. президент Ельцин потихоньку приказал министерству атомной энергии возобновить подготовку к проведению 2-4 испытаний на российском арктическом полигоне "в случае прекращения действия существующего моратория"¹⁵. А 13 октября 1992 г. в ответ на вступление в силу девятимесячного американского моратория на испытания, наложенного конгрессом США, российский министр обороны заявил, что "если испытания и возобновятся, это произойдет не раньше середины 1993 г."

После последнего советского (русского) испытаний США провели более десятка взрывов на полигоне в Неваде. Пытаясь предвосхитить более сильный законодательный контроль над программой ядерных испытаний США, президент Буш информировал конгресс в июле 1992 г., что он дал распоряжение, чтобы все будущие американские ядерные испытания были ограничены шестью взрывами в год исключительно в целях получения уверенности в "безопасности и надежности наших сил сдерживания"¹⁶.

В сентябре 1992 г. конгресс одобрил поправку Хэтфилда-Эксона-Митчелла, предусматривающую мораторий на американские ядерные испытания до 1 июля 1993 г. и завершение всех испытаний после 31 декабря 1996 г., если ни одно из других государств не будет продолжать испытания после этого срока. За период в 42 месяца между двумя этими датами правительство США сможет провести не более 15 испытаний, в том числе не более трех совместно с Великобританией, не более трех на надежность, а остальные - на улучшение безопасности оружия¹⁷. Закон требует также, чтобы следующая администрация дала отчет конгрессу о своих приготовлениях к возобновлению переговоров по СТБТ.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МОЩНОСТИ ВЗРЫВА

Любой ядерный взрыв с мощностью порядка 150 кт легко обнаруживается и идентифицируется сейсмическими станциями, расположенными по всему миру. Вся проблема верификации ТТБТ и РНЕТ заключается в том, можно ли с достаточной точностью измерить выделившуюся при взрыве энергию ("мощность"), чтобы убедиться, что взрыв не превосходит порогового предела в 150 кт. Когда в 70-х годах шли переговоры по ТТБТ и РНЕТ, США и СССР намеревались полагаться в основном на сейсмические измерения для оценки мощности взрыва и проверки выполнения договора.

Сейсмическая оценка мощности содержит два этапа. Сначала на основе амплитуд сейсмических волн, полученных многочисленными сейсмическими станциями по всему свету, выводится усредненная сейсмическая магнитуда взрыва¹⁸. Затем магнитуда переводится в мощность взрыва по эмпирическим формулам, определенным на основе прошлых испытаний с известными мощностями.

Сначала сейсмическая оценка мощности основывалась исключительно на использовании магнитуд Р-волн (m_b). Р-волны обнаруживаются на больших расстояниях даже при небольшом сейсмическом явлении. Обозначение Р связано со словом "первичный" (primary): Р-волны обычно первыми приходят к регистрирующей станции. Р-волны (их называют также волнами сжатия) распространяются по телу Земли аналогично звуковым волнам, то-есть, в результате столкновения молекул, приводящих к сжатию и расширению вещества по пути следования волны. Движение частиц происходит в направлении перемещения волны; волны могут распространяться сквозь жидкости и твердые вещества. Магнитуда Р-волн вычисляется из измерений записи Р-волны по формуле

$$m_b = \log(A_{\max}/T) + C \quad (1)$$

где, как показано на рис.1, $A_{\max}$ - это наибольшая амплитуда (скорректированная на усиление прибора) в нм, измеренная между двумя максимальными выбросами разного знака в течение короткого времени (несколько первых секунд Р-волны); Т - это длительность одного волнового цикла (в секундах) вблизи той точки на записи, где измерялась амплитуда, а С - поправочный член, зависящий от расположения станции, который компенсирует изменение амплитуды

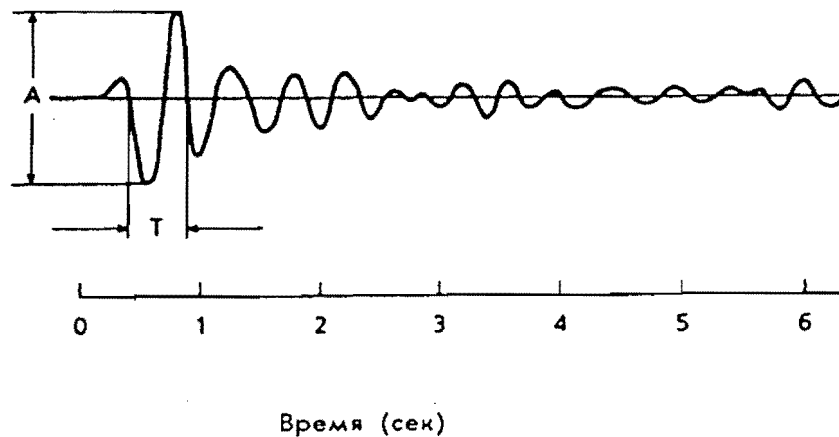


Рисунок 1

Типичное измерение сейсмической магнитуды Р-волны по максимальному размаху амплитуды ($A_{\max}$) за несколько первых секунд Р-волны с поправками на усиление прибора во время основного периода (T).

ды Р-волны с расстоянием.

После определения величины сейсмической магнитуды путем усреднения измерений нескольких станций подходит очередь второго этапа - перевода измеренной магнитуды на язык мощности взрыва. На рис. 2 приведены данные для определения начального соотношения между m_b и мощностью, основанные на американских испытаниях в Неваде и французских - в Сахаре. В общем виде уравнение " m_b - мощность" имеет следующий вид

$$M = A + B \log q + C_{\text{bias}} \quad (2)$$

где M - измеренное значение магнитуды, A и B - константы, определяемые на основе опыта с испытаниями, q - мощность в кт, а C_{bias} - поправка на искажение сигнала. Конкретные значения A и B , используемые Соединенными Штатами, засекречены. Поправочный член - это подгонка для компенсации различия в эффективности распространения сейсмических волн в геологических средах, расположенных под различными полигонами. Эта поправка особенно важна для m_b , поскольку на короткопериодические волны в телах сильно влияет физическое состояние (особенно температура) среды, через которую они движутся.

Распространяющиеся под основным невадским полигоном сейсмические волны существенно ослабляются по сравнению с

большинством других континентальных районов, особенно с теми, у которых в недавнем прошлом не наблюдалось геологической активности. Ослабление (уменьшение амплитуды) в Неваде связано с высокой температурой верхней мантии, которая приводит к расширению лежащей над ней коры. Высокие температуры изменяют упругие и поглощающие свойства окружающих пород, что приводит к ослаблению сейсмических волн при их прохождении через такие области. Аналогичные условия существуют и под французским полигоном в Сахаре, но не под советскими полигонами в Казахстане и на Новой Земле, а также не под бывшими американскими полигонами в Миссисипи и на Аляске. В результате выходящие от взрывов в районах с малым ослаблением (например, в Казахстане) сейсмические сигналы будут больше сейсмических сигналов от взрывов такой же мощности в Неваде. Если в качестве основы для оценки мощности советских взрывов использовать магнитуды Р-волн, полученные от американских испытаний в Неваде, их следовало бы скорректировать на различие между полигонами, иначе величина советских взрывов окажется преувеличенной.

Необходимость в такой коррекции была понята Соединенными Штатами еще в середине 60-х годов. Ядерный взрыв "Лонгшот", проведенный на острове около берегов Аляски в 1965 г., имел заявленную мощность

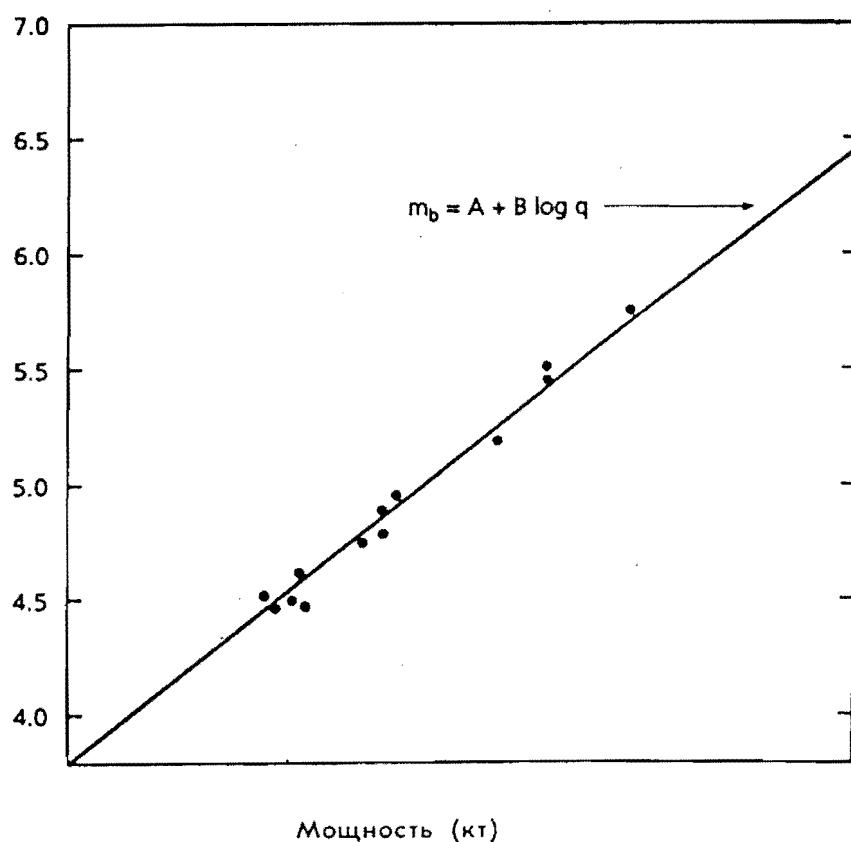


Рисунок 2

Данные американских подземных взрывов в Неваде и французских взрывов в Сахаре, по которым выведено эмпирическое американское уравнение "магнитуда - мощность".

взрыва в 80 килотонн. Но когда телесеismicическая магнитуда его Р-волны была преобразована в оценку мощности по основанной на невадских данных формуле, получилось значение в 300 килотонн, то-есть в 3,75 раза больше заявленной величины мощности.¹⁹

Чтобы помочь определить истинное значение отличия между американскими и советскими полигонами и уменьшить другие источники неопределенностей при проведении подобных измерений (например, изменение "связи" энергии ядерного взрыва с различными местными скальными породами), исходный протокол к ТТВТ предусматривает обмен техническими данными при ратификации, включая мощность и другую

информацию по двум испытаниям ядерного оружия для каждой геофизически индивидуальной зоны испытаний. Протокол требует также, чтобы все взрывы были объявлены заранее и проводились на определенных полигонах. Однако, поскольку Соединенные Штаты не стремились к ратификации договора, такой обмен данными не производился до июня 1988 г., в течение более, чем двадцати лет, после фактического введения договора в действие.

При использовании наилучших оценок поправки несколько определений мощности советских испытаний все же, как кажется, превосходят порог в 150 кт, однако все эти испытания находятся в пределах ожидаемого случайного разброса. Практически все

советские испытания попадают внутрь 90% уровня доверительности в предположении, что мощность составляла 150 кт или меньше²⁰.

Кроме Р-волн можно определять магнитуду рэлеевских волн (M_S) или волн Лява ($m_b(Lg)$). Рэлеевские волны - это тип поверхностных волн, названных так потому, что они движутся вдоль земной поверхности. Движение рэлеевских волн чем-то напоминает рябь, разбегающуюся по поверхности озера. Волны Лява (Lg-волны) содержат целое семейство сейсмических волн, захваченных во внешней земной коре. Кора служит для них волноводом и успешно переносит эти волны на большие расстояния. Фактически волны Лява могут быть настолько сильными (в противоположность тому, что подразумевалось при их включении в класс "региональных" волн), что их можно наблюдать при больших взрывах по другую сторону материка на расстояниях, существенно превышающих 2000 км. Однако под океанами, где толщина коры значительно меньше, волнам Лява не удастся пройти даже короткие расстояния.

Волны Лява - это "региональные" волны. Региональные волны в отличие от Р-волн и рэлеевских волн обычно наблюдаются только на расстояниях менее 2000 км. В общем случае у них более высокие амплитуды и частоты. Волны Лява могут оказываться наиболее важными региональными волнами, поскольку обычно это самые большие волны, наблюдаемые на сейсмограммах при региональных расстояниях (менее 2000 км).

Для оценки мощности можно также использовать единицу измерения силы сейсмического источника, называемую "сейсмическим моментом" (M_0). Сейсмический момент определяет систему сил, действующих на Землю, которые возбуждают такие же сейсмические волны, что и наблюдаемые при взрыве. Преимущество сейсмического момента перед магнитудой в том, что при расчетах производится коррекция засорений сейсмического сигнала, возникающих при снятии взрывом любых напряжений, которые могут существовать заранее в окружающих породах. Выделение энергии от этих напряжений при взрыве создает картину поверхностных волн (подобную той, что наблюдается при землетрясениях), которая накладывается на сигналы от взрыва.

Неопределенность в сейсмических оценках мощности взрывов. В 1974 г., когда закончились переговоры по ТТБТ и договор был подписан, мощности советских взрывов оценивались по магнитудам Р-волн, измеренным сейсмическими станциями за пределами СССР. В то время считалось, что аме-

риканские методы сейсмических оценок мощности обладают фактором неопределенности порядка двойки²¹. Такая степень неопределенности подразумевает, например, что при испытании с фактической мощностью 150 кт 95% измерений будут находиться в интервале между 75 кт ($150/2$) и 300 кт ($150 \cdot 2$) с максимумом ожидаемого распределения при 150 кт, как показано на рис. 3.

Распределение мощностей асимметрично в связи с нормальным распределением m_b и логарифмической связью между мощностью взрыва и измеренной сейсмической магнитудой.

Присущий американским сейсмическим методам фактор неопределенности порядка двойки был основан на том, что использовались только магнитуды Р-волн от места взрыва, которые никогда не калибровались Соединенными Штатами путем взрыва с известной мощностью. В результате на американские оценки мощности советских испытаний влияли как случайная неопределенность, связанная с определением магнитуды Р-волн, так и систематическая ошибка, связанная с оценками поправки на ослабление сигнала между станцией в США, где определялось соотношение магнитудамощность, и советскими полигонами.

Систематическую часть неопределенности можно было бы уменьшить калибровочными взрывами, то-есть объявлением об измеренной радиохимическими способами мощности взрыва, сейсмические сигналы от которого были записаны. Таким образом можно было бы определить индивидуальные соотношения магнитудамощность для любого геофизически индивидуального района советского полигона. Так была бы снята неопределенность, вызванная применением (с поправками) американского соотношения магнитудамощность к советским полигонам.

Случайная часть неопределенности оценки мощности могла бы быть уменьшена путем комбинации различных измерений магнитуды. Обычно используется магнитуда Р-волн, поскольку измерения можно провести почти всегда. Р-волны обнаруживаются на больших расстояниях даже при небольших сейсмических событиях. Измерения поверхностных волн и сейсмических моментов требуют более крупных событий, поскольку рэлеевские волны меньше объемных волн при взрывах. Амплитуды волн Лява также невелики для небольших взрывов. Поскольку в 70-х годах казалось маловероятным размещать сейсмические станции на территории СССР, исследования были ограничены использованием магнитуд

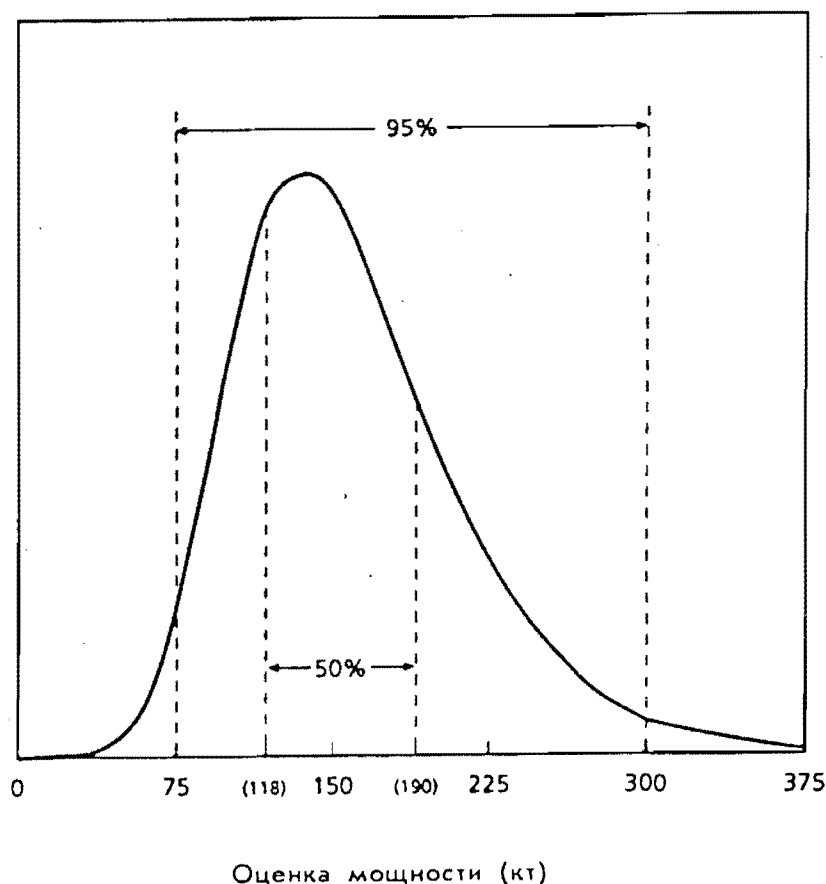


Рисунок 3

Как ожидается, сейсмические измерения взрыва мощностью 150 кт с фактором неопределенности порядка двух будут обладать нормальным логарифмическим распределением. Вероятность того, что фактическое значение мощности лежит в данном интервале, дается площадью под кривой в пределах этого интервала. В то время как 95% всех измерений ожидаются в диапазоне от 75 до 300 кт, свыше 50% измерений попадет вероятнее всего в промежуток от 118 до 190 кт. Существует шанс только в 2,5% (1/40), что взрыв с мощностью 150 кт будет измерен как 300-килотонный или более мощный взрыв.

Р-волн. Однако если станции расположены внутри СССР, оценку мощности можно улучшить путем использования не только Р-волн, но поверхностных волн и волн Лява. Поскольку случайные ошибки всех трех способов измерения магнитуды статистически независимы для данного события, путем комбинации измерений можно уменьшить неопределенность. Рассмотрим в ка-

честве примера случай, когда используются вместе статистически независимые способы оценки мощности. Итоговый фактор неопределенности (F) дается выражением

$$F = e^{\ln(K_i)/Z} \quad (3)$$

где K_i - фактор неопределенности каждого метода, а Z - число таких методов. Если,

Количество методов	Фактор неопределенности
1	2,0
2	1,6
3	1,5

Таблица 1

Факторы неопределенности при использовании различного числа методов, имеющих фактор неопределенности, равный двум.

например, все методы имеют фактор неопределенности, равный 2, то значения итоговой случайной неопределенности приведены в табл. 1.

Поскольку формально комбинированные измерения не введены в практику, политики продолжали утверждать, что фактор неопределенности сейсмических методов равен двум. Действительные возможности, однако, были гораздо лучше.

Реакция американской администрации на неопределенную ситуацию. Администрации Никсона и Форда утверждали, что любая советская программа, использующая разброс неопределенности при измерениях для получения военного преимущества (путем проведения испытаний с вышепороговой мощностью), будет обнаружена. Любое отдельное испытание с превышением порога, ускользнувшее от точных измерений в данном интервале неопределенности, не даст военного преимущества, соразмерного с тем, от чего отказался СССР при наложении порога. Следовательно, начальный фактор неопределенности порядка двух применительно к возможностям мониторинга в те времена казался обеим администрациям адекватным контролем над соблюдением соглашений.

Когда в апреле 1976 г. начал соблюдаться ТТВТ, Центр технических приложений ВВС США (АФТАС), который вел сеть сейсмического мониторинга за договорами о частичном запрещении ядерных испытаний, начал публиковать оценки мощности советских испытаний, которые оказались значительно выше порога в 150 кт. Администрация Картера частным образом протестовала против "нарушений" перед советским правительством, но оно резко отрицало претензии США. В 1977 г. научная обзорная группа АФТАСа единогласно пришла к признанию необходимости изменений поправочного члена в уравнении магнитудамощность. Но выбрав "консервативный" подход, который с большой вероятностью

не преуменьшал бы размер советских взрывов, она рекомендовала корректирующий множитель, который составлял всего лишь половину от значения, вытекающего из сейсмических данных. Вместо наиболее вероятного значения было принято низкое значение. Хотя такой подход сводит к минимуму шансы на незаконные советские взрывы, пытающиеся создать впечатление, что они находятся под порогом, он увеличивает вероятность того, что оценки взрывов вблизи порога будут завышаться и создадут впечатление нарушения.

В результате этой неудачи принять соответствующую истине поправку исполнительные органы правительства США с 1981 г. по 1990 г. непрерывно обвиняли Советский Союз в "вероятных" нарушениях порога в 150 кт, следующего из ТТВТ²².

В дискуссиях о том, можно ли будет верифицировать ТТВТ, администрация не только приписывала сейсмическим возможностям наиболее низкие качества (фактор неопределенности - двойка), но и смысл этой неопределенности подавался в самом плохом свете. Ряд докладов и официальных заявлений в течение 80-х годов искажал смысл неопределенности с "фактором 2" при оценке мощности. Так, свидетель министерства обороны описывал эту неопределенность конгрессу следующим образом:

"Этот фактор неопределенности означает, например, что советское испытание, для которого мы оценили мощность в 150 кт, может иметь с 95-процентной вероятностью такую высокую фактическую мощность, как 300 кт, что вдвое выше законного порога, или такую низкую, как 75 кт²³

со следующим воздействием подобных нарушений:

"Существующие советские мирвированные боеголовки имеют гораздо меньшие мощности по сравнению с тем оружием, что было разработано в 1974 г. ... Когда у большинства советских

МБР мощности лежат сейчас в районе 500 кт, нарушение порога на уровне 300-450 кт нельзя более отбрасывать как имеющее небольшое военное значение. ... Способность проводить такие испытания, по крайней мере случайно, не может отрицаться русскими в рамках современных положений договора²⁴.

В действительности же при факторе неопределенности, равном двум, вероятность взрыва в 300 кт, измеренного практически как имеющего мощность 150 кт (с вероятностью 95%) или ниже, составляет менее 1/40. Страна, подумывающая об обмане, должна представлять, что случайная неопределенность может и не сработать в ее пользу. Например, испытание с мощностью 200 кт может скорее выглядеть как взрыв 250 кт, а не 150 кт. Равно как существует один шанс из сорока, что взрыв с мощностью 300 кт покажется лежащим в диапазоне 150 кт, с таким же шансом случайная неопределенность сработает против нарушителя, создав впечатление, что мощность взрыва превосходила 600 кт. Поскольку страна, нарушающая договор, не может рассчитывать, что случайные неопределенности будут работать ей на пользу, разброс неопределенностей нельзя приравнивать тому разбросу, в пределах которого может происходить обман.

Несмотря на ряд обзоров, в которых не было найдено технического обоснования обвинений в нарушениях со стороны СССР²⁵, директор агентства по разоружению дал в июне 1988 г. следующие показания:

"После тщательного и всестороннего обдумывания администрация пришла к заключению относительно порога в 150 кт для ТТВТ, что были "возможные нарушения" обязательств, принятых согласно ТТВТ. Более того, множество фактов усиливают предыдущие выводы о вероятных нарушениях ТТВТ²⁶."

Когда его попросили объяснить аргументацию этого заключения, директор в сущности приравнивал существование неопределенностей при сейсмических измерениях доказательству нарушения.

"Действительной целью является возможность контроля не без тени сомнения, так как ничего похожего в нашем понимании нет, но контроля без разумных сомнений в выполнении Советским Союзом договора. Сейчас мы этого не делаем. Поэтому мы можем заявить, что вполне возможно, что СССР нарушает договор.²⁷"

В феврале 1990 г. в первом докладе администрации Буша о невыполнении Со-

ветским Союзом соглашений по контролю над вооружениями не повторялось обвинение, что СССР совершал "возможные" нарушения соглашения. Вместо этого в докладе 1990 г. утверждалось на основе "опыта недавнего прошлого", что в некоторых советских испытаниях был превышен разрешаемый порог. Новая формулировка оставляет открытой возможность того, что теперь может возникнуть проблема с интерпретацией выражения "опыт недавнего прошлого", а не с советскими испытаниями выше допустимого порога.

МОНИТОРИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ КОРПТЕКСА

В связи с растущим разочарованием сейсмическими методами оценки мощности президент Рейган призвал к новым переговорам по договорам на основе методики измерений "на месте", названной КОРПТЕКС (CORRTEX- это сокращение от английского выражения COntinuous Reflectometry for Radius versus Time EXperiment, то-есть эксперимент по непрерывному определению временной зависимости отражательной способности от расстояния). В методике КОРПТЕКС измеряется радиус расширяющейся ударной волны как функция времени (в мс) с помощью электрического кабеля, помещенного во "вспомогательную" скважину на расстоянии около 10 м от точки взрыва (см. рис.4). После взрыва ударная волна распространяется наружу от центра взрыва, разрушая и закорачивая кабель. Путем электрических измерений скорости закоротки кабеля можно рассчитать скорость распространения ударной волны. Исходя из этой величины и свойств окружающей среды, можно оценить мощность ядерного взрыва. Мощность взрыва выводится путем подгонки простой эмпирической формулы, основанной на опыте американских испытаний, к определенным промежуткам времени из данных КОРПТЕКСа.

Неопределенность вносится чувствительностью измерений по методу КОРПТЕКС к точной установке как ядерного устройства, так и измерительного кабеля, к расположению устройства внутри испытательной камеры и к природе использованных веществ. Например, при измерении расстояния от центра ожидаемого взрыва до места разрушения кабеля на глубине около 700 м ошибка в 1 м вызовет ошибку в 50 кт при оценке мощности взрыва, имеющего фактическую мощность около 150 кт. Если ядерное устройство расположено вблизи одной стороны испытательной камеры, энергия будет направлена после подрыва в

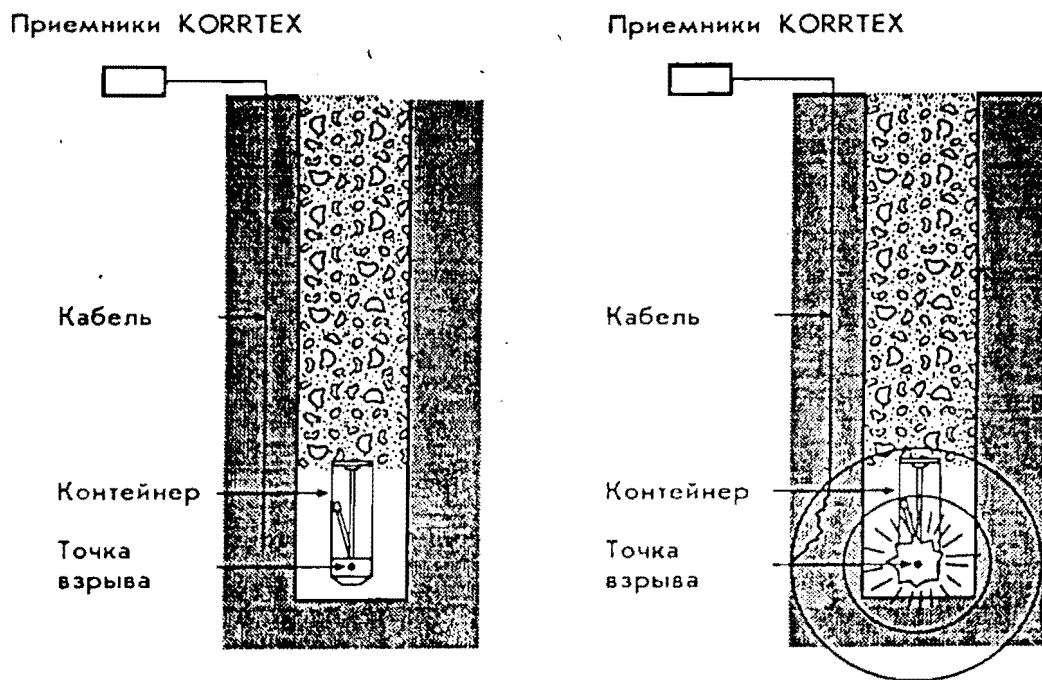


Рисунок 4

Методика КОРРТЕКС для оценки мощности системой измерений на месте. Параллельно шахте, куда помещен ядерный заряд, пробуривается шахта, в которую опускается электрический кабель. После взрыва ударная волна распространяется наружу и закорачивает кабель.

другую сторону, что изменит измеряемую мощность примерно в 3-4 раза при стандартной геометрии вертикальных и горизонтальных испытаний²⁸. Ошибка в 20-30 % может появиться просто из-за различия в уравнениях состояния среди веществ внутри камеры²⁹.

СРАВНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ОЦЕНОК И ОЦЕНОК ПО КОРРТЕКСУ

Точность оценок мощности по КОРРТЕКСу критически зависит от того, какие данные используются и как они взвешены. Эти факторы меняются в зависимости как от силы взрыва, так и от типа окружающих пород, что вносит источники неопределенности при измерениях, аналогичные неопределенностям при сейсмических измерениях. Например, если рассматривается информация в пределах "окна" длительностью 4,5 мс об американском взрыве с известной мощностью в граните (испытание "Пайлдрайвер" мощностью в 62 кт), оценки мощ-

ности имеют разброс от примерно 45 кт до 175 кт со средним значением 110 кт при равномерном взвешивании данных. Знание того, как отобрать более узкое временное окно для данных, которое в данном случае соответствует ширине в 3,7 мс, основано на опыте предыдущих испытаний для конкретной геологической среды и силы испытательного взрыва. Более узкое окно дает меньший разброс мощностей (от 45 кт до примерно 75 кт) со средним значением оценки мощности в 60 кт, что очень близко к объявленной мощности в 62 кт³⁰.

Основываясь на четырех экспериментах по мониторингу, проведенных на полигоне в Неваде в геометрии КОРРТЕКСа с вспомогательными шахтами, администрация Рейгана предсказала в августе 1986 г., что измерения КОРРТЕКСа будут иметь фактор неопределенности 1,3 на советских полигонах, если мощность взрыва будет превышать 50 кт, и взрывы будут проводиться в средах, известных американским организациям³¹. Однако в публичных дискуссиях последнее

допущение часто опускалось при сравнении КОРРТЕКСа с сейсмическими методами оценок мощности. Кроме того администрация часто не упоминала о том, что строгости на размещение ядерного устройства и детальное знание окружающей среды, которые необходимы для получения пониженного уровня неопределенностей, приписываемого КОРРТЕКСу, обеспечат аналогичные улучшения точности сейсмических методов.

Утверждалось, что КОРРТЕКС является "прямым" измерением, которое по своей природе более точно, чем сейсмические методы³². Это утверждение, однако, вводит в заблуждение. Оба метода - как сейсмический, так и гидродинамический, оценивают мощность косвенно, путем измерения движения окружающей среды, которое вызвано взрывом. Поэтому оба метода зависят от того, как выделившаяся при подземном взрыве энергия преобразуется в движение, и на оба метода оказывают влияние свойства окружающей среды.

Если бы советские полигоны были прокалиброваны, а для получения оценок мощности путем комбинированных измерений использовались сейсмические станции на территории Советского Союза, связанные с сейсмическими методами неопределенности оказались бы сопоставимыми с неопределенностями КОРРТЕКСа. Такое заключение было достигнуто в исследованиях по сейсмической верификации, проведенных в 1988 г. управлением по технологическим оценкам (ОТА) конгресса США, где было заявлено:

"гидродинамическая [CORTEX] оценка мощности не обеспечивает значительно более лучших возможностей для оценки мощности по сравнению с тем, что можно получить сейсмическими средствами при хорошей калибровке"³³.

Во время слушаний в конгрессе, посвященных докладу ОТА, свидетель администрации Рейгана попытался дискредитировать это исследование, выдвинув обвинение в том, что "ошибочно" и поэтому

"Никому нельзя использовать выводы доклада в качестве основы для вызова установленному курсу переговоров по ограничениям ядерных испытаний"³⁴.

Поскольку не были представлены поддерживающие обвинения администрации технические аргументы, сенатский комитет по иностранным делам потребовал, чтобы такие доказательства были представлены для внесения в протокол. Когда администрация снова отказалась дать какие-либо технические факты в поддержку обвинений против доклада ОТА, председатель комитета вставил в опубликованную стенограм-

му слушаний беспрецедентное введение со следующим заявлением³⁵:

"Этот пример со свидетелем администрации, который выдвигает необоснованные и нереальные обвинения, является неудачным случаем, который, как я надеюсь, окажется аномалией. В интересах как законодательной, так и исполнительной власти предотвратить такое развитие событий, которое начинается с опасного прецедента, могущего отрицательно повлиять на политику нашей страны в области контроля над вооружениями и национальной безопасности."

Дополнительная информация, ставшая доступной после исследования ОТА, лишь усилила его заключения. В 1989 г. советский журнал "Атомная энергия"³⁶ опубликовал статью, где приведен список мощностей многих советских взрывов. Для четырех из самых последних взрывов, упомянутых в статье, известны данные по измерениям сейсмической волны Лява, проведенным на норвежской сейсмической станции. На рис. 5 показаны опубликованные мощности советских взрывов в зависимости от измеренной амплитуды волн Лява. В этот рисунок можно было бы включить шесть дополнительных экспериментальных точек: мощность советского испытательного взрыва в совместном верификационном эксперименте и мощности пяти старых испытаний, которые были представлены Советским Союзом Соединенным Штатам в ходе процесса ратификации ТТBT и PNCT. К сожалению, правительство США отказалось раскрыть эти данные³⁷ несмотря на разрешение Советского Союза³⁸. Попытки получить эту информацию привели к судебному процессу в соответствии с Актом о свободе информации, который был прекращен вслед за развалом Советского Союза³⁹.

Измеренные значения Lg-амплитуд были определены из слабых сигналов на больших расстояниях. Хотя на графике только четыре точки, все сейсмические измерения согласуются с 30 %-ной неопределенностью (фактор 1,3), присущей гидродинамическим методам⁴⁰, что поддерживает выводы о возможности сейсмических методов обеспечить неопределенность с фактором 1,3, которая заявлялась для КОРРТЕКСа.

Будучи системой, для которой заранее требуется подготовка к взрыву в определенном месте, КОРРТЕКС не годится для слежения за тайными ядерными испытаниями. Следовательно, выбор КОРРТЕКСа в качестве предпочтительной системы верификации для мониторинга ядерных испыта-

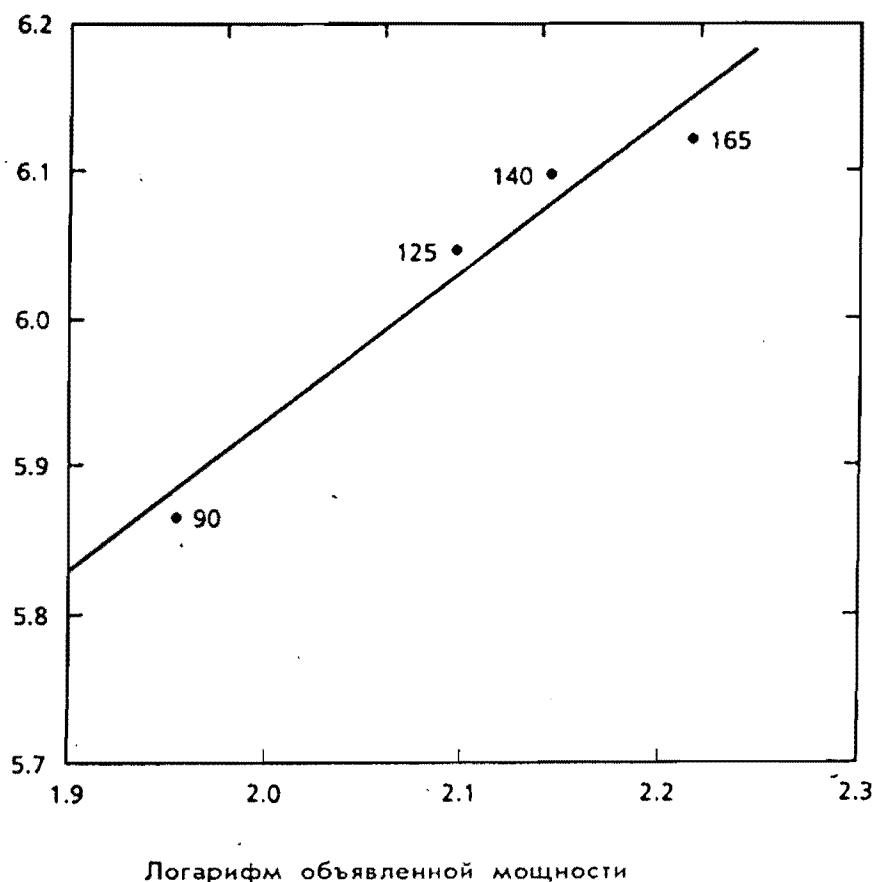


Рисунок 5

Lg-магнитуды советских подземных ядерных взрывов в Казахстане, измеренные на сейсмической сети в Норвегии и отложенные как функция объявленной мощности. Все измерения согласуются с фактором неопределенности 1,3.

ний (с одновременным отказом от сейсмических методов как неадекватных) отвлечет внимание от переговоров по полному запрещению ядерных испытаний.

Бывший заместитель помощника министра обороны по вопросам ядерных сил и политики контроля над вооружениями заявил вскоре после выхода из администрации Рейгана в 1988 г.:

"Присущие КОРПТЕКСу ограничения рассматриваются как достоинства теми лицами в правительстве США, которые надеются замедлить активное стремление к добавочным ограничениям (или к полному запрету) ядерных испытаний.

Ход рассуждений таков: чем больше потратить времени на дискуссии и эксперименты по технологии мониторинга, не имеющие отношения к верификации в обстановке, когда законных испытаний уже не будет, тем проще парировать требования заключить более ограничительный договор о всеобщем запрещении ядерных испытаний⁴¹.

Официальные представители Белого дома дали аналогичную характеристику стратегии администраций Рейгана и Буша⁴².

"Официальные представители в Белом доме частным образом признались журналу "Сайнтифик Америкэн", что у них

иная цель. Созданием видимости прогресса на пути к договору о запрещении испытаний, как сказали эти лица, они надеются отвлечь внимание от успехов настоящих сторонников договора о запрещении испытаний и погасить их активность."

Похоже, что стратегия избежать СТБТ сводилась к тому, чтобы отклонять утверждения о потенциале сейсмического мониторинга как недоказанные и одновременно ограничивать сбор данных, на основе которых Советский Союз мог бы продемонстрировать противоположное. В 1979 г. во время переговоров по СТБТ делегация США предложила установить американскую сейсмическую станцию в русском городе Обнинске независимо от соглашения о более крупной сети для контроля над СТБТ. Через несколько месяцев русские приняли это предложение. Тем временем, однако, Соединенные Штаты решили, что они не могут предоставлять сейсмическое оборудование из-за контроля над передачей технологии, наложенного после советского вторжения в Афганистан. На самом деле Соединенные Штаты отказались от своего собственного предложения установить сейсмическую станцию на территории СССР, когда русские приняли его⁴³.

У русских могли появиться свои основания для одобрения КОРПТЕКСа. Труднее понять советские мотивы следовать политике Рейгана и Буша в отходе от переговоров по СТБТ. Как заявил один сотрудник советского МИД, после того, как 18-месячный советский мораторий на испытания не смог вызвать положительную американскую реакцию, советская политика на переговорах (в отличие от просто риторической политики) по договору о запрещении испытаний стала определяться желанием "не обижать" администрацию Рейгана и Буша, чтобы достичь соглашения о сокращении стратегических ядерных вооружений и обычных сил в Европе⁴⁴. Судя по дружеской реакции советских кругов, связанных с ядерным оружием, на американские предложения об измерениях "на месте", можно также предположить, что они также ухватились за КОРПТЕКС, как за возможный способ отбиться от растущего стремления внутри СССР к полному окончанию испытаний.

Ироническое примечание к сравнению сейсмических методов и КОРПТЕКСа было получено в советско-американском совместном верификационном эксперименте 1988 года. В рамках этого эксперимента правительство США пригласило несколько десятков советских ученых на полигон в Неваде, чтобы быть свидетелями использования

американского метода КОРПТЕКС для измерения мощности американского подземного ядерного взрыва. Как сообщалось в газете "Вашингтон Пост", система КОРПТЕКС измерила мощность взрыва в диапазоне 155-163 кт⁴⁶, что явно нарушало порог ТТБТ в 150 кт. В статье далее сказано, что несмотря на эти измерения, советник Государственного департамента по прессе сказал, что взрыв прошел "в соответствии" с порогом 150 кт, а посол Робинсон заявил, что "мощность взрыва явно была ниже порога и ни у нас, ни у русских не возникло проблем в связи с этим"⁴⁷. Советское агентство ТАСС уловило иронию и в отчете об этом событии под заголовком "Американский КОРПТЕКС регистрирует американское нарушение"⁴⁸ заявило следующее:

"Оба установленные на полигоне приборы КОРПТЕКС, который США поддерживают как методику мониторингования, показали, что мощность американского ядерного взрыва, свидетелями которого стали советские специалисты, была выше 150 кт, т.е. выше порога, который обе страны торжественно обещали соблюдать. В то же самое время советские телесеизмические средства контроля, которые отклонялись американскими специалистами как ненадежные, показали, что мощность американского взрыва составила 140 кт, как и планировалось, и что Соединенные Штаты не нарушили порог ТТБТ."

СЕЙСМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВНУТРИ СТРАНЫ

С отказом от холодной войны проблемы верификации приняли совершенно новый вид, когда после 1986 г. была установлена сеть сейсмических станций на территории бывшего СССР.

В июле 1986 г. в совместном докладе конгрессу ряд управлений предложили сейсмический мониторинг внутри страны как область возможного технического сотрудничества между США и СССР. В июле 1987 года члены конгресса предложили, чтобы геологической службе США было разрешено установить 12 станций в Советском Союзе, что фактически продолжало бы под покровительством правительства работы по сейсмическому контролю, начатые в предыдущем году неправительственным Советом по защите природных ресурсов (NRDC) и советской Академией Наук. Русские продемонстрировали все признаки того, что они хотят принять такое предложение, но во время обсуждения законопроекта о бюджете министерства обороны на 1988 финансо-

вый год Белый дом отверг его и даже раскритиковал научную общественность, занятую сейсмическими исследованиями, за недостаток соответствующей информации:

"Несмотря на оптимистические предсказания и многолетние усилия сейсмологов, у них нет эмпирических данных, надежной информации, на которой основаны их оценки о мощности советских ядерных взрывов; у них есть только оценки, основанные на экстраполяции от испытаний и на знании геологических сред, удаленных от СССР⁴⁹."

Администрация Рейгана проинформировала комитет по иностранным делам палаты представителей, что "установка сейсмических станций на советской территории для сравнения полученных от них данных с данными КОРПТЕКСа не послужит практическим целям", но далее, что выглядит парадоксальным, продолжала жаловаться на "недостаток данных в поддержку заявленной точности сейсмических оценок мощности при ядерных испытаниях"⁵⁰.

По майскому (1988 г.) соглашению между NRDC и советской Академией наук были установлены три временные станции около советского полигона в Казахстане⁵¹. Понимая, что Советский Союз теперь согласен на установку сейсмических станций на своей территории, консорциум американских университетов IRIS договорился о соглашении с советской Академией наук по установке сейсмических станций в пределах СССР. В апреле 1988 г. была создана общая сейсмическая программа, где консорциум IRIS и американская геологическая служба представляли США, а СССР был представлен советской Академией наук.

Как видно на рис. 6, сейсмические станции, сети и группы установлены в настоящее время на территории СНГ. Сравнимое число станций на территории США посылают информацию в Россию согласно взаимному соглашению о программе работ. Общие планы предусматривают сеть из примерно 20 станций в пределах СНГ. Эта сейсмическая сеть установит техническую основу для режима контроля над будущими ограничениями или полным запретом ядерных испытаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При рассмотрении дебатов по верификации за последние десять лет возникает ощущение, что стратегия задержки продвижения к запрещению испытаний сработала, запутав в конечном итоге и США, и СССР в ловушку в основном ошибочных споров о контроле за порогом при больших мощнос-

тях. Путем неправильной интерпретации неопределенностей в американских процедурах оценки мощности и последующей неверной характеристики этих неопределенностей в качестве неизбежного порока методики сейсмического мониторинга чувствительные аспекты верификации подвергались сомнению и затуманивались настолько, чтобы рассеять стремление к более быстрому продвижению в сторону полного запрещения ядерных испытаний. Такую стратегию оказалось возможным провести в жизнь из-за неизбежного конфликта интересов в процессе оценки политики: сами организации, призванные определить, можно ли проверять подобные договоры, противодействовали дальнейшим ограничениям на ядерные испытания.

Тем не менее за последние несколько лет в области верификации были сделаны большие шаги. Была принята система измерений "на месте" и расположенные на территории проверяемых стран станции работают непрерывно. После развала СССР и обнаружения продвинутой программы создания ядерного оружия в Ираке возникло все более растущее беспокойство по поводу распространения ядерного оружия. С учетом того, что 117 стран рассматривают приложение о полном запрете на ядерные испытания к договору об их частичном запрещении, и принимая во внимание необходимость установления международного консенсуса по продлению договора о нераспространении ядерного оружия после 1995 г., похоже, что снова нарастет международное давление в пользу СТБТ. Американо-советский прецедент по принятию "раскрывающих секреты" (интрузивных) верификационных мер устанавливает политическую основу для переговоров об установлении режима эффективного глобального мониторинга, чтобы проверять всеобщий запрет на ядерные испытания.

Прогресс на пути к договору о запрещении испытаний больше не ограничен серьезно, как это было раньше, техническими пределами на потенциал верификации, а главное скорее в том, захотят ли США прекратить испытания ядерного оружия. Последние законы, принятые конгрессом Соединенных Штатов, указывают, что ответом на этот вопрос будет "не немедленно, но вскоре".

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне благодарят за просмотр рукописи Пола Ричардса, Линна Сайкса, Фредерика Лэмба, Фрэнка фон Хиппеля, Дэвида Симпсона и Джералда Эпстайна;

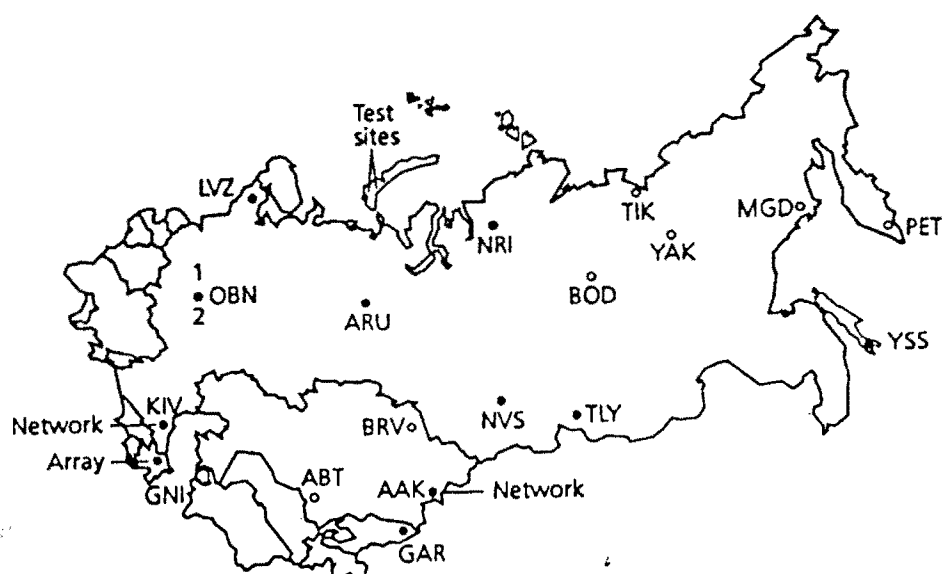


Рисунок 6

1. Московский аналитический центр
2. Обнинский центр по сбору данных

- Действующие станции
○ Станции, подлежащие установке

В состав американо-советской совместной сейсмической программы входят сейсмические станции, расположенные в Ала-Арче (ААК), Арти (АРУ), Гарме (ГАР), Гарни (ГНИ), Кисловодске (КІВ), Лазарево (LVZ), Норильске (NRI), Новосибирске (NVS), Обнинске (OBN), Таллае (TLY) и Южно-Сахалинске (YSS). Будут установлены станции в Алибеке (ABT), Бодайбо (BOD), Боровом (BRV), Магадане (MGD), Петропавловске Камчатском (PET), Тикси (TIK) и Якутске (YAK). Кроме того работают региональные телеметрические сети в Киргизии (вокруг станции в Ала-Арче) и на Кавказе (около станции в Кисловодске). Группа сейсмических приборов установлена также вокруг станции в Гарни. Центр по сбору данных расположен в Обнинске, а центр по их анализу - в Москве.

за обсуждения - Дэвида Хейфмастера, Роберта Финни, Томаса Кохрена, Чарлза Арчимбо, Рэя Киддера, Дэна Феистермахера и Джеффри Дункана. Часть этой работы была проведена, когда Грегори ван дер Винк был стипендиатом по иностранным делам в Совете по международным отношениям. Выраженные в данной статье точки зрения представляют мнение авторов, но ни одной из организаций, с которыми они связаны.

ЗАМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ НА ЛИТЕРАТУРУ

1. Статья 18 Венской конвенции 1969 г. по закону о договорах.
2. Напротив, PNET широко рассматривался как плохая услуга нераспространению ядерного оружия, подводящая законные основы под концепцию "мирных" ядерных взрывов, которые можно использовать в качестве прикрытия для

- распространения ядерного оружия, как это сделала Индия, сообщив о своем взрыве в 1974 г. как о мирном.
3. Заявление о понимании, включенное в сопроводительные документы при направлении TBT и PNET в сенат для совета и согласия на ратификацию 29 июля 1976 г.
4. "Comments on the Threshold Test Ban Treaty," by Fred Ikle, Statement for the Select Committee on Intelligence, US Senate, Congressional Records, 25 September 1990, p. S13735.
5. R.L.Garhtoff, *Detente and Confirmation: American-Soviet Relations from Nixon to Reagan* (Washington DC: The Brookings Institution, 1985) pp. 426-427.
6. Testimony of Roger Batzel, Director, Lawrence Livermore National Laboratory, Senate Armed Service Committee FY 1986 Authorization for DOE Defense Programs (Washington DC: US Government Printing Office, 1986) p. 170.
7. Roger E.Batzel, "Testimony prepared for presentation before the Senate Armed Services Committee," 26 February 1987, p. 10.
8. Robert S.Norris and William M.Arkin, "Known Nuclear Tests Worldwide, 1945 to December 31, 1990", Nuclear Notebook, Bulletin of Atomic Scientists, April 1991, p.49; and Thomas B.Cochran et al., "Soviet Nuclear Weapons," Nuclear Weapons Databook, Vol.II,p.171, and Vol.IV, p.362.
9. Threshold Test Ban Treaty and Peaceful Nuclear Explosions Treaty, Hearing before the Senate Committee on Foreign Relations, 13 and 15 January, 1987, S Hrg. 100 - 115.
10. Программа "Плоушер" (плуг) была организована в 1957 г., чтобы изучить возможность использования ядерных взрывов для мирных технических целей. Ее название происходит из библейского выражения "...они перековали свои мечи на орала", книга Исаии 2:4.
11. Свыше 100 мирных ядерных взрывов было проведено в СССР для широкого круга приложений, включая сооружение каналов и гаваней, создание подземных полостей для хранения газа и нефти, разрушение скальных пород для высвобождения нефти и газа. В 1991 г., советская коммерческая компания предложила использовать ядерные взрывы для захоронения токсичных или радиоактивных отходов. Смотрите статью William J.Broad, "A Soviet Company Offers Nuclear Blasts For Sale To Anyone With Cash," New York Times, 7 November 1991,p.A18.
12. Во время двух советских подземных испытаний 12 и 17 февраля 1989 г. произошла утечка радиоактивных веществ в атмосферу. Хотя по официальным утверждениям утечки были безопасными, радиоактивное облако было отнесено на город Шаган, расположенный примерно в 70 км от семипалатинского полигона.
13. В платформу Олжаса Сулейменова был включен призыв закрыть ядерный полигон и созвать митинг в Алма-Ате - столице Казахстана. Буквально через два дня после сообщения 5000 жителей собрались в зале Союза писателей для протеста против полигона.
14. Например, в ранних советских планах построить плотину в Камбарате планировалось использование ядерных взрывов. В настоящее время предусматриваются серии крупных химических взрывов.
15. Английский текст указа Ельцина произведен в отчете "Report of the Fourth International Workshop on Nuclear Warhead Elimination and Nonproliferation," (Washington DC: FAS/NRDC, 26-27 February 1992) Appendix G-20.
16. R.Jeffry Smith, "Bush Rejects Proposed Limits on Underground Nuclear Tests" Washington Post, 15 July 1992, p.A16.
17. The Congressional Record, House of Representatives, 24 September 1992, p. H9424.
18. Сейсмические магнитуды были впервые применены как способ описания силы землетрясения по измерению перемещения, записанного сейсмометром. Были разработаны стандартные методы для обеспечения единообразия измерений. Например, хорошо известная магнитуда Рихтера определяется как десятичный логарифм максимальной амплитуды (в единицах мкм) сейсмической волны, измеренной крутильным сейсмографом Вуда-Андерсона на расстоянии 100 км от эпицентра.
19. P.G.Richards and L.R.Sykes, "Verification of Limits on Nuclear Testing: A Review of Historical, Technical, and Political Issues," Columbia University, 1990, draft manuscript, p.26.
20. US Congress, Office of Technology Assessment, *Seismic Verification of Nuclear Testing Treaties*, OTA-ISC-361 (Washington DC: US Government Printing Office, May 1988) pp.124-126.
21. Вначале фактор неопределенности 2 был установлен для 90%-ного уровня доверительности, а сейчас его связыва-

- ют с уровнем доверительности 95 %. Переход к более высокому уровню произошел просто потому, что чаще принято использовать 95 %-ный уровень доверительности, так как он соответствует двум стандартным отклонениям. Однако следует заметить, что фактор 2 при уровне 90 % эквивалентен примерно фактору 2,5 при уровне доверительности 95 %. Таким образом, принятый в 1974 г. уровень неопределенности в современной системе сравнения близок к фактору 2,5.
22. Президентские несекретные доклады конгрессу о советских нарушениях соглашений по контролю над вооружениями. Смотрите, например, "Soviet Noncompliance with Arms Control Agreements," United States Department of State, February 1985, December 1985, and March 1987.
 23. Показания Роберта Б.Бейкера - помощника министра обороны по атомной энергии и руководителя делегации на официальных переговорах по ограничению ядерных испытаний, в сенатском комитете по иностранным делам (13 января 1987 г.) и в се по делам вооруженных сил (26 февраля 1987 г.).
 24. Там же, стр.1808.
 25. Смотрите ссылку 20.
 26. "Prepared Statement of Major General William F.Burns (Ret.) Director, US Arms Control and Disarmament Agency" in "Nuclear Testing: Arms Control Opportunities" Hearing, House Committee on Foreign Affairs, 28 June 1988, US Government Printing Office; 1988, p.15.
 27. "Nuclear Testing: Arms Control Opportunities" Hearing, House Committee on Foreign Affairs, (Washington DC: US Government Printing Office, 28 June 1988),p.47.
 28. R.A.Fiedler, B.W.Callen, F.K.Lamb, and J.D.Sullivan, "Effects of Aspherical Sources of Hydrodynamic Yield Estimation," manuscript in preparation, 1992.
 29. B.W.Callen, R.A.Fiedler, F.K.Lamb, and J.D.Sullivan, "Effects of Spherical Sources on Hydrodynamic Yield Estimation," Presented at the 13th Annual PL/DARPA Seismic Research Symposium, 8-10 October 1991, Keystone, Colorado; and "Yield Estimation Using Shock Wave Methods," Explosion Source Phenomenology, edited by S.R.Taylor, P.G.Richards, and H.J.Patton, Geophysics Monograph Series 65 (Washington DC: American Geophysical Union, 1991)pp.73-89.
 30. "Hydrodynamic Methods of Yield Estimation," Appendix in Seismic Verification of Nuclear Testing Treaties, Congressional Office of Technology Assessment, pp.132-133. Для более полного обсуждения смотрите ссылку 29, часть 2, а также F.K.Lamb, "Monitoring Yields of Underground Nuclear Tests Using Hydrodynamic Methods," Nuclear Arms Technologies in 1990s, edited by D.Schroeder and D.Hafemeister, AIP Conference Proceedings, Number 178, 1988, pp.109-148.
 31. US Department of State, Bureau of Public Affairs, "US Policy Regarding Limitations on Nuclear Testing, Special Report No.150," August 1986.
 32. "Verifying Testing Treaties - Old and New: An ACT interview with Ambassador C.Paul Robinson," Arms Control Today, July/August 1990.
 33. Смотрите ссылку 20, стр.123.
 34. Nuclear Testing: Arms Control Opportunities, Hearing before the Subcommittee on Arms Control, International Security and Science of the Committee on Foreign Affairs, House of Representatives, 28 June 1988.
 35. То же самое, стр.iii.
 36. В.С.Бочаров, С.А.Зеленцов и В.Н.Михайлов, "Характеристики 96 подземных ядерных взрывов на семипалатинском полигоне," Атомная энергия, т.67, N3, стр. 210-214, 1988.
 37. Michael R.Gordon, "US Opposes Release of Soviet Nuclear Test Data," New York Times, 23 March 1989, p.A7.
 38. Согласно показаниям под присягой, данным Т.Кохреном из Совета по защите природных ресурсов ("Opinion of Judge J.Gawthrop," 30 May 1991, p.7. Lawyers Alliance for Nuclear Arms Control / Philadelphia Chapter and NRDC versus Department of Energy, US District Court for the Eastern District of Pennsylvania, Civil Action # 88-7363), заместитель советского министра иностранных дел Виктор Карпов утверждал в июле 1989 г., что советская делегация на переговорах по совместному верификационному эксперименту (СВЭ) предложила американской делегации опубликовать вызывающие споры данные по СВЭ, но та отказалась. В показании сообщалось также о высказывании Карпова относительно того, что опубликование данных по СВЭ Соединенными Штатами не изменит советских предположений относительно конфиденциальности переговоров по СВЭ.
 39. Смотрите ссылку на судебный процесс в работе 38. Во время судебного про-

цесса по закону о свободе информации бывший посол США на переговорах по ядерным испытаниям заявил, что по опубликованию данных вообще не было достигнуто соглашения на переговорах. Однако его заявление оставляет открытой возможность, что отсутствие соглашения можно в большей степени связывать с американским, а не с советским отказом опубликовать данные. Министерство энергетики убеждало, что совсем не требовалось "вести переговоры" о публикации данных по испытаниям. Поскольку это является установленным прецедентом в рамках существующего закона, проводивший дело окружной судья нашел, что если Советский Союз "уже передал свое пожелание опубликовать информацию о проведенном испытании, для США не остается делать ничего, кроме как вступить в переговоры." Пытаясь утаить данные по СВЭ, министерство обороны прибегло к казуистической аргументации, утверждая с одной стороны, что согласие СССР на публикацию данных - это только "слухи", а с другой - что может не потребоваться раскрывать его знания советской позиции, поскольку такое требование заставит раскрывать информацию, которая получена при конфиденциальных дипломатических контактах.

40. Paul Richards, "Progress in Verifying Nuclear Test Ban Treaties," IEEE Technology & Society Magazine, December 1990.
41. Frank Gaffney, "Test Ban Would Be Real Tremor to US Security," Defense News, 5, September 1988.
42. John Horgan, "Test-Ban Countdown," Scientific American, October 1988, p.16.
43. Смотрите книгу Garthoff (ссылка 5, p. 758).

44. Интервью, взятое К.Пейном в Москве в ноябре 1990 г.
45. R.Jeffrey Smith, "Data From Blast Adds to Treaty Verification Questions," Washington Post, 8 September 1988, p.A3.
46. Кабели КОРПТЕКСа были вставлены в обе шахты - основную и вспомогательную. Два разных измерения скорее всего относятся к двум разным шахтам.
47. Если приведенные газетой "Вашингтон Таймс" цифры точны, то КОРПТЕКС сработал в пределах своего заявленного 30%-ного потенциала (фактор 1,3) даже при мощности взрыва, лежащей существенно ниже 150 кт. Из-за присущей любому методу измерений неопределенности следует, что если испытания проводятся почти при пороговой мощности, то некоторые измерения более крупных испытаний дадут результаты, слегка превышающие пороговую мощность.
48. Владимир Богачев, Американский КОРПТЕКС регистрирует американское "нарушение", Заявление ТАСС, 15 сентября 1988 г.
49. Robert Baker, Prepared statement in Armed Service Committee United States Senate, FY 1988 and FY 1989, Part 4 (Washington DC: US Government Printing Office, 1987) p.1738.
50. "Nuclear Testing: Arms Control Opportunities," Hearing, Committee on Foreign Affairs, 28 June 1988 (Washington DC: US Government Printing Office, 1988) pp.141,149.
51. По соглашению, заключенному в июне 1987 г. между NRDC и советской Академией наук, три станции были перенесены на новые места, а начиная с 1988 года должны были быть установлены две дополнительные станции.